

18
2ij



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**“ SISTEMA FERROVIARIO ELECTRIFICADO
EN MEXICO DOBLE VIA
MEXICO-QUERETARO ”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

FREDY CARVAJAL SOLANO

ASESOR: ING. RICARDO RAMIREZ VERDEJA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FEB-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo

de tesis:

"Sistema Ferroviario Electrificado en México Doble Vía México - Querétaro".

que presenta el pasante: Fredy Carvajal Solano

con número de cuenta: 8807643-6 para obtener el TÍTULO de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 4 de Septiembre de 1996

PRESIDENTE Ing. Benjamín Contreras Santa Cruz

VOCAL Ing. Esteban Corona Escanilla

SECRETARIO Ing. Ricardo Ramírez Verdeja

1er. SUPLENTE Ing. Ma. de la Luz González Quijano

2do. SUPLENTE Ing. Oscar Cervantes Torres

[Firma]
[Firma]
[Firma]
[Firma]
[Firma]

AGRADECIMIENTO

A mi Universidad:

Universidad Nacional Autónoma de México

A mi Escuela:

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

A todos y cada uno de mis profesores que hicieron posible la formación de un profesionista

GRACIAS

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Al Ing. Victor Manuel Cano Orozco.

Por su incondicional y magnífica asesoría para la realización de este trabajo.

**Al Ing. Miguel Angel Aviles Trejo.
Al Ing. Alejandro Chavez Reyes.**

Por sus oportunos consejos técnicos y la información proporcionada.

Al Ing. José Balbás Díez Barroso.

Por las facilidades otorgadas en las instalaciones de cómputo para una mejor presentación de este trabajo y por su motivación para continuar.

Al Ing. Ricardo Ramírez Verdeja:

Por sus oportunos consejos y su valiosa asesoría de esta tesis.

A todas y cada una de las personas que me proporcionaron su ayuda para la conclusión de este trabajo.

GRACIAS

A mi MAMA:

Por todo el amor y cariño que tienes hacia mi, por tus consejos y gran confianza en mi, por tu incondicional apoyo a todas mis decisiones.

Gracias a tu ejemplo pude comprobar que todo es posible siempre y cuando luchemos por ello, aunque tengamos que pagar el precio siempre valdra la pena.

Con profundo agradecimiento y amor te dedico este triunfo, que es nuestro, como una pequeña recompensa a tu gran esfuerzo por enseñarme todos los valores para ser una persona responsable, y por todos los años compartidos, te quiero mucho.

GRACIAS

A mi hermano ANDRÉS:

Por enseñarme el camino para poder llegar a ser un profesionalista y tus grandes consejos.
Por ser como un padre para mí, enseñándome a madurar y a ser una persona responsable.

A mi hermano PEDRO:

Por compartir tantos momentos alegres, esperando que este triunfo mío te impulse a continuar exitosamente tus estudios, para así como Andrés y yo le des una satisfacción a mi mamá y a tu hijo, y compartir ahora tu triunfo con nosotros.

A mi hermana ANA ESTELA:

Esperando que algún día tu también puedas darnos una satisfacción, exhortándote a que pongas tu mejor empeño para ser una persona humilde, para que así puedas sobresalir sin menospreciar a nadie.

A mi tía GRACIELA:

Gracias por estar siempre conmigo, aunque estes tan lejos físicamente, por siempre impulsarme a seguir adelante

A mi tío MANUEL:

Por ser parte de mí, por tu invaluable ayuda en la realización de mi tesis, te agradezco de corazón.

A mi abuelo HUGO:

A mi abuela BELLA:

A mi abuela MARIA:

A mi tía SOCO:

A mi tía LILA:

Porque forman parte de mi vida

A todos mis amigos:

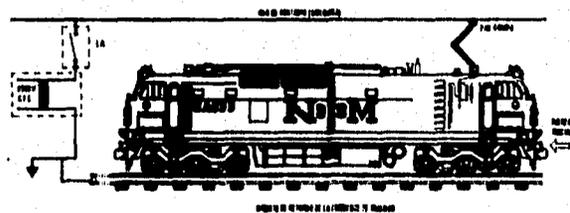
Los que confían en mí, por compartir momentos de su vida conmigo.

A mi esposa LUPITA:

Fiaquita preciosa, gracias por compartir tu vida conmigo.
Te hago partícipe de este triunfo, esperando compartir muchos más a tu lado.
Espero que te sientas orgullosa de mi y algún día recordar este momento con nuestros futuro hijos.
Que DIOS te bendiga siempre.

TE AMO.

Sistema Ferroviario Electrificado en México
'Doble Vía México - Querétaro'



CONTENIDO

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	iii

CAPITULO I

SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y PUESTOS DE TRACCIÓN

I.1 GENERALIDADES

a) Definiciones de una Subestación Eléctrica de Tracción (SET).	1
b) Localización.	2
c) Constitución básica	4
d) Definición de los Puestos de Tracción (PT).	6
e) Puesto de Seccionamiento (PS).	6
f) Localización	6
g) Puesto de Subseccionamiento (PSS).	9
h) Localización	9

I.2 INTRODUCCIÓN A LOS COMPONENTES PRINCIPALES EN 230 Y 27.5 KV.

a) Aparatos que forman parte de una SET.	10
b) Protección.	14
c) Aparatos que forman parte de un PS.	20
d) Aparatos que forman parte de un PSS.	20
e) Protecciones de los PT.	23

I.3 PUESTA EN SERVICIO DE UNA SET.

a) Posición normal de los aparatos de interrupción y condiciones normales de funcionamiento.	23
b) Condición de interbloqueo de los aparatos de interrupción.	24
c) Ejemplos de fallas posibles que se pueden presentar.	29

CAPITULO II

CATENARIA SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

II.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

a) Utilización y aprovechamiento de la energía.	32
b) Método de realización de líneas con suspensión catenaria.	33
c) Instalaciones para velocidades inferiores a 120 Km./h catenaria sin suspensión "Y".	35
d) Instalaciones para velocidad igual o superior a 120 Km./h catenaria con suspensión "Y".	41
e) Aisladores y aparatos de interrupción.	43

II.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS LÍNEAS DE CONTACTO

a) Eléctricas.	50
b) Mecánicas.	50
c) Geométricas.	52
d) Péndulos.	55
e) Equipo tensor.	64

II.3 SECCIONES DE SEPARACIÓN

a) Distancia entre subestaciones.	68
b) Seccionamiento.	70
c) Sección de separación.	72

CAPITULO III

LOCOMOTORAS ELÉCTRICAS

III.1 GENERALIDADES

a) Elementos que constituyen la locomotora eléctrica.	75
b) Principales características de la locomotora.	78
c) Equipos principales de la locomotora.	80
d) Movimiento del tren.	83

III.2 FUNCIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO

a) Chasis y plataforma.	84
b) Descripción de carretillas	84
c) Eje y ruedas.	84
d) Suspensión.	85
e) Transmisión mecánica del esfuerzo de tracción.	85
f) Sistema de aire para ventilación.	85

III.3 FUNCIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO

a) Transformador de potencia (transformador principal).	86
b) Rectificadores de corriente.	87
c) Reactores atenuadores.	87
d) Filtro de armónicas.	90
e) Motor de tracción.	90
f) Pantógrafos.	95
g) Interruptor de línea primaria.	97
h) Dispositivos auxiliares.	98

III.4 ACELERACIÓN Y FRENADO (MODO DE OPERACIÓN)

a) Propulsión.	102
b) Frenado dinámico.	107
c) Sistemas auxiliares.	110
d) Calidad de frenado.	111
e) Determinación de la capacidad de arrastre	111

CAPITULO IV

VÍA ELECTRIFICADA

IV.1 VÍA

a) Generalidades.	114
b) Características estructurales.	114
c) Características geométricas.	117

IV.2 CIRCUITO DE RETORNO DE LA CORRIENTE DE TRACCIÓN (CRCT)

a) Generalidades.	118
b) Tipos de conexiones.	121
c) Limite de zona eléctrica.	124
d) Circuito de vía birriel.	124
e) Cajas de impedancias.	125
f) Conexiones transversales.	127
g) Arteria de retorno.	130
h) Puesta a tierra de las vías.	132

IV.3 PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES

a) Generalidades.	133
b) Intervalo de descarga.	134
c) Protección por puesta a tierra.	136
d) Continuidad del cable de tierra.	137
e) Protección de estructuras metálicas.	137

CONCLUSIONES	iv
---------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	vii
---------------------	-----

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el funcionamiento del sistema ferroviario electrificado en México, este sistema está dividido en algunos subsistemas tales como las subestaciones eléctricas de tracción, catenaria, locomotoras y vía.

Para comprender la magnitud e importancia del sistema electrificado es necesario exponer algunos conceptos como lo son:

- El sistema de alimentación utilizado en el ferrocarril eléctrico en México, que de acuerdo a las características del sistema, se alimenta con C.A., monofásica a 60 Hz, con la que se tienen menores caídas de tensión y al número de subestaciones y el consumo de potencia se reduce, lo cual resulta en menores costos de operación.
- Plan de electrificación donde se verán las características generales de las instalaciones fijas y los subsistemas que componen el sistema ferroviario electrificado.
- En lo que se refiere a catenaria se verán las características tanto mecánicas como geométricas, observaremos la utilización de las secciones de separación (zonas neutras) que se encuentran frente a las SET y de los PS, los cuales nos sirven para separar las fases.
- Dentro de las locomotoras describiremos su funcionamiento y sus modos de operación:

Propulsión (arranque) y frenado (frenado dinámico):

- En vía, se tratarán las características estructurales y geométricas, veremos que es una parte muy importante dentro del sistema ferroviario electrificado, pues a través de las vías encontramos el circuito de retorno de la corriente de tracción (CRCT) el cual permite que la corriente de tracción regrese a las SET.

La doble vía electrificada México-Quéretro se puso en funcionamiento el 14 de febrero de 1995 utilizando locomotoras eléctricas de la marca General Electric, con una fuerza tractiva de 6000 HP, estas tienen la cualidad de aumentar o reducir la velocidad y aceleración rápidamente para vencer un peso igual de tracción, en comparación a cualquier otro vehículo tractivo.

Con el uso de la tracción eléctrica no se producen humos ni desechos de combustión y se minimiza el ruido por lo que no contribuye a la contaminación ambiental, proporcionando a los usuarios un transporte cómodo y sin molestias por exceso de ruido.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico en lo que a transporte ferroviario eléctrico se refiere hasta 1879. En Alemania se desarrolló el primer vehículo eléctrico, el cual utilizaba un voltaje de 150 V C.D.; sin embargo la aplicación exitosa de este tipo de tracción fue hasta 1890 con el primer tren subterráneo eléctrico de Londres, confirmando la seguridad y capacidad de remolque así como la eliminación de ruidos y desechos por combustión.

En 1889 en Suiza se puso en práctica el sistema de Corriente Alterna trifásica de 750 volts, 40 Heriz, y en 1907 el de Corriente Alterna monofásica de 15 Kv., 16 2/3 Hz.

En México el 6 de noviembre de 1923 fue iniciada la electrificación del tramo entre Esperanza, Puebla y Orizaba, Veracruz; para posteriormente extenderla hasta Paso del Macho, Veracruz.

La electrificación en México, fue inaugurada en el año de 1926, con una longitud de 103 Km., teniendo para esto diez locomotoras General Electric, con una potencia de 2700 HP, alimentada a 3000 V C.D.

El tramo electrificado en México, opero hasta marzo de 1974, fecha en la que se sustituyeron las locomotoras eléctricas por diesel-eléctricas.

Con dicho antecedente y observando los avances tecnológicos logrados en este campo por otros países, y las ventajas que ofrece la tracción eléctrica, nuestro país contemplo la factibilidad de electrificar las principales vías férreas del sistema, estableciendo a partir de diversos estudios la conveniencia de operar con esta modalidad la línea México-Querétaro, naciendo así el proyecto de electrificación, mismo que fue iniciado formalmente como obra durante el año de 1980, utilizando básicamente en su concepción un circuito de tracción alimentado con Corriente Alterna, monofásica de 25000 volts, 60 Hz.

CAPITULO I

SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y PUESTOS DE TRACCIÓN

I.1 GENERALIDADES

a) DEFINICIONES DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN (SET)

Es un conjunto de dispositivos eléctricos interconectados entre sí, los cuales forman parte de un sistema eléctrico de potencia, sus funciones principales son: Transformar tensiones y derivar circuitos eléctricos de potencia.

En una SET se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- El equipo de la subestación poseerá la suficiente capacidad para resistir las cargas que representan los vehículos eléctricos.
- Las caídas de voltaje debido a las cargas de los vehículos eléctricos, no deberá afectar adversamente la operación del tren.
- Las SET estarán provistas de dispositivos para la rápida y sencilla detección de problemas de la energía (sobrecargas o cortocircuitos).

Las SET proyectadas en el sistema electrificado de la doble vía México-Querétaro son del tipo "intemperie", ya que todos los aparatos de potencia en 230 y 27.5 Kv. se encuentran instalados en una explanada externa con estructura metálica que sirven de soporte a los aparatos que la componen.

Las SET están protegidas por un recinto de mampostería y malla ciclónica para impedir el acceso al personal no especializado o ajeno a estos ferrocarriles.

Las SET reciben la energía eléctrica por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) o Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLYFC) dependiendo de la región donde se localicen dichas subestaciones. El valor de la tensión de 230 Kv., 60 Hz fue seleccionado debido a que se encuentra localizado en todo el territorio nacional y tiene una gran selectividad, capaz de garantizar la alimentación a las subestaciones de estos ferrocarriles, esta alimentación es de tipo radial (fig. 1).

b) LOCALIZACION.

La localización de las subestaciones varia según la clase de ferrocarril, el sistema eléctrico, la capacidad del material rodante, las condiciones de la vía, la situación de la operación de trenes, etc. Generalmente se debe determinar la localización, el intervalo y la capacidad de las SET.

Cuando se selecciona la localización de las SET, se deben considerar los puntos siguientes:

- Estar lo mas cercano posible al centro de gravedad de la carga eléctrica de una zona alimentada.
- Tratar de conseguir la fuente eléctrica adecuada, mantener intervalos iguales entre las SET y no tener obstáculos con la caída de voltaje.
- Ser conveniente para transportar equipo, especialmente los pesados.
- Ser sólido el terreno y no tener posibilidad de inundaciones y desprendimientos de tierra.
- Ser barato el terreno y tener espacio para el aumento futuro de aparatos.
- Tener poca influencia de ruido a los vecinos.
- Tener poca contaminación del gas de escape de fabricas químicas, del ambiente salino y del polvo.
- Evitar pendientes y curvas, ya que se debe dejar de recibir la energía en la sección muerta enfrente de las SET.

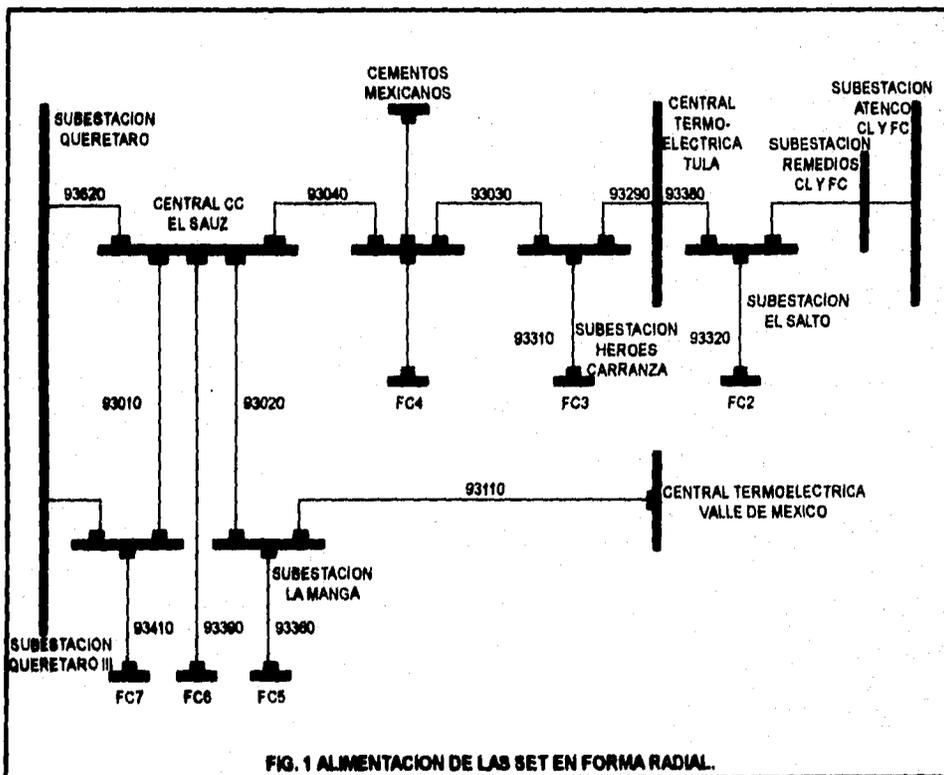


FIG. 1 ALIMENTACION DE LAS SET EN FORMA RADIAL.

La condición más importante que determina el intervalo entre SET es que la caída de voltaje esta dentro del límite de tolerancia. Entonces, es favorable acortar el intervalo entre SET, pero esto aumenta el número de SET. Disminuir el intervalo tiene las ventajas siguientes:

- Disminuyen la caída de voltaje y la pérdida de potencia eléctrica.
- Si la caída de voltaje es pequeña, se podrá disminuir la capacidad de la catenaria y los gastos de construcción de esta.
- Disminuye la corriente de escape en el circuito de retorno.
- Es mas fácil la protección del circuito de alimentación.

Las subestaciones se encuentran localizadas a lo largo de la doble vía electrificada México-Querétaro aproximadamente a 40 Km. de separación entre ellas. Siendo un total de 7, las cuales se identifican de la forma siguiente:

SET	NOMBRE	KM	VIA
1	Lechería	24 + 408	AQ
2	El Salto	60 + 972	BQ
3	Héroes Carranza	98 + 299	BQ
4	Dañu	131 + 788	AQ
5	La Manga	165 + 973	AQ
6	La Mansión	201 + 886	AQ
7	Querétaro	242 + 141	BQ

NOTA: AQ, Vía Juárez; BQ, Vía Morelos

c) CONSTITUCION BASICA DE UNA SET.

La SET ha sido dividida por cuestiones de mantenimiento y seguridad (fig.2) en los grupos siguientes:

GRUPO ALTA TENSION (ALIMENTACION)

Es el equipo que recibe la energía de alimentación en C.A. proveniente de la red de CFE o CLYFC.

GRUPO DE TRACCION (1 ó 2)

Es el equipo que convierte la energía recibida en energía de operación. El transformador de tracción será el aparato principal en el caso de los sistemas de electrificación a frecuencia comercial (fig.3).

SERVICIOS AUXILIARES Y EQUIPO INDEPENDIENTE PARA SEÑALIZACION.

Son los diferentes dispositivos para controlar y operar los diferentes equipos de la subestación.

GRUPO SALIDA DE TRACCION

Es el equipo que suministra la energía de operación al sistema de contacto aéreo "Catenaria" (fig.4 y 5).

Frente a las SET, se encuentra un tramo de Catenaria sin energía eléctrica, llamado Sección de Separación (Zona Neutra) que puede ser alimentada mediante dos Seccionadores de Conexión (SC2 y SC3).

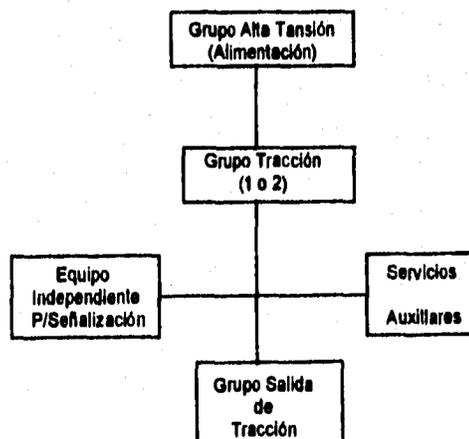


Figura 2

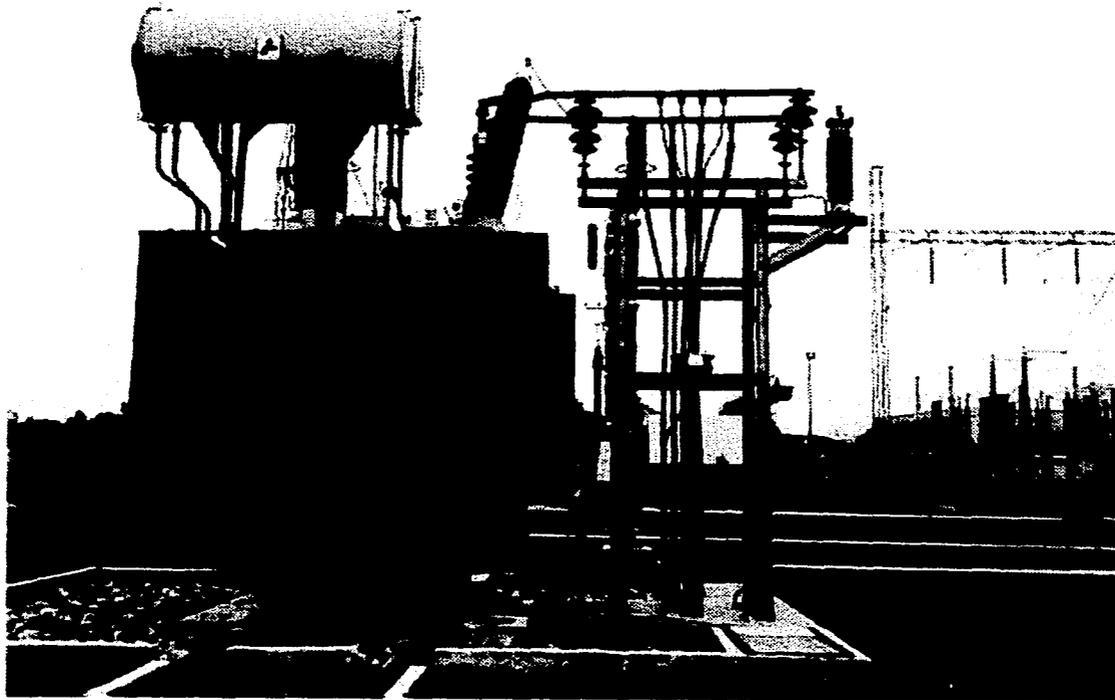


FIG. 3 GRUPO TRACCION.

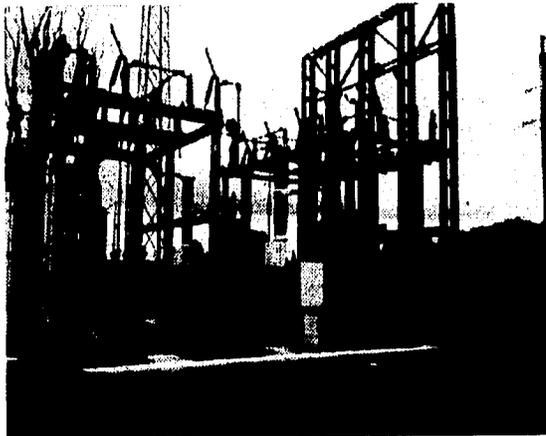


FIG. 4 GRUPO SALIDA DE TRACCION.

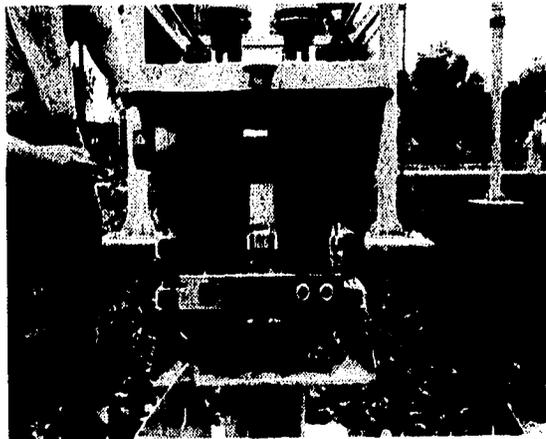


FIG. 5 MANDO MOTOR DEL SECCIONADOR TRIPOLAR (SL).

d) DEFINICION DE LOS PUESTOS DE TRACCION (PT)

Son instalaciones en donde se agrupan aparatos de control (dentro de un local) y aparatos de interrupción eléctrica (dentro de un cercado y sobre soportes), se dividen en dos grupos: Puestos de Seccionamiento (PS) y Puestos de Subseccionamiento (PSS).

e) PUESTO DE SECCIONAMIENTO (PS)

Instalación que se encuentra ubicada entre dos SET, sus funciones principales son:

- Aislar eléctricamente los sectores correspondientes ya que estos son alimentados por fases diferentes.
- Disminución de la caída de tensión por medio del cierre de los Interruptores de Catenaria de Puesta en Paralelo (ICP)
- Proporciona flexibilidad en caso de falla, permitiendo efectuar maniobras de apertura y cierre en los equipos y alimentar de esta manera un sector contiguo que quedo sin tensión, por medio de los interruptores de Catenaria Sectores (ICS).

Frente a los PS se encuentra un tramo de catenaria sin energía eléctrica, llamado Sección de Separación (Zona Neutra) que puede ser alimentada mediante dos Seccionadores de Conexión (SC2 y SC3).

f) LOCALIZACION DE UN PS

Los PS se encuentran localizados a lo largo de la doble via electrificada México-Querétaro aproximadamente a 20 Km. de separación entre SET. Siendo un total de 6, identificándose de la forma siguiente:

PS	NOMBRE	KM	VIA
43	Huehuetoca	43 + 974	BQ Morelos
79	El Tesoro	79 + 479	BQ Morelos
114	Maravillas	114 + 919	AQ Juárez
149	Celayita	149 + 794	BQ Morelos
179	Rancho de en Medio	179 + 652	BQ Morelos
220	Paraíso	220 + 708	AQ Juárez

NOTA: AQ, Via Juárez; BQ, Via Morelos.

g) PUESTO DE SUBSECCIONAMIENTO (PSS)

Instalación que se encuentra ubicada comúnmente entre una SET y un PS, sus funciones principales son:

- Reducir al mínimo las zonas de catenaria que deben ser puestas fuera de servicio en caso de falla o de mantenimiento
- Disminución de la caída de tensión por medio del cierre del Interruptor de Catenaria de Puesta en Paralelo (ICP).

h) LOCALIZACION DE UN PSS

Los PSS se encuentran localizados a lo largo de la doble vía electrificada México-Querétaro aproximadamente a 10 Km. de separación de una SET. Siendo un total de 14, identificándose de la forma siguiente:

PSS	NOMBRE	KM	VIA
6	Pantaco	6 + 803	BQ
12	San Rafael	12 + 458	AQ
33	Teoloyucán	33 + 247	BQ
54	Tlaltepoxco	54 + 565	BQ
71	Zaragoza	71 + 833	AQ
87	Michimaloya	87 + 792	BQ
106	San Sebastián	106 + 800	BQ
121	Aragón	121 + 720	AQ
139	Casas Viejas	139 + 799	BQ
156	San Sebastián de las Barrancas	156 + 792	BQ
173	Cerro Gordo	173 + 817	AQ
190	Casa Blanca	190 + 788	BQ
210	Pedro Escobedo	210 + 100	AQ
231	Saldarriaga	231 + 208	BQ

NOTA: AQ, Vía Juárez; BQ, Vía Morelos.

I.2 INTRODUCCION A LOS COMPONENTES PRINCIPALES EN 230 Y 27.5 KV

a) APARATOS QUE FORMAN PARTE DE UNA SET (ver fig.6,7,8,9)

NOMENCLATURA	NOMBRE
TVL	Transformador de Potencial Capacitivo.
SL	Seccionador Tripolar con Mando Eléctrico.
ST	Cuchillas de Puesta a Tierra.
SP1 - SP2	Seccionador Bipolar.
IP1 - IP2	Interruptor Bipolar en Hexafluoruro de Azufre
TAP1 - TAP2	Transformador de Corriente (Primario).
SC1/1 - SC2/1 SC1/2 - SC2/2	Apartarrazos Autovalvular con resistencia Variable y Soplado Magnético.
T1 - T2	Transformador de Tracción Monofásico.
TAC1 - TAC2	Transformador de Corriente para protección de Cuba.
TAB1 - TAB2	Transformador de Corriente de Circuito de Retorno.
TV1 - TV2	Transformador de Potencial.
SRB1 - SRB2	Seccionador Unipolar de Ruptura Brusca con Mando Eléctrico.
FU1- FU2- FU3	Cortacircuitos Fusibles.
TSA1 - TSA2	Transformador de Servicios Auxiliares.
TSE	Transformador de Señalización.
SS1- SS2- SS3 SS4- SS12- SS4	Saccionador Unipolar con Mando Manual.
IS1 - IS2	Interruptor Unipolar en Hexafluoruro de Azufre.
TAS1 - TAS2	Transformador de Corriente.
SB	Seccionador de Barras con Mando Manual.
SM	Seccionador Medio con Mando Eléctrico.
IF1 - IF2 IF3 - IF4	Interruptor de Fase.

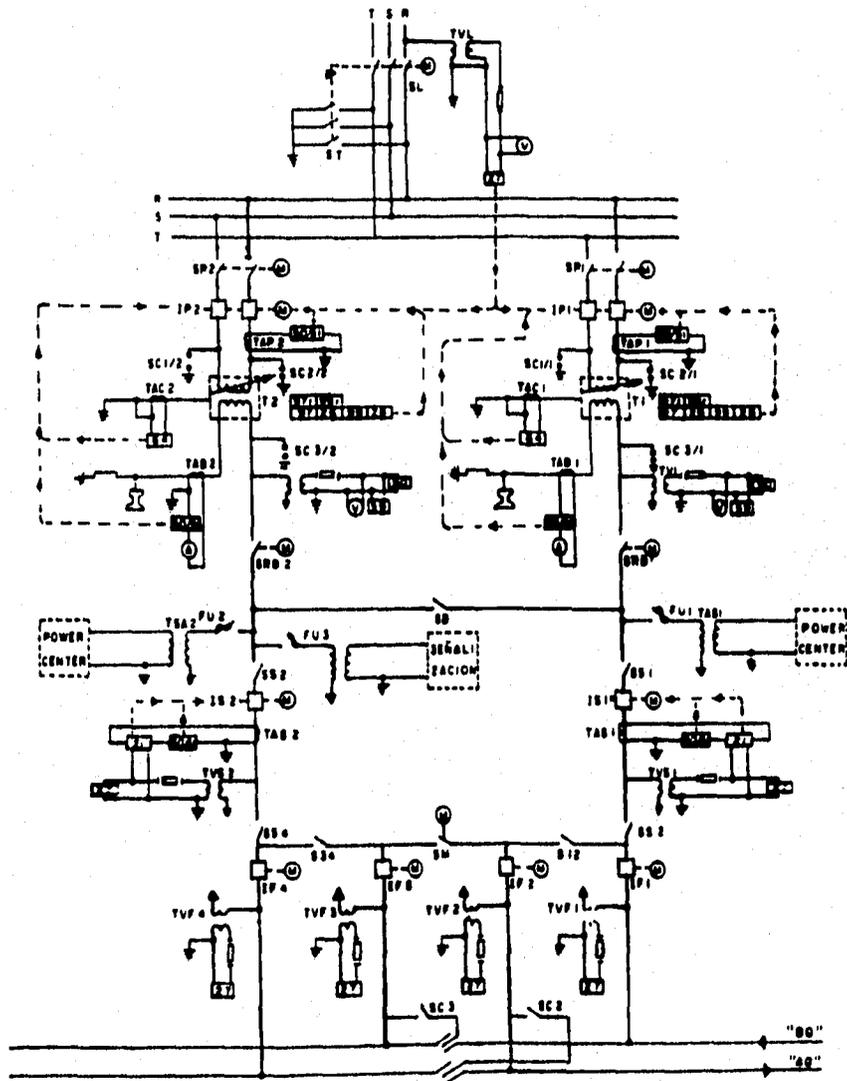


Fig. 6 Equipos y Aparatos que forman parte de una Subestación Eléctrica de Tracción.

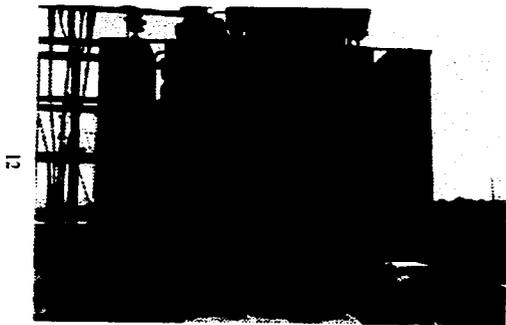


FIG. 7 TRANSFORMADOR PRINCIPAL DE LA SUBESTACION ELECTRICA DE TRACCION.

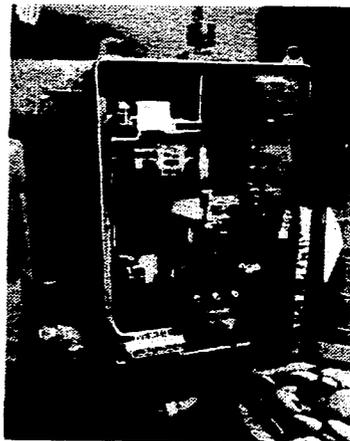


FIG. 8 CONTROL DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL (TAPS).



FIG 9 INTERRUPTOR BIPOLAR (IP).

TVF1 - TVF2
TVF3 - TVF4
TVS1 - TVS2

Transformador de Potencial con Devanado Resistente.

SC3/1 - SC3/2

Apartarrayos Autovalvular con Resistencia Variable y Soplado Magnético.

SC2 - SC3

Seccionador para Conexión.

RELEVADORES

NOMENCLATURA

NOMBRE

27	Relé de Tensión.
50/51	Relé de Máxima Corriente de Tiempo Independiente
64	Relé de Máxima Corriente de Tierra de Tiempo Independiente.
97	Relé Buchholz del Transformador.
97r	Relé Buchholz del Reguiador de Carga.
99	Mínimo Nivel de Aceite en el Transformador.
99r	Mínimo Nivel de Aceite del Regulador de Carga.
21	Relé de Impedancia.
26	Termómetro Aceite del Transformador.
28	Termostato Aceite del Transformador.
90	Regulador de Carga.
59	Relé de Máxima Tensión.

b) PROTECCIONES DE UNA SET

En toda instalación eléctrica se tienen aparatos de protección puestos al servicio del sistema eléctrico, con el objeto de disminuir el efecto de las fallas y evitar perjuicios al equipo. Un sistema de protección eléctrica está formado por los siguientes elementos:

- Transformador de corriente o de potencial.
- Interruptor de potencia.

- Relevadores electrónicos o electromagnéticos.

Cuando se presentan fallas y según la naturaleza de estas, se hace funcionar o actuar los relevadores de protección, que en combinación con los equipos antes mencionados se encargan de reducir el daño, debido a la rápida desconexión del sistema.

Cada subestación esta dividida en dos grupos iguales, cada uno incluye un transformador de tracción de 20 MVA y una salida de 27.5 Kv.

Las protecciones previstas para cada grupo son las siguientes:

- 1) "ZONA ALIMENTADORES" (incluida entre el interruptor automático y la catenaria).
- 2) "ZONA BUSES DE ALIMENTACION" (incluida entre el secundario del transformador de tracción y el interruptor automático).
- 3) "ZONA DE ALTA TENSION" (incluida entre el secundario del transformador de tracción hasta el interruptor bipolar).

j) ZONA ALIMENTADORES

RELEVADOR		TIEMPO DE INTERVENCION
21		50 msg IS1 o IS2 (dependiendo del sector con falla)
50/51	Primer Nivel (50)	20 msg
	Segundo Nivel (51)	40 msg IS1 o IS2 (dependiendo del sector con falla)

I.1 PROTECCION DE IMPEDANCIA (21)

Ha sido previsto un relevador a mínima impedancia de ángulo, tipo ZI20. La función de esta protección es de efectuar el mando de apertura del interruptor automático cada vez que se verifica un cortocircuito en la catenaria, ya sea al principio como al extremo del tramo alimentado.

La apertura del interruptor automático esta prevista con la posibilidad de recierre del mismo.

1.2 PROTECCION DE MAXIMA CORRIENTE (50/51)

El relevador previsto es de tipo amperimétrico monofásico a tiempo independiente. Esta protección esta dotada de dos niveles de intervención que son utilizados en la siguiente manera:

El primer nivel (50) interviene por cortocircuito entre catenaria y el terreno en la proximidad de la subestación.

El segundo nivel (51) interviene por sobrecargas. Su intervención es temporizada y efectúa el mando de apertura del interruptor automático.

1.3 PROTECCION DE TENSION (27)

Su función es la de evitar el cierre de los interruptores automáticos y de los seccionadores bajo carga, si el respectivo tramo a alimentar esta ya con tensión. En este caso, el cierre causaría un corto circuito bifásico debido a que la catenaria, en cuestión, estaria alimentada por la SET adyacente.

ii) ZONA BUSES DE ALIMENTACION

	RELEVADOR	TIEMPO DE INTERVENCION
50/51	Primer Nivel (50)	0.3 seg.
	Segundo Nivel (51)	40.5 seg. IP1 o IP2 (dependiendo del sector con falla)
59		1.0 seg. AC Relevador 90

II.1 PROTECCION DE MAXIMA CORRIENTE (50/51)

Es un relevador de tipo amperimétrico monofásico igual al descrito anteriormente. Los dos niveles de intervención serán utilizados de la siguiente manera:

El primer Nivel (50) tiene que intervenir en caso de cortocircuitos entre los buses de 27.5 Kv. y el terreno. Su intervención provoca la apertura y el bloqueo del interruptor bipolar.

El segundo nivel (51) previsto por las sobrecargas. Su intervención provoca la apertura y el bloqueo del interruptor bipolar.

PROTECCIONES DEL TRANSFORMADOR

RELEVADOR	TIPO	PARAMETRO DE TRABAJO
26	Termómetro del Aceite del Transformador	Temperatura (Alarma y Bloqueo)
28	Termostato	Temperatura (Alarma y Bloqueo)
59	Máxima Tensión	Tensión Máxima en la Catenaria
64	Protección de Cuba	Corriente de Falla (Bloqueo)
86	De Bloqueo	Cuando actúan otras Protecciones (Alarma)
90	Del Regulador Bajo Carga	Taps Transformador
97	Buchholz del Transformador	Acumulación Gases (Alarma y Bloqueo)
97r	Buchholz del Reg. Bajo Carga	Acumulación Gases (Bloqueo)
99	Mínimo Nivel de Aceite Transformador	Bajo Nivel (Alarma)
99r	Mínimo Nivel de Aceite del Reg. Bajo Carga	Bajo Nivel (Alarma)

II.2 PROTECCION CUBA DEL TRANSFORMADOR

RELEVADOR		TIEMPO DE INTERVENCION
64	Contacto eléctrico de los devanados del transformador con la cuba	Instantáneo (Tiempo de atraso máximo 30 seg.) IP1 o IP2 (Dependiendo del transformador con falla)

Esta protección está constituida por un relevador amperimétrico monofásico de máxima corriente, conectado al secundario del transformador de corriente.

El relevador opera cada vez que haya un contacto eléctrico entre los devanados y el núcleo o el tanque del transformador de tracción debido a una descarga en los aisladores de alta y mediana tensión.

La intervención provoca la apertura y bloqueo del Interruptor bipolar correspondiente.

II.3 PROTECCION DE MAXIMA TENSION (59)

La función de esta protección es de evitar que la tensión de alimentación de la catenaria supere los valores máximos admitidos (29 Kv.) por el funcionamiento de las circulaciones eléctricas. En consecuencia, su intervención será sobre el mando "disminuir tensión" del regulador de carga con un tiempo de atraso muy pequeño respecto a los mandos enviados por el regulador de voltaje electrónico (90).

El tiempo de retardo de intervención se puede ajustar a un segundo para evitar disparos imprevistos ocasionados por breves variaciones de tensión.

II.4 REGULADOR AUTOMATICO DE TENSION (90)

Este dispositivo, en combinación con el relevador de máxima tensión (59), hace funcionar automáticamente el conmutador bajo carga cuando los valores de la tensión son menores de 25 y mayores de 27 Kv.

iii) ZONA ALTA TENSION

	RELEVADOR	TIEMPO DE INTERVENCION
50/51	Primer Nivel (50)	(Atraso máximo 20 mseg Intervención instantánea)
	Segundo Nivel (51)	1 seg. IP1 o IP2 (dependiendo del sector con falla)
27		3 seg. Dispositivo de IP1 e IP2

iii.1 PROTECCION DE MAXIMA CORRIENTE (50/51)

Esta constituida por un relevador amperimétrico monofásico igual a los descritos en los puntos ya vistos. Los dos niveles son utilizados en la siguiente forma:

El primer nivel (50) interviene en caso de cortocircuito en el primario del transformador de tracción, siendo su intervención instantánea.

El segundo nivel (51) no es utilizado para señalar sobrecargas. Su función es el de sustituir la protección (50).

Los dos niveles efectúan la apertura del interruptor bipolar (con bloqueo).

iii.2 PROTECCION DE TENSION (27/TVL)

La función de esta protección es efectuar la apertura de los interruptores bipolares en caso de falta de alimentación trifásica; su intervención tiene que ser atrasada para permitir el recierre del interruptor en alta tensión de la subestación de CFE o CLYFC., por si la falla es transitoria.

La protección consiste, por lo tanto, en un relevador auxiliar equipado con un dispositivo de temporización.

El relevador efectuara su intervencion por falta de la tension primaria despues de un tiempo de 3 seg.

c) APARATOS QUE FORMAN PARTE DE UN PS (VER FIG.10)

NOMENCLATURA	NOMBRE
ICS1 - ICS2	Interruptor de Conexión Sectores
ICP1 - ICP2	Interruptor de Catenaria de Puesta en Paralelo
S1 - S2	Seccionador Unipolar Mando Manual
SC2 - SC3	Seccionador de Conexión (Sección de separación)
TVC1 - TVC2 TVC3 - TVC4	Transformador de Potencia con Devanado Resistente
TSA	Transformador de Servicios Auxiliares
TSE	Transformador de Señalización
FU1 - FU2	Cortacircuitos Fusible

d) APARATOS QUE FORMAN PARTE DE UN PSS (VER FIG.11)

NOMENCLATURA	NOMBRE
IC1 - IC2	Interruptor de Catenaria
ICP	Interruptor de Puesta en Paralelo
S	Seccionador Unipolar
TVS3 - TVS4	Transformador de Potencia con Devanado Resistente
TSA	Transformador de Servicios Auxiliares
TSE	Transformador de Señalización
FU1 - FU2	Cortacircuitos Fusible

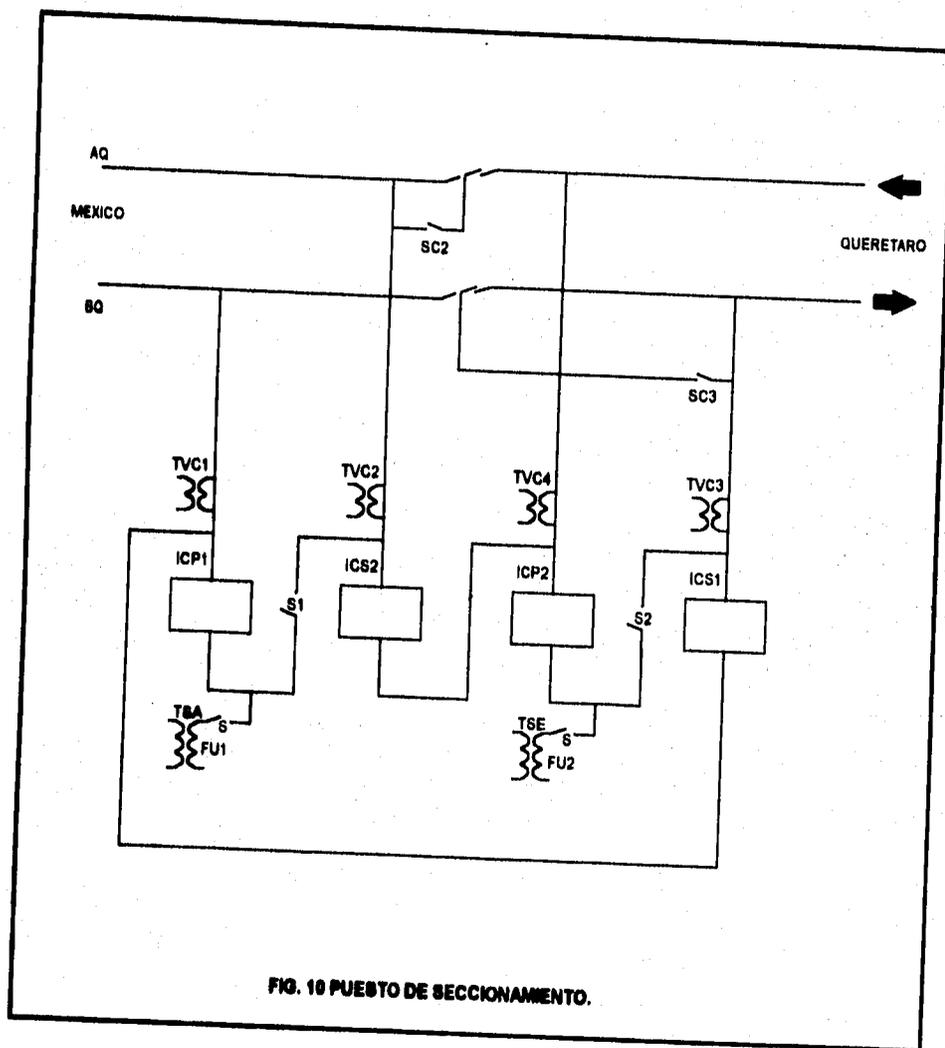


FIG. 10 PUESTO DE SECCIONAMIENTO.

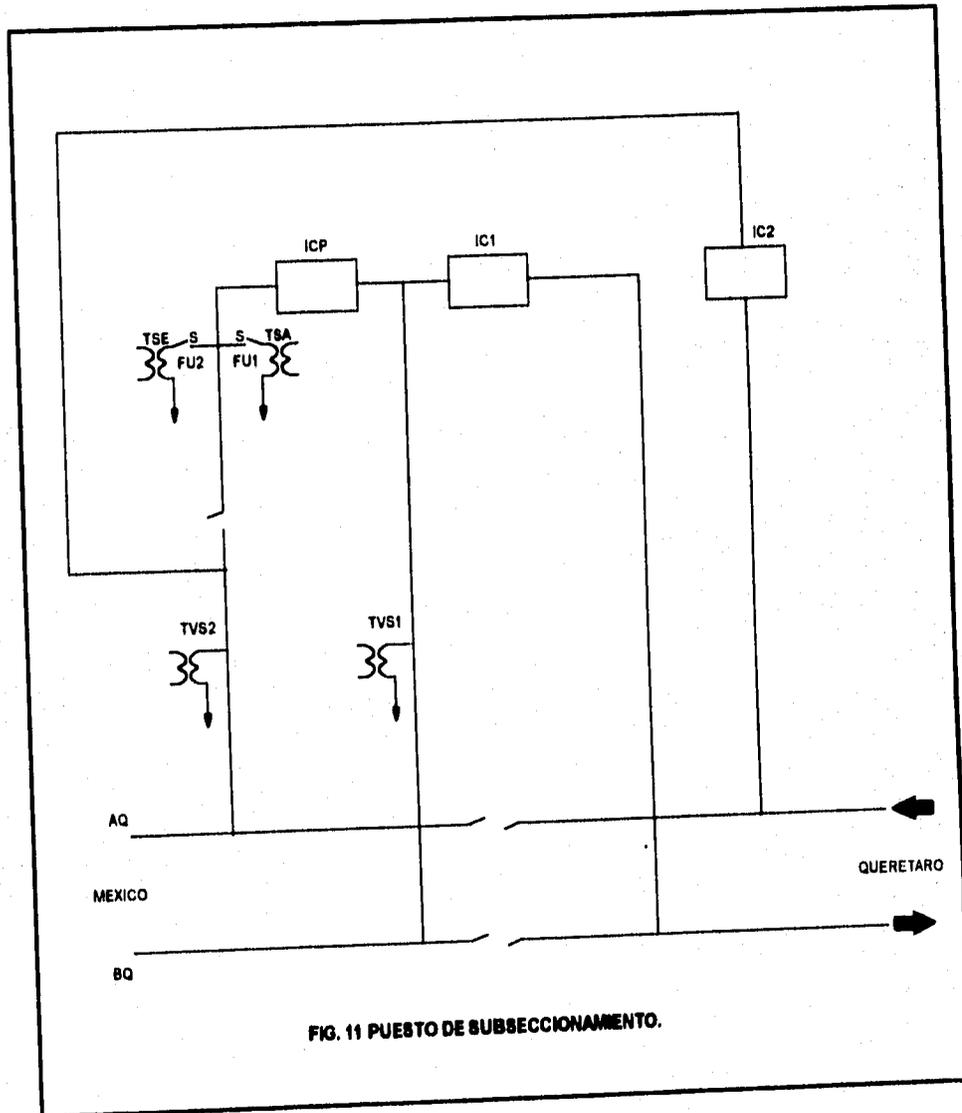


FIG. 11 PUESTO DE SUBSECCIONAMIENTO.

e) PROTECCIONES DE LOS PUESTOS DE TRACCION (PS Y PSS)

Así como existen protecciones en una SET, en los puestos de tracción también se cuenta con ellas.

En los PS y PSS existen las siguientes protecciones:

Relevador 27: La función de esta protección es la de evitar una maniobra de cierre en un Interruptor de Catenaria Sector (ICS) cuando ya exista presencia de tensión.

1.3 PUESTA EN SERVICIO DE UNA SET

a) POSICION NORMAL DE LOS APARATOS DE INTERRUPCION DE UNA SET EN CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO (FIG.12)

DESCRIPCION	NOMENCLATURA	POSICION
Seccionador Tripolar 230Kv	SL	Cerrado
Seccionador Tripolar de Puesta a Tierra 230 Kv.	ST	Abierto
Seccionador Bipolar 230 Kv.	SP1	Cerrado
Interruptor Bipolar 230 Kv.	IP1	Cerrado
Seccionador de Ruptura Brusca 27.5 Kv.	SRB1	Cerrado
Seccionador Bipolar 230 Kv.	SP2	Cerrado
Interruptor Bipolar 230 Kv.	IP2	Cerrado
Seccionador de Ruptura Brusca 27.5 Kv.	SRB2	Cerrado
Seccionador de Barras 27.5 Kv.	SB	Abierto
Cortacircuitos Fusibles 27.5 Kv.	FU1, FU2 FU3	Cerrados
Seccionadores Unipolares Manuales 27.5 Kv.	SS1, SS2 SS3, SS4 S12, S34	Cerrados
Interruptores Automáticos Unipolares 27.5 Kv.	IS1, IS2	Cerrados

Seccionador Medio 27.5 Kv.	SM	Abierto
Interruptores de Fase 27.5 Kv.	IF1, IF2 IF3, IF4	Cerrados
Seccionadores de Conexión 27.5 Kv.	SC2, SC3	Abiertos

b) CONDICION DE INTERBLOQUEO DE LOS APARATOS DE INTERRUPCION EN LA SET

Los interbloques en un sistema eléctrico, se establecen con el propósito de evitar maniobras erróneas en los equipos, que ocasionarían desperfectos en los mismos, cortocircuitos en las instalaciones u otras anomalías.

A continuación son analizadas las condiciones de maniobrabilidad para cada aparato:

1) Seccionador Tripolar Motorizado con Cuchillas de Puesta a Tierra (SL, ST).

Las maniobras son posibles si:

a) Cierre: Interruptores Bipolares (IP1 e IP2) están abiertos.
Cuchillas de Puesta a Tierra (ST) están abiertas.

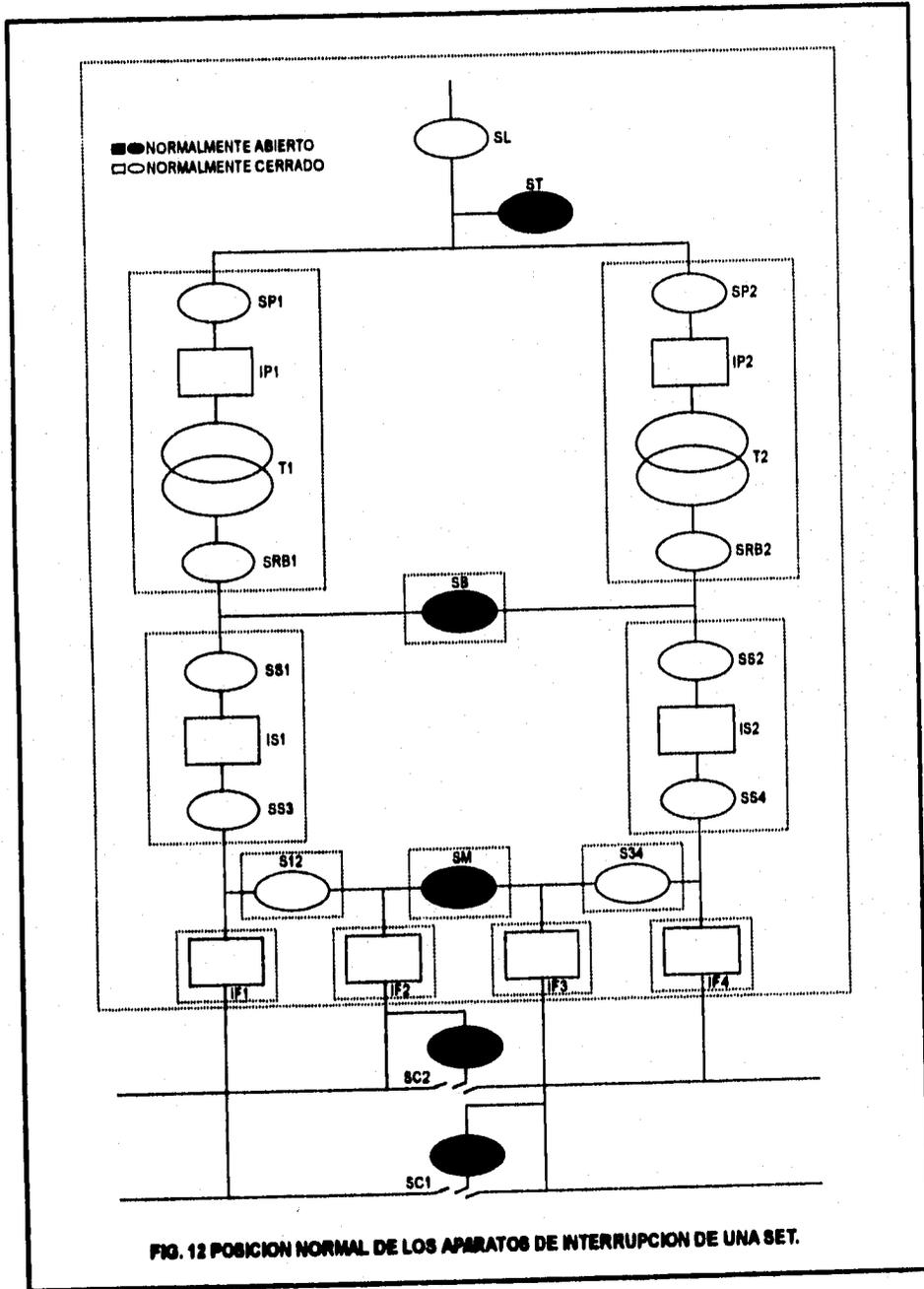
b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

3) Seccionador Bipolar Motorizado (SP1 o SP2).

Las maniobras son posible si:

a) Cierre: El respectivo Interruptor Bipolar (IP1 o IP2) este abierto.

b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.



3) Interruptor Bipolar (IP1 o IP2).

Las maniobras son posibles si:

- a) Cierre: Que el relevador 86 no haya intervenido.
Que este cerrado el respectivo Seccionador Bipolar (SP1 o SP2).
Que este cerrado el Seccionador Tripolar (SL).
- b) Apertura: Ninguna condición.

4) Seccionador Unipolar Motorizado de Ruptura Brusca (SRB1 o SRB2).

Las maniobras son posibles si:

- a) Cierre: Que este abierto el respectivo Interruptor Bipolar (IP1 o IP2).
Que no estén cerrados simultáneamente el Seccionador de Barras (SB) y el otro Seccionador de Ruptura Brusca (SRB1 o SRB2).
- b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

5) Seccionador Unipolar Manual de Barras (SB).

Las maniobras son posibles si:

- a) Cierre: Que estén abiertos los Seccionadores de Ruptura Brusca (SRB1 y SRB2), también los Interruptores Unipolares (IS1 e IS2).
- b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

6) Seccionadores Unipolares Manuales SS1, SS2, SS3, SS4.

Las maniobras son posibles si:

- a) Cierre: El Interruptor Unipolar respectivo (IS1 o IS2) estén abiertos.
- b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

7) Interruptor Unipolar (IS1 o IS2).

Las maniobras son posibles si:

- a) Cierre: Que no estén cerrados simultáneamente el otro Interruptor Unipolar (IS1 o IS2) y el Seccionador Medio (SM).
Ausencia de tensión en el sector correspondiente, relé 27 del IS1 o IS2.
Que no exista bloqueo temporal del relé 62-1 o 62-2.
- b) Apertura: Ninguna condición.

8) Seccionador Medio Motorizado (SM).

Las maniobras son posibles si se realiza por lo menos una de las siguientes condiciones:

- a) Cierre: Que los interruptores IS1, IF1 e IF2 estén abiertos, o
Que los interruptores IS2, IF3 e IF4 estén abiertos.
- b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

9) Seccionador Manual (S12).

Las maniobras son posibles si se realiza por lo menos una de las siguientes condiciones:

- a) Cierre: Que el Seccionador Medio (SM) y el interruptor IF2 estén abiertos, o
Que los interruptores IS1 e IF1 estén abiertos.
- b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

10) Seccionador Manual (S34).

Las maniobras son posibles si se realiza por lo menos una de las siguientes condiciones:

- a) Cierre: Que el Seccionador SM y el interruptor IF3 estén abiertos, o
Que los interruptores IS2 e IF4 estén abiertos.

b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

11) Interruptor de Fase (IF1).

Las maniobras son posibles si:

a) Cierre: Que los Relevadores 27/TVF1 y 27/TVF2 no registren tensión.

b) Apertura: Ninguna condición.

12) Interruptor de Fase (IF2).

Las maniobras son posibles si:

a) Cierre: Que los Relevadores 27/TVF2 y 27/TVF1 no registren tensión.

b) Apertura: Ninguna condición.

13) Interruptor de Fase (IF3).

Las maniobras son posibles si:

a) Cierre: Que los Relevadores 27/TVF3 y 27/TVF4 no registren tensión.

b) Apertura: Ninguna condición.

14) Interruptor de Fase (IF4).

Las maniobras son posibles si:

a) Cierre: Que los Relevadores 27/TVF4 y 27/TVF3 no registren tensión.

b) Apertura: Ninguna condición.

16) Cortacircuitos Fusible (FU1).

El FU1 no tiene bloqueo operativo para la maniobra, sin embargo el OSE respetara las siguientes condiciones:

- a) Cierre: Que los Seccionadores SRB1, SB y el Interruptor IS1 estén abiertos.
- b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

16) Cortacircuitos Fusible (FU2).

El FU2 no tiene bloqueo operativo para la maniobra, sin embargo el OSE respetara las siguientes condiciones:

- a) Cierre: Que los Seccionadores SRB2, SB y el interruptor IS2 estén abiertos.
- b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

17) Cortacircuitos Fusibles (FU3).

El FU3 no tiene bloqueo operativo para la maniobra, sin embargo el OSE respetara las siguientes condiciones:

- a) Cierre: Para la SET lado AQ es posible la maniobra si están abiertos los Seccionadores SRB1, SB y el Interruptor IS1.
Para la SET lado BQ es posible la maniobra si están abiertos los Seccionadores SRB2, SB y el Interruptor IS2.
- b) Apertura: Mismas condiciones del cierre.

c) EJEMPLOS DE FALLAS POSIBLES QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN UNA SET

En este punto se darán ejemplos de algunos casos de averías que se pueden presentar en una SET.

EJEMPLO No. 1: FALLA EN UN GRUPO DE TRACCION (1 ó 2)

Quando se presenta una avería en el Interruptor Bipolar IP1 en el transformador de tracción T1, las maniobras a realizar son las siguientes:

- Mantener abierto el Seccionadores Bipolares SP1 y el seccionador Unipolar de Ruptura Brusca SRB1, permitiendo con estas operaciones que este grupo quede sin tensión.
- Abrir el Interruptor Automático IS1 y los Interruptores de fase IF1 e IF2.
- Para corregir el problema de falta de tensión en esa salida de tracción, será necesario ordenar el cierre del Seccionador de Barras SB y en seguida se cerrara el Interruptor Automático IF2. Con estas maniobras se alimentara a la Catenaria por medio del Grupo de Tracción No.2.

En caso de falla del Grupo de Tracción No. 2, el procedimiento para alimentar a la Catenaria es similar al descrito pero con la intervención de los aparatos correspondientes al grupo.

EJEMPLO No.2: MANTENIMIENTO DEL SECCIONADOR TRIPOLAR

Por mantenimiento del seccionador tripolar las operaciones a efectuar son las siguientes:

- El OSE solicita a la compañía suministradora, la licencia o autorización para la apertura de este aparato.
- Apertura de los Interruptores Bipolares IP1 e IP2.
- Apertura de los Interruptores Automáticos IS1 e IS2.
- Cerrar los Interruptores de Catenaria Sectores ICS1 e ICS2 de los PS de cada lado de la SET de manera que se restablezca la alimentación de la Catenaria por parte de las SET adyacentes.

El SM quedara abierto.

EJEMPLO No.3: FALTA DE TELEMANDO

En caso de no poder realizar las maniobras de los aparatos en una SET por falta de telemando, el Operador de Subestaciones (OSE) tiene que llamar de inmediato al supervisor y declarar en estado de emergencia la instalación. El supervisor deberá asegurar el funcionamiento, de la instalación, a través del mando local hasta el arreglo de la falla.

EJEMPLO No.4: FALTA DE ALIMENTACION EN EL LADO DE A.T. DE UNA SET

Cuando esto sucede se abrirán automáticamente los Interruptores Bipolares IP1 e IP2 a los 3 seg, dejando sin tensión a la SET y como consecuencia a los sectores correspondientes. Esto trae al mismo tiempo problemas en las circulaciones eléctricas, por lo que el OSE procederá a efectuar las siguientes maniobras por medio del telemando:

- Abrir los Interruptores Automáticos IS1 e IS2 en la SET.
- Cerrar los Interruptores de Catenaria Sectores ICS1 e ICS2 en el PS de cada lado de la SET de manera que se restablezca la tensión en la Catenaria.

Cuando la tensión se restablezca, el OSE procederá a poner en condiciones normales de operación, efectuando las siguientes maniobras:

- Abrir los interruptores de Catenaria Sectores ICS1 e ICS2 de los PS correspondientes.
- Cerrar los interruptores Automáticos IS1 e IS2.
- Cerrar los interruptores Bipolares IP1 e IP2.

CAPITULO II

CATENARIA SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

II.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

a). UTILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA

La problemática en el mundo debido al uso incorrecto de la energía va en aumento. Ya que como sabemos los recursos energéticos (madera, carbón, petróleo, etc.) no son renovables y su empleo en forma indiscriminada provoca su escasez. Debido a ello se ha incrementado el desarrollo de las plantas hidroeléctricas por utilizar la energía potencial del agua, las centrales termoeléctricas, que requieren petróleo o carbón de muy baja calidad y poco valor comercial, las centrales geotérmicas que aprovechan el vapor natural de la tierra, las centrales nucleares, etc., permiten producir la energía eléctrica barata, sin necesidad de utilizar materia prima elemental o de costo elevado. Además, la posibilidad de utilizar la energía eléctrica, llegará a ser afectada a medida que la energía nuclear, que no puede ser distribuida más que en forma de electricidad, desplace a la energía originada por los hidrocarburos.

El desarrollo de la energía nuclear y posiblemente en el futuro la utilización de la energía solar, permitirán reducir el precio de venta por kilowatt/Hora, esto es, puesta la energía al alcance del usuario en cantidades que permitan su máximo aprovechamiento.

Cualquier que sea la forma de obtención de la energía eléctrica utilizada, es necesario siempre considerar en los estudios de un sistema electrificado las condiciones de producción de esta energía, de su transporte, de su conversión, por la utilización de ésta en las locomotoras y además las condiciones de construcción y el funcionamiento de los motores de tracción.

La búsqueda de soluciones óptimas, las nuevas técnicas y el mejor aprovechamiento de la energía a través de los años, han permitido, partiendo de los sistemas de tracción : por C.D. de 600 y 3,000 V; los de C.A. a frecuencia especial (16 2/3 hz) hasta llegar al sistema actual de 25,000 V C.A. a 60 hz., utilizado en muchos países del mundo.

La electrificación con tensión de 25,000 V, C.A. y 60 Hz., es implantada en las primeras rutas, en forma definitiva en Francia, en el año de 1950, naciendo así, este gran sistema de electrificación con las siguientes ventajas :

La corriente de tracción utilizada es la corriente industrial empleada en todo el mundo, por consiguiente no es necesario tener centrales eléctricas, líneas, postes de transformación, etc., especiales y de uso particular para los ferrocarriles. Las redes de distribución son lo suficientemente densas y potentes para permitir encontrar a unos cuantos kilómetros de las arterias por electrificar los puntos de alimentación de la red general de las compañías suministradoras de energía eléctrica (en México C.F.E. y C.L. y F.C.).

Las SET's, cuya separación varía de 50 a 70 Km., son muy simplificadas, en general, un solo puesto de transformación.

La tensión elevada permite tener una línea con suspensión catenaria de sección pequeña (150 mm²) e instalaciones fijas muy ligeras. Los progresos de la electrotécnica en particular el desarrollo de los rectificadores secos, han permitido aprovechar la utilización de motores de C.D.

b). MÉTODO DE REALIZACIÓN DE LÍNEAS CON SUSPENSIÓN CATENARIA.

Es una línea aérea de distribución, instalada a lo largo de las vías y sirve para transportar la energía eléctrica desde las SET's, hasta los vehículos eléctricos dotados de pantógrafo que se mueven a lo largo de ella.

La catenaria está integrada principalmente por : postes, cables alimentadores, feeder, portador, alambre de contacto, cable de guarda, aisladores y herrajes (figura 13).

Las líneas de contacto con suspensión catenaria pueden ser realizadas, siguiendo el método de enganchamiento del portador y del hilo de contacto en líneas rectas y en curvas.

Es posible, por ejemplo sujetarse a mantener siempre el portador y el hilo de contacto dentro de un mismo plano, sensiblemente vertical. Los conductores son por lo tanto, mantenidos en alineación (figura 14), el portador sobre una consola y el hilo de contacto a la mitad de un antibalace con brazo de recuperación, por lo que sus puntos de enganche prácticamente no se desplazan. Entre dos puntos de enganche, el portador y el hilo de contacto permanecen rectilíneos y en curva, describen los lados de un polígono inscrito dentro de la curva, de donde este tipo de catenaria recibe el nombre de poligonal.

Se puede concebir igualmente que solo el portador esté asegurado en una posición fija; el hilo de contacto no está ligado más que por su conexión con el portador; los péndulos.

- A - Poste
- B - Consola
- C - Tirante Ajustable
- D - Antibalanza
- E - Brazo de Atrantado
- F - Hilo de Contacto
- G - Numeración del Poste
- H - Portador
- I - Aislador del Tirante
- J - Aislador de la Consola
- K - Cable de Guarda
- L - Feeder
- M - Prolonga
- N - Suspensión "Y"
- O - Péndulo de Acero Inoxidable

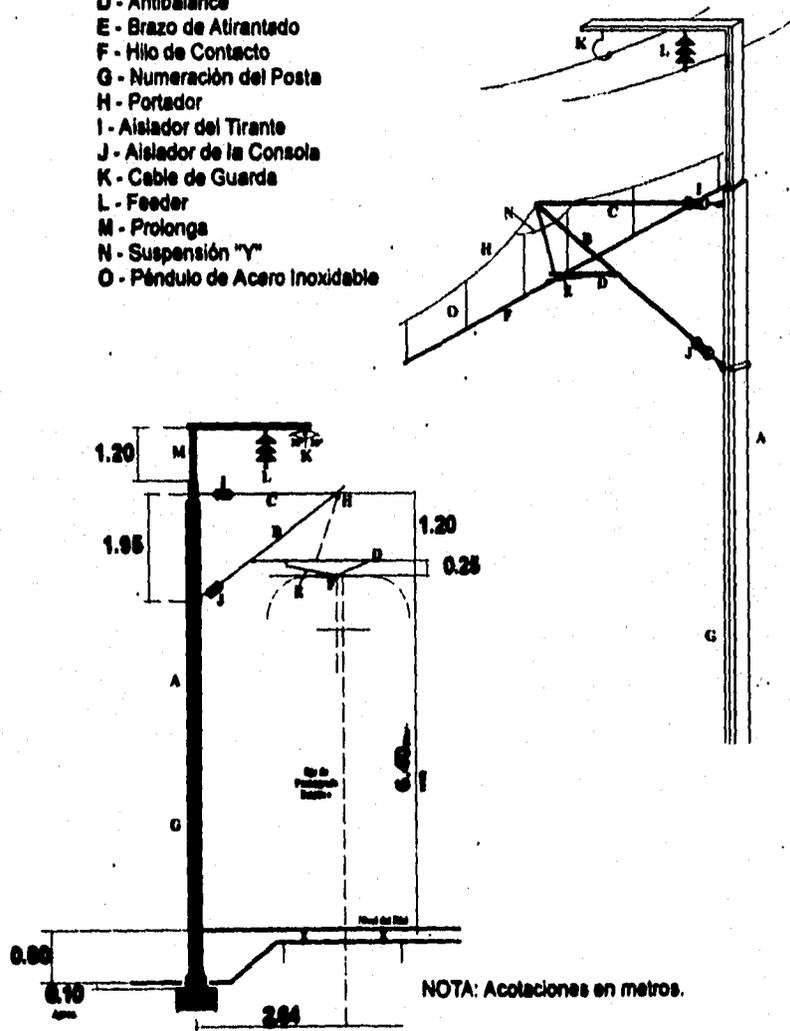


Fig. 13 Partes Principales de la Línea con Suspensión Catenaria.

En vía recta, el hilo de contacto está situado en el mismo plano que el cable portador, pero en curva donde no hay antibalace ni brazos de recuperación, la catenaria se separa de un plano hacia el centro de la curva y si el cálculo es en verano, en consecuencia, esto lleva a que la catenaria se confunda sensiblemente con la curva descrita por el punto medio del pantógrafo.

Esta catenaria representa por lo tanto dentro del espacio, una superficie torcida, más o menos inclinada, que se deforma según las variaciones de temperatura y los desplazamientos (viento) que actúan sobre ella. Este tipo de catenaria constituye una "catenaria inclinada" o "catenaria torcida".

Las catenarias inclinadas pueden, en vía recta, ser transformadas en "catenarias onduladas" (figura 15) en las que el portador en lugar de encontrarse alineado con el hilo de contacto, está alternativamente desplazado hacia un lado y hacia el otro del eje de la vía. Constituyendo así una sucesión de curvas ficticias, de tal manera que permiten suprimir los antibalances y los brazos de recuperación del hilo de contacto.

Casi todas las líneas de contacto con corriente monofásica son del tipo poligonal. Además son las más apropiadas para desarrollar grandes velocidades, las de más fácil construcción y de un mantenimiento menos costoso.

c). INSTALACIONES PARA VELOCIDADES INFERIORES A 120 KM./HR. CATENARIA SIN SUSPENSIÓN "V".

CONSTITUCIÓN DE LA CATENARIA.

La Catenaria de vía principal está compuesta de :

Un portador en cable de 65 mm² de sección constituido por 37 hilos de 15/10 de mm. en bronce al estaño de 60% de conductividad y 40 mm² de sección de cobre patrón.

Su diámetro exterior es de 10.5 mm; su peso por metro es de 0.600 Kg. y su carga de ruptura a la tracción de 4218 DaN (4,300 Kg. f).

Un hilo de contacto de 107 mm² de sección en cobre duro electrolítico de 98% de conductividad y 105 mm² de sección de cobre patrón. Su peso por metro de 0.950 Kg., su carga de ruptura a la tracción de 3,831 DaN (3,9054 Kg. f).

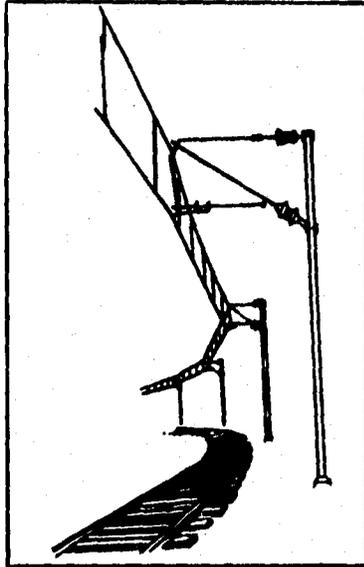


Fig. 14 Alineación del Portador y el Hilo de Contacto dentro de un mismo Plano.

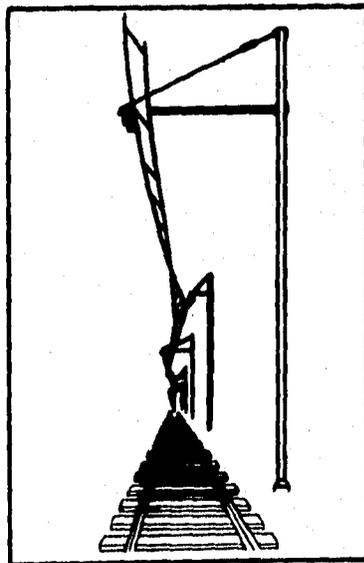


Fig. 15 Catenaria Ondulada.

Este hilo con diámetro de 12.24 mm., incluyendo ranuras longitudinales necesarios para la suspensión del portador, para permitir el frotamiento de las bandas del pantógrafo, por medio de péndulos en hilo redondo de cobre duro de 5 mm., de diámetro. La distancia máxima entre dos péndulos consecutivos es de 9 m.

El peso promedio del conjunto de esta catenaria es de 1.6 Kg., por metro.

La catenaria es mantenida sobre la vía por medio de consolas y tirantes aislados, fijos sobre los soportes.

La distribución de los soportes a lo largo de la vía constituye el piqueteaje de la línea. Se llama vano a la distancia entre dos soportes consecutivos, el vano máximo es de 63 m.

INSTALACIÓN DE UNA VÍA NORMAL.

Es de gran interés que las instalaciones de cada vía sean totalmente independientes de las otras vías. Las consecuencias de una avería que sobrevenga sobre una vía son muy limitadas y de poco interés en términos generales.

Cada poste está equipado con una consola tubular, aislada y sostenida ésta, por un tirante aislado.

La consola está constituida por un tubo de acero galvanizado de 38-4 o de 49-4.5, siguiendo los esfuerzos a que está sometida. Este tubo está integrado al capote de un aislador macizo del tipo de caja en porcelana (figura 16), o de un aislador del tipo de capote con varilla rígida en vidrio templado (figura 17).

La consola está fija al poste por medio de un soporte. Un tapón de aluminio colocado en el extremo del tubo impide la filtración de agua al interior de éste.

El tirante está constituido por un tubo de acero galvanizado de 28-3, 1, solidario al capote de un aislador del tipo de caja macizo de porcelana o de un aislador del tipo capote y varilla, rígido de vidrio templado.

El tirante está fijado al poste por medio de una pieza de sujeción con argolla, en la que se sujeta el gancho terminal del capote del aislador.

El tirante es ajustable en longitud por medio de una varilla con argolla desplazable dentro del tubo; este desplazamiento es ajustado y limitado por medio de dos pernos que atraviesan el tubo y la varilla.

El tirante sostiene a la consola por medio de una pieza de seguro que permite igualmente, fijar el portador de la catenaria respecto a la vía por medio de una mordaza con gancho. (figura 16).

El hilo de contacto está sostenido en cada soporte, en una posición determinada por la relación con el eje teórico del pantógrafo, por medio de un brazo de recuperación articulado sobre la consola, próximo a su aislamiento.

La cobertura de la catenaria, es decir la distancia recta de una suspensión entre el portador y el hilo de contacto, es normalmente de 1.40 m.

La altura del hilo del contacto respecto al plano de rodamiento de la vía es normalmente de 5.75 m., sin embargo esta altura podrá ser reducida a 5.50 m., valor entre los soportes (por ejemplo como consecuencia de la renovación de la vía). Esta cota, permite respetar, dentro de las condiciones más desfavorables, la altura del plano de contacto de 5 m., que evita la multiplicación de marcas con bandas azules previstas en el reglamento respectivo y las restricciones correspondientes.

Esta altura puede igualmente, en los puntos particulares (Pro-túneles), variar de 4.64 m., a 6.20 m.

TENSIÓN MECÁNICA DE LOS CONDUCTORES.

Los conductores como todos los metales, se dilatan por la acción del calor.

Su longitud aumenta o disminuye, ya sea que la temperatura aumente o disminuya. Supongamos un conductor tendido entre dos puntos fijos A y B (figura 16).

Si su temperatura aumenta, el conductor se dilata, su longitud crece y su tensión T' decrece formándose una flecha T' . Si por el contrario, el conductor está fijo en el punto A' , pasa el punto B' a través de una polea y termina en una pesa P' ; la dilatación provocada por el aumento de la temperatura es compensada por el desplazamiento de la pesa permitiendo que la tensión permanezca constante no importa cual sea la temperatura.



Fig. 16 Consola Integrada al Capote de un Aislador Macizo del Tipo de Caja de Porcelana.

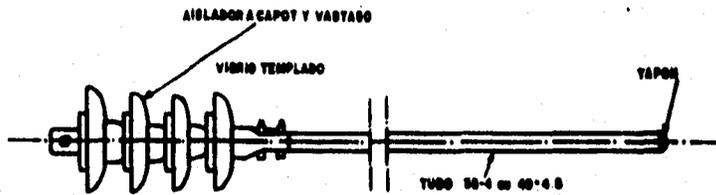


Fig. 17 Aislador de Tipo del Capote con Varilla Rígida en Vidrio Templado.

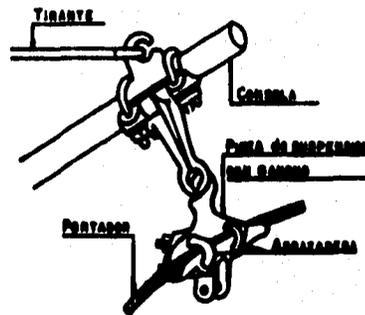


Fig. 18 Fijación del Portador.

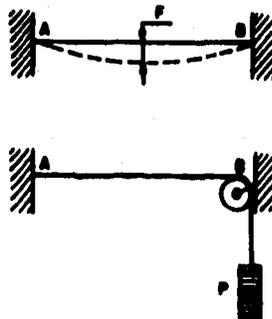


Fig. 19 Tensión Mecánica de los Conductores.

Igualmente, para conservar una misma forma en la catenaria a cualquier temperatura, es decir para evitar la flecha en el hilo de contacto a temperaturas elevadas, o para evitar la contra flecha a temperaturas bajas. El portador y el hilo de contacto en las vías principales son tendidos cada uno a 981 DaN, (1000 Kg.f) por medio de un aparato tensor automático que mantiene constante esta tensión entre los límites promedio de variación de la temperatura, esto es, de -20 °C a 20 °C.

Por este método se dice que la tensión de los conductores es regularizada.

En estas condiciones, cada punto del portador y del hilo de contacto bajo la acción de las variaciones de la temperatura, se desplaza longitudinalmente hacia el contrapeso, si la temperatura aumenta, y hacia el punto fijo en el caso contrario.

Es necesario por lo tanto que los dispositivos de fijación de estos conductores no limiten estos movimientos, por lo tanto la consola y el tirante son articulados.

El soporte de la consola en fierro fundido galvanizado, incluye dos articulaciones, siguiendo dos ejes perpendiculares que forman una junta con movimiento encuadrante.

La pieza de sujeción del tirante sobre el poste incluye un anillo en el que conecta el gancho externo del aislador del tirante.

Se llama coeficiente de dilatación lineal al alargamiento de un metro de conductor, a consecuencia de una elevación de temperatura de un grado.

El coeficiente de dilatación del bronce patrón (Portador) y del cobre electrolítico (hilo de contacto) es igual A :

$$L = 17 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ es decir } 0.000017 \text{ m}^\circ\text{C}$$

La tensión del portador está definida de tal manera que el péndulo más pequeño entre el transversal superior sea de 0.15 m.

En caso de una sobrecarga (mecánica) accidental, la elasticidad de los transversales debe ser mantenida; por regla general, la elasticidad transmitida por el soporte es suficiente. Cuando los transversales están anclados en dos soportes gemelos, un muro de soporte o una marquesina, la elasticidad es mantenida insertando en los cables resortes protegidos por un cubre cadena en una placa de fierro. El resorte siempre está dispuesto en la extremidad más tensa del cable.

d) INSTALACIONES PARA VELOCIDAD IGUAL O SUPERIOR A 120 KM/HR CATENARIA CON SUSPENSIÓN "Y"

CONSTITUCIÓN DE LA CATENARIA.

Para obtener una captación conveniente, es deseable que la elasticidad de la catenaria sea lo más constante posible.

Con el fin de limitar estas diferencias, la elasticidad entre los extremos y el centro de un espacio interpostal, se instala en cada punto de suspensión del portador un cable auxiliar de cobre de 29 mm² de sección y de 10 m. de longitud, fijado sobre el portador a una distancia de 5 m. de un lado y del otro de la pinza de suspensión. Dos péndulos se encuentran suspendidos sobre este cable auxiliar.

Este ensamble constituye la "Suspensión en Y"

Este tipo de suspensión se instala en las líneas donde la velocidad de circulación es igual o superior a 120 Km./hr sin embargo, esta suspensión "Y" no se instala :

- Cuando el encubrimiento de la catenaria es inferior a 0.90 m.
- Sobre el soporte situado al centro de un cambio de vía, así como el soporte vecino del lado del talón del aparato.
- Sobre el soporte situado al centro de un travesaño, así como en los soportes encuadrantes.
- Sobre los soportes que constituyen una sección de separación, así como sobre el primer soporte más arriba de esta sección.
- Cuando hay menos de tres soportes sucesivos, incluidos en esta suspensión.

En los seccionamientos mecánicos y eléctricos, la presencia de la suspensión "Y" implica la modificación de los encubramientos de catenaria de los diferentes soportes, en relación con los equipos sin suspensión "Y".

En los soportes de eje los encubramientos de 1.20 m. y 2.0 m., los reemplazan los de 0.75 m. y 1.40m., respectivamente. En los soportes intermedios, el encubramiento de las catenarias elevadas pasa de (0.90 m-r) a (1.80 m-r).

ANTIBALANCES.

El levantamiento del hilo de contacto de las suspensiones en recte, depende de la velocidad de circulación y en consecuencia :

- Para las velocidades de circulación inferiores o iguales a 160 Km./hr antibalances incluyen brazos de sujeción rectos. Hasta 140 Km./hr al montaje, la distancia entre el eje del tubo del antibalance y el eje del hilo de contacto es de 0.25 m. y para velocidades de 140 a 160 Km./hr esta distancia es de 0.30 m.
- Para las velocidades superiores a 160 Km./hr se utilizan brazos de sujeción acodados.

REGULACIÓN DE LOS CONDUCTORES.

La catenaria con suspensión "Y" se utiliza para equipar las vías recorridas a velocidades iguales o superiores a 120 Km./hr. La regulación del portador y del hilo de contacto es obligatoria.

Para las velocidades superiores a 140 Km./hr, para mejorar la captación el plano de contacto presenta una flecha ligera. Esta flecha se obtiene en las líneas existentes, sometiendo los conductores a las tensiones mecánicas a continuación indicadas, por medio de un balancín: 850 DaN, para el portador y 1150 DaN para el hilo de contacto.

En plena vía la instalación normal, permite esta regularización.

En las estaciones o donde el escaso valor de las antréviás no permite colocar soportes independientes, se utilizan generalmente pórticos rígidos equipados con soportes.

Las catenarias en los cambios de vía que se empalman con las vías principales, deben ser totalmente regularizadas, esto es con el fin de conservar el mismo desnivel entre los hilos de contacto.

e) AISLADORES Y APARATOS DE INTERRUPCIÓN

Aisladores tipo de "Caja Maciza"

Los aisladores del tipo de caja maciza, están constituidos por un cuerpo de porcelana normal o de alta resistencia, según las características mecánicas demandadas, además están provistos de alelas. El cuerpo incluye a cada extremo capots de forma apropiada según el caso de utilización, tal como se indica a continuación:

Aisladores de anclaje.

Los dos extremos del aislamiento tienen el mismo capot con espiga en fierro fundido maleable galvanizado (figura 20).

Este tipo de aislador se utiliza en las líneas antiguas y ha sido reemplazado por los aisladores de tipo capot y vástago descritos en el párrafo siguiente:

Aisladores de Tirantes

Aisladores de Consolas

Estos aisladores están provistos de un capot con gancho y de un capot con espiga para los tirantes en tensión de tubo, y dos tomillos para los tirantes en compresión (figura 21), de un capot con espiga y de un capot con tubo y dos abrazaderas para las consolas (figura 22).

Aisladores para aisladores de sección

Estos aisladores están provistos de dos capots con espiga colocados a tope. Estos pueden trabajar a la flexión (figura 23).

Aisladores de soporte

Estos aisladores están equipados con capote con base. Estos se utilizan para los polos de los seccionadores, los soportes de barras o los cables de alimentación.



Fig. 20 Aislador de Anclaje.



Fig. 21 Aislador de Tirantes.



Fig. 22 Aislador de Consolas.



Fig. 23 Aisladores para Aisladores de Sección.

ZONA DE UTILIZACIÓN.

En función de la zona de utilización se aplican los aisladores donde la línea de fuga permite un arreglo eléctrico diferente, tal como se describe a continuación :

En zona normal se utilizan aisladores de línea de fuga promedio, de 0.60 m.

En zona marítima de contaminación, los aisladores de línea de fuga media de 1.20 m. son aplicados.

En zona muy contaminada los aisladores de línea de fuga media son de 2.25 m.

Aisladores del Tipo a Capot y Varilla

Los aisladores del tipo a capot y varilla están contruidos en porcelana o en vidrio templado.

Estos están diseñados para ser instalados uno a continuación del otro constituyendo así las cadenas.

Estas cadenas articuladas se utilizan para los anclajes, las suspensiones de portadores de alimentador, los aislamientos del cable de tierra, etc.

El diámetro de su periferia (hongo) es de 254 mm. para los elementos en vidrio templado y de 240 mm. para los elementos en porcelana.

De acuerdo con la zona de utilización normal o de contaminación, las cadenas de aisladores están constituidas por tres o cuatro elementos.

De estos aisladores los de vidrio templado ensamblado rigidamente, se utilizan también para el aislamiento de los tirantes de consolas y para las consolas tubulares.

Aisladores en Material Sintético

Estos aisladores están constituidos por una varilla de fibra de vidrio mezclada con una resina, esta varilla puede estar cubierta con una capa de un polímero aislante, tal como el PTFE (Polytetrafluoretileno) o cualquier otro producto resistente a las fugas y a la carbonización superficial. Los aisladores incluyen a cada extremo una terminal adaptada de acuerdo a su utilización.

El peso relativamente bajo de este tipo de aisladores en relación con los descritos anteriormente, permite su utilización para los aisladores de sección o para el aislamiento de conductores elevados en los seccionamientos.

Aisladores de Sección.

Las secciones elementales de las vías de servicio están separadas eléctricamente unas de las otras, por medio de aisladores de sección.

Los aisladores de sección desempeñan la misma función que los seccionamientos a espacio de aire de poca longitud. Ellos están constituidos por uno o dos aisladores de caja maciza en porcelana o por dos aisladores en material sintético. Estos aisladores están dispuestos de tal manera que puedan librar el plano de contacto. La guía y la continuidad del pantógrafo y su alimentación son aseguradas por medio de patines de cobre.

Aislador de Sección con Masa Distribuida.

Este aislador de sección está constituido por tres aisladores en material sintético, sobre los que están enlazados los patines contruidos en placas de cobre.

Esta disposición permite la distribución de los esfuerzos, sobre los aisladores y la repartición del peso a todo lo largo.

Este tipo de aislador de sección puede ser recorrido a una velocidad inferior o igual a 120 kms/hr en ambos sentidos.

APARATOS DE INTERRUPCIÓN

Estos aparatos permiten establecer o suprimir a voluntad la continuidad eléctrica de las líneas de contacto o de los alimentadores (feeders). El reglamento de tracción proporciona las medidas de seguridad que deben observarse, para efectuar las maniobras en estos aparatos.

Seccionadores

Los seccionadores son aparatos de interrupción maniobrables solamente a la vista. Estos son destinados a interrumpir la continuidad de un conductor o a aislarlo de otros conductores.

Los tipos de aparatos utilizados son los siguientes :

Seccionador a apertura vertical, hacia la base.

En estos aparatos los aisladores están suspendidos bajo el chasis y la operación de corte se efectúa directamente.

Uno de los aisladores soporta la articulación de la cuchilla y el otro las quijadas de concreto en las que se introduce la cuchilla, al cierre del aparato.

Este aparato tiene la ventaja de asegurar a la apertura, una visibilidad total, la que permite ver la posición de las cuchillas.

Seccionador a apertura vertical hacia arriba, (fig. 24).

Estos aparatos están constituidos por dos aisladores soportados por un chasis.

Uno de estos aisladores soporta la articulación, el otro la quijada de contacto en la que se introduce la navaja. La navaja es desplazada por medio de una biela aislante accionada por una manivela.

Seccionador rotatorio, (fig. 25).

Estos seccionadores están constituidos por tres aisladores soportados en un chasis, los dos extremos soportan las quijadas de contacto : el aislador central es móvil y gira alrededor de su eje, soportando en la parte superior una cuchilla horizontal.

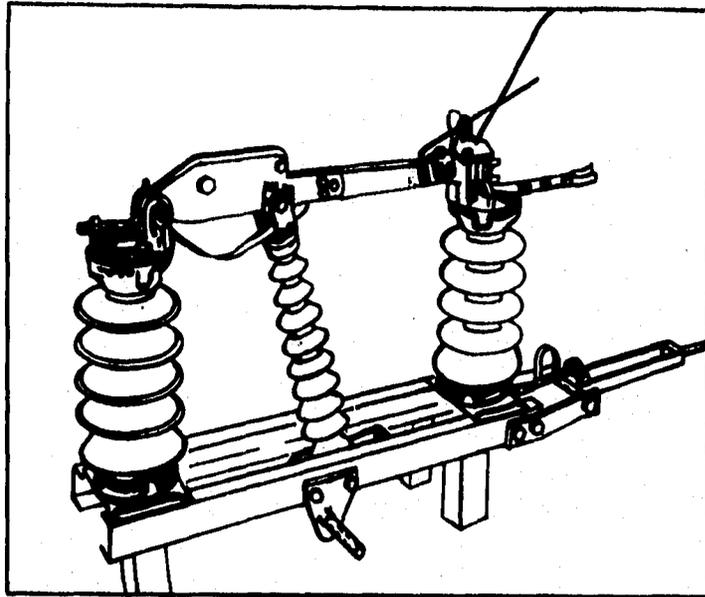


Fig. 24 Seccionador de Apertura Vertical hacia arriba.

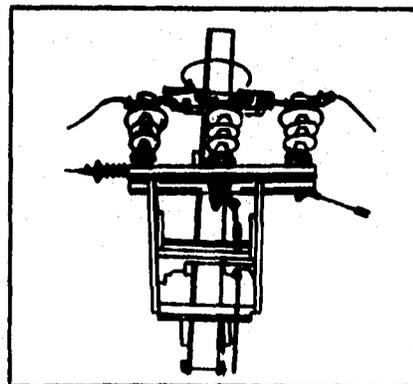


Fig. 25 Seccionador Rotatorio.

La operación de éstos seccionadores se efectúa generalmente en el sitio manualmente, por medio de un sistema de varillas comandado por una palanca.

Un dispositivo de inmovilización por medio de candados, permite asegurar la palanca de manobras en la posición de cierre o de apertura.

Ciertos seccionadores pueden igualmente ser operados por motores eléctricos con mando a distancia.

Otros seccionadores (alimentación de casa redonda, zonas de inspección, andenes de carga, etc.), incluyen un dispositivo de puesta a los rieles, que permite obtener simultáneamente la maniobra de apertura y de puesta al riel, de las líneas que se va a poner sin tensión.

En las estaciones importantes, los seccionadores están agrupados sobre un mismo pórtico de alimentación.

INTERRUPTORES

Estos aparatos de interrupción pueden ser operados con carga y son destinados a abrir o cerrar voluntariamente un circuito. Son telemandados desde la Central de Subestaciones para las catenarias primarias, o desde la estación para las catenarias secundarias.

Se consideran dos tipos de aparatos :

Interruptor en el suelo e Interruptor Aéreo.

Interruptores Automáticos (Disyuntores).

Estos interruptores son operables con carga y destinados a abrir o cerrar un circuito, ya sea voluntariamente o automáticamente por el efecto de una variación predeterminada de la intensidad de la corriente.

II.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS LÍNEAS DE CONTACTO

GENERALIDADES

Cualquiera que sea el método de realización, las líneas de contacto deben presentar un conjunto de cualidades, tanto desde el punto de vista eléctrico como desde el punto de vista mecánico.

a) CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Las líneas de contacto aseguran el transporte de la corriente requerida por las locomotoras, estas líneas por lo tanto, deben estar constituidas para evitar caídas de tensión importantes.

La sección total de una catenaria está calculada en función del tráfico, del perfil, del trazo de la línea, de las caídas de tensión admisibles y de la implantación de las subestaciones. La catenaria está expresada por una sección total equivalente en cobre patrón.

En tracción por corriente monofásica la sección total es normalmente de 150 mm^2 . (En corriente continua esta sección varía de 400 a 800 mm^2).

Si el transporte de la energía debe ser hecho sin caídas de voltaje excesivas, es necesario igualmente que la línea opere sin provocar un calentamiento anormal de los conductores.

Se admite generalmente que las catenarias pueden soportar en forma permanente una densidad de corriente de 4 amperes por milímetro cuadrado y una sobrecarga temporal del 50% es decir 6 amperes por milímetro cuadrado, durante 3 min.

Es necesario considerar que desde el punto de vista de la utilización, por el pantógrafo de la locomotora, toda la corriente se encuentra concentrada en el hilo de contacto. Debe por lo tanto ser fácil de prever donde es necesario que las conexiones eléctricas entre estos dos conductores estén cuidadosamente distribuidas.

b) CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Las líneas de contacto deben resistir todos los esfuerzos normales a que estas pueden ser sometidas, todo esto manteniendo un coeficiente de seguridad impuesto por reglamentación. Los cálculos de los elementos constitutivos son establecidos con base a esto.

Cualquier problema mecánico particular e importante debe igualmente ser resuelto ya que el paso del pantógrafo bajo el hilo de contacto debe operar en forma continua y sin provocar una deformación excesiva de la línea.

La línea en efecto, bajo el empuje del pantógrafo, se levanta en función de su elasticidad. Esta deformación importante entre dos puntos de suspensión, es mucho más reducida en las rectas, ya que en ellas la elasticidad es reducida; en otras condiciones el pantógrafo es afectado por movimientos verticales ascendentes y descendentes, muchas veces de gran amplitud, que pueden eventualmente agregarse a la oscilación propia de la catenaria, provocando separaciones importantes.

Es necesario que la elasticidad de la catenaria se mantenga lo más constante posible.

La solución que generalmente se utiliza para mejorar la elasticidad de la línea de contacto, consiste en suspender horizontalmente el hilo de contacto a un cable portador por medio de péndulos de longitud variable.

De esta manera la elasticidad en los puntos de suspensión, aunque es inferior a la constante en la mitad del portador, permite sin embargo, la circulación a velocidades que pueden alcanzar hasta 120 Km/hr.

Para velocidades superiores es necesario adoptar disposiciones complementarias, tales como la suspensión en "Y".

Las líneas constituidas de esta manera portador más hilo de contacto, si su suspensión se efectúa rigidamente, la elasticidad, nula en los puntos de suspensión, pero importante a la mitad de los soportes, presenta variaciones considerables que imposibilitan la circulación a velocidad. Este tipo de equipo es por tal razón reservado a las vías de estaciones sobre las que la velocidad es siempre mínima.

Con el fin de equipar las vías principalmente para una línea de contacto simple, el hilo de contacto es suspendido en una consola horizontal por medio de un cable de anclaje sobre el hilo, de un lado y de otro del punto de suspensión. La elasticidad obtenida de esta manera permite la circulación a velocidades que pueden alcanzar 120 Km/hr.

Además de la elasticidad, es necesario que la catenaria conserve sensiblemente una misma forma, no importando cual sea la temperatura. Para este efecto el portador y el hilo de contacto son tendidos en medio de aparatos tensores automáticos; estos tensores mantienen constante la tensión de la catenaria entre los límites habituales de variaciones de la temperatura, es decir la catenaria regularizada.

C) CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS (DESCENTRADO - ALCANCE - TENSIÓN RADIAL).

En el aislamiento, si el hilo de contacto está siempre situado sobre el eje de la vía, la plantilla del pantógrafo frotará en forma sensible en un solo punto de ella, el desgaste en este punto será muy rápido y la plantilla se deformará e inclusive se partirá en dos, además que la captación será deficiente.

Para evitar este inconveniente, el hilo de contacto está descentrado en cada soporte con relación al eje de la vía. Esto se logra dando una cierta inclinación a los péndulos en la cercanía de los puntos de suspensión.

El descentrado del hilo de contacto se logra por medio de un antibalace (figura 26) sobre el que está fijado un brazo de sujeción.

Ya sea que el hilo de contacto se encuentra de un lado o del otro del eje de la vía, éste ejerce sobre el conjunto del antibalace y del brazo de sujeción un esfuerzo orientado, ya sea hacia el soporte o hacia el exterior.

Por otra parte, el brazo de sujeción debido a su articulación no puede soportar ningún esfuerzo de compresión, sino únicamente un esfuerzo de tracción.

Por lo tanto, es usual utilizar dos tipos de montajes:

El primero llamado "montaje en Tensión" constituido por un antibalace corto que actúa a la tensión, el segundo llamado "montaje en Compresión" constituido éste por un antibalace largo que trabaja en compresión y en el extremo del cual se encuentra fijo el brazo de sujeción que trabaja a la tensión.

En el caso de una vía doble, dos soportes situados frente a frente están siempre equipados uno en tensión y otro en compresión a fin de evitar que por la posición frente a frente de dos montajes en compresión se reduzca peligrosamente la distancia de seguridad que debe separar dos instalaciones que sean parte de dos secciones elementales diferentes.

El antibalace está constituido por un tubo de acero galvanizado de 28-3, 1, o de 38-4 articulado sobre la consola y mantenido horizontalmente por un péndulo en cobre duro de 7 mm. de diámetro, fijado bajo la pinza de suspensión del portador. El brazo de sujeción, en una aleación ligera, tubo de 25 - 2 articulado bajo el tubo de acero con la ayuda de una pinza manteniendo al hilo de contacto en su posición de descentrado.

Para evitar un desplazamiento anormal del hilo de contacto y del brazo de sujeción por efecto de viento lateral violento, el brazo de sujeción incluye un dispositivo "antiviento" (figura 27), constituido éste por un anillo por el que pasa en el interior el antibalace, y que sujeta así los dos tubos, sin afectar el movimiento vertical del brazo de sujeción.

Además, no es necesario que bajo la acción de un empuje importante del pantógrafo (presión mal ajustada, acción de viento frontal, etc.), el brazo de sujeción se levanta a un punto en que el pantógrafo golpee el tubo del antibalace.

En una curva, los dos rieles de una misma vía no están al mismo nivel, esta diferencia constituye el desplome (peralte). El eje de una locomotora circulando sobre esta vía, no es vertical, es necesario por lo tanto, distinguir el eje del pantógrafo y el eje vertical de la vía que pasan por la mitad de ésta.

La mitad de la plantilla del pantógrafo describe en el espacio una curva idéntica a la de la vía; se supone ante todo que cada punto de sujeción del hilo de contacto se encuentra sobre esta curva.

El hilo de contacto en razón de su tensión mecánica, está rectilíneo entre dos puntos de sujeción, describiendo por lo tanto los lados de un polígono inscrito dentro de la curva.

La catenaria constituida siguiendo este principio se llama catenaria poligonal.

Es posible constatar que con el descentrado máximo, 0.200 m. en una recta y 0.240 m. en curva, la parte útil del pantógrafo no se utiliza íntegramente. El hilo de contacto no frota más que 0.480 m. máximo, para una parte rectilínea del pantógrafo de 0.690 m. y un máximo utilizable de 1.060 m.

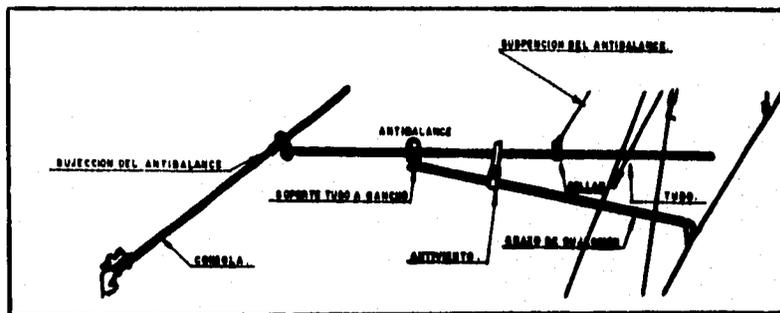


Fig. 26 El Descentrado del Hilo de Contacto se logra por medio de un Antibalance.

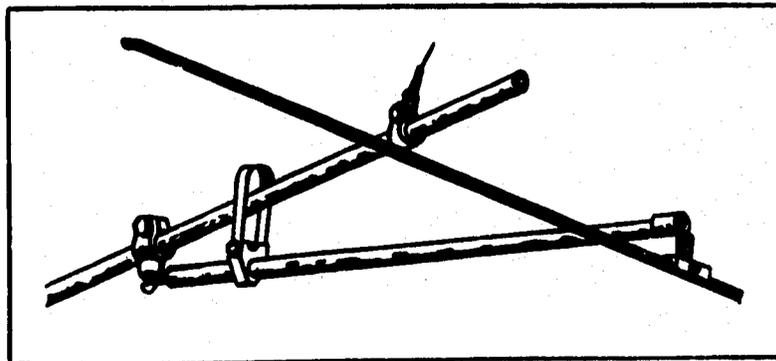


Fig. 27 Dispositivo Antiviento del Brazo de Sujeción.

Este margen de seguridad ha sido previsto con el fin de tener en cuenta que los factores siguientes puedan intervenir en el mismo sentido :

Balanceo lateral del pantógrafo (debido al movimiento de la caja de la máquina, al movimiento resultante del estado de la vía, etc.).

Balance de la catenaria por el efecto del viento.

Al nivel del hilo de contacto, la distancia X que separa el eje vertical de la vía y el eje del pantógrafo, está dada por la fórmula :

$$X = \frac{d - H}{1.51}$$

En la que :

d	Es el desplome (peralte) de la vía
H	Es la altura del hilo e contacto
1.51	Es el entre - eje de la vía

La sujeción del cable portador puede ocupar por relación al eje vertical de la vía, tres posiciones definidas en función de la distancia X, el portador no debe, sin embargo, estar alejado más de 0.200 m., de la vertical pasando por el hilo de contacto, de donde la regla siguiente :

Si $X \leq 240$ mm. la sujeción del portador está a -200 mm. del eje vertical de la vía.

Si $240 < x \leq 440$ mm. la sujeción del portador está sobre el eje vertical de la vía.

Si $X > 440$ mm. la sujeción del portador está a +200 mm. del eje vertical de la vía.

a) PÉNDULOS.

El hilo de contacto está suspendido en el portador por medio de péndulos. Estos péndulos de cobre redondo duro de 5 mm. de diámetro están constituidos (figura 28) por una varilla con argollas de una longitud fija de 105 mm. y una varilla péndulo de longitud ajustable que pueda comerse dentro de la argolla inferior de la otra varilla.

Todos los péndulos son del tipo de corredera para aumentar la elasticidad de la línea.

Los péndulos están suspendidos en el portador por medio de una mordaza con gancho fijada también por sujeción dentro de las ranuras del hilo de contacto.

DISTRIBUCIÓN DE LOS PÉNDULOS.

La distribución es simétrica. La distancia máxima entre dos péndulos es de 9 m. Esta distancia puede ser reducida en la cercanía del punto de suspensión.

Péndulos con hilo de contacto simple regularizado.

Cuando el hilo de contacto es simple regularizado, su expansión longitudinal, a consecuencia de la dilatación, provoca que la parte inferior de los péndulos presenten una cierta inclinación.

El arreglo inicial de la línea está hecho de modo que los péndulos presenten una vertical a $+ 15^{\circ} \text{ C}$ ($+ 25^{\circ} \text{ C}$ en la región de Marsella).

Cuando el ángulo de los péndulos, en relación a la vertical, se lleva el riesgo de rebasar el valor de 24 grados, debido a las temperaturas excesivas los péndulos son suspendidos por un falso portador, hecho de alambre de cobre de 104 mm^2 ; éstos son denominados péndulos móviles.

El falso portador está dispuesto horizontalmente a fin de no estorbar el desplazamiento en curva del péndulo.

La distribución de estos falsos portadores está determinada en función de la longitud de los péndulos y de su distancia al punto de anclaje del hilo de contacto.

Determinación de la Longitud de los Péndulos.

La flecha en un punto de un conductor es la distancia de ese punto a la recta que une los puntos de suspensión.

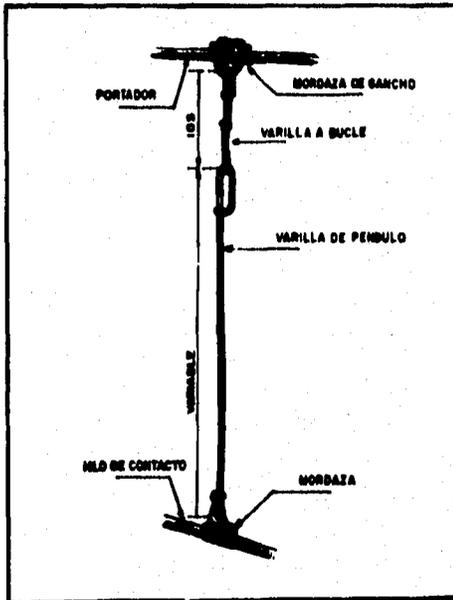


Fig. 28 Péndulos Tipo Corredera.

CALCULO DE LOS PERNOS DE CATENARIA CON SUSPENSION 'Y'.

Flèche en el medio vano de un cable tendido.

Sea P el peso lineal del cable.

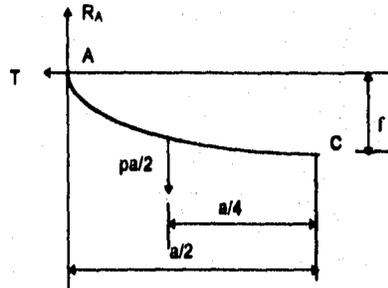
$$R_A = R_B = Pa/2$$

Momento respecto a C.

$$M_C = T_1 + (Pa/2 \cdot a/4) - (R_A \cdot a/2) = 0$$

$$T_1 = Pa^2/4 - Pa^2/8 = Pa^2/8$$

$$f = Pa^2/8T \text{ -----(1)}$$



Flèche en un punto cualquiera.

Momento respecto a D.

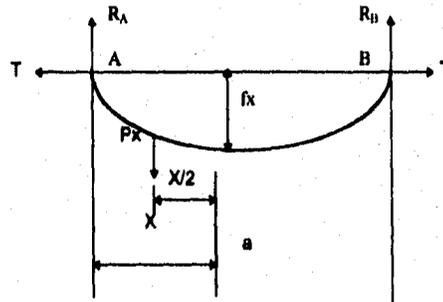
$$M_D = T_1 + px/2 - R_Ax = 0$$

$$T_1 = (Pa/2)x - px^2/2 = [px/2](a-x)$$

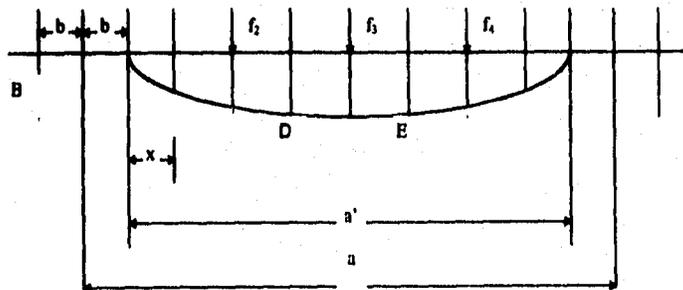
$$fx = [P/2T X] (a-x) \text{ ----- (2)}$$

Sustituyendo (1) en (2).

$$fx = [4f/a^2] [x \cdot (a-x)] \text{ ----- (3)}$$



CALCULO DE LAS CARGAS COLGADAS A CADA PÉNDULO.



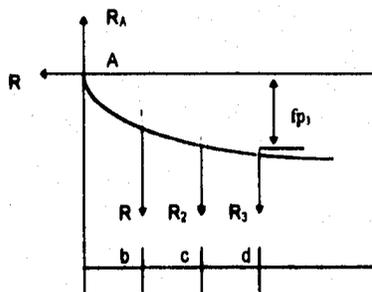
Flecha del portador a cada péndulo. (f_p)

Calculamos la flecha f_{p3} , calculando el momento de las fuerzas respecto al punto de aplicación de R_3

$$M = -(R_A)(b + c + d) + T f_{p3} + R_1(c + d) + R_2 d + (p \cdot ((b + c + d)^2 / 2)) = 0$$

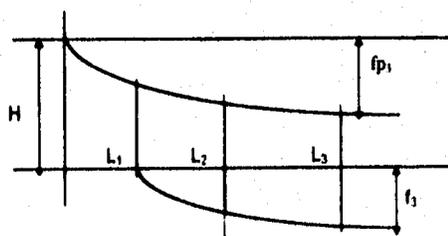
$$T f_{p3} = R_A(b + c + d) - R_1(c + d) - R_2 d - (p \cdot ((b + c + d)^2 / 2))$$

$$f_{p3} = 1/T \cdot (R_A(b + c + d) - R_1(c + d) - R_2 d - (p \cdot ((b + c + d)^2 / 2)))$$



Longitud de los péndulos.

Sea H el encubrimiento al nivel del poste.

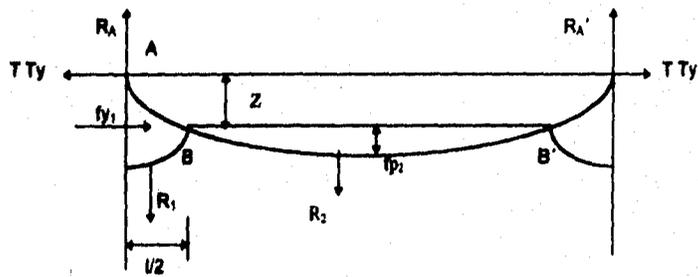


$$L_3 = H - f_{p3} + f_3$$

donde:

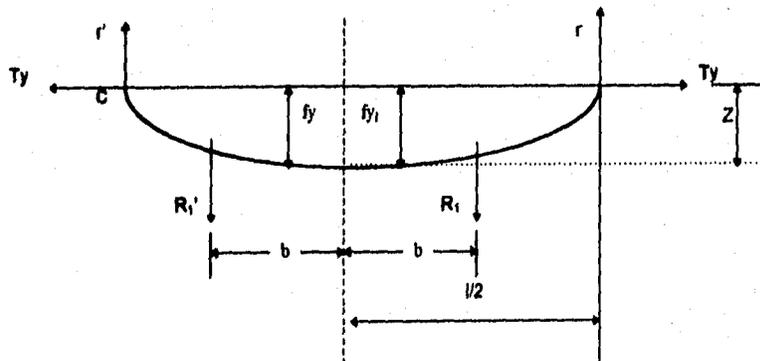
- P_x = Peso del cable en cualquier punto.
- f_x = Flecha en cualquier punto.
- T = Tensión del cable.
- M_x = Momento respecto punto x .
- x = Cualquier punto.
- $R_A = R_B$ = Cargas sostenidas por el péndulo.

CATENARIA 25 KV. CON SUSPENSIÓN "Y".



- T = Tensión del portador.
- T_y = Tensión del cable "y".
- P_y = Peso lineal del cable "y".

Apertando el cable "y" y calculamos su reacción r en B.



$$r - R_1 \cdot (l/2 + b) - R_1' \cdot (l/2 - b) + P_y \cdot l^2/2 = 0$$

$$r = 1/l \cdot [R_1(l/2 + b) + R_1'(l/2 - b) + P_y \cdot l^2/2]$$

La reacción r permite determinar las flechas f_1 y f_y .

$$F_y = 1/T_y (r/2 - R_1 b - P_y \cdot l^2/2)$$

$$F_{y1} = 1/T_y [(r/2 - b) - P_y/2 \cdot (l/2 - b)^2]$$

EJEMPLO DE CALCULO DE PÉNDULOS CATENARIA CON "Y".

Para un vano de 63 m. se tiene establecido que son 8 péndulos. Este tipo de péndulo es para líneas rectas. Por norma se tiene que preestablecer los siguientes datos.

Peso al metro del alambre de contacto:	$P_{AC} = 0.951 \text{ DaN/m.}$
Peso al metro del portador:	$P_p = 0.719 \text{ DaN/m.}$
Peso al metro del cable "Y":	$P_y = 0.305 \text{ DaN/m.}$
Tensión mecánica del AC:	$T_{AC} = 1000 \text{ DaN}$
Tensión mecánica del portador:	$T_p = 1000 \text{ DaN}$
Tensión mecánica del cable "Y":	$T_y = 300 \text{ DaN}$
Peso promedio de un péndulo:	$P_{mp} = 0.4 \text{ DaN}$
Flecha máxima del AC:	$f_m = a/1000 = 63/1000 = 0.063 \text{ m.}$

Calculamos la flecha en los diferentes puntos.

$$f_n = [4fm/a^2] X_n(a_2 - X_n)$$

$$f_2 = [(4)(0.063)/(58.5)^2] 6.75(58.5 - 6.75) = 0.026 \text{ m.}$$

$$f_3 = [(4)(0.063)/(58.5)^2] 15.75(58.5 - 15.75) = 0.049 \text{ m.}$$

$$f_4 = [(4)(0.063)/(58.5)^2] 24.75(58.5 - 24.75) = 0.061 \text{ m.}$$

Ahora calculamos las cargas sostenidas por cada péndulo mediante la siguiente fórmula.

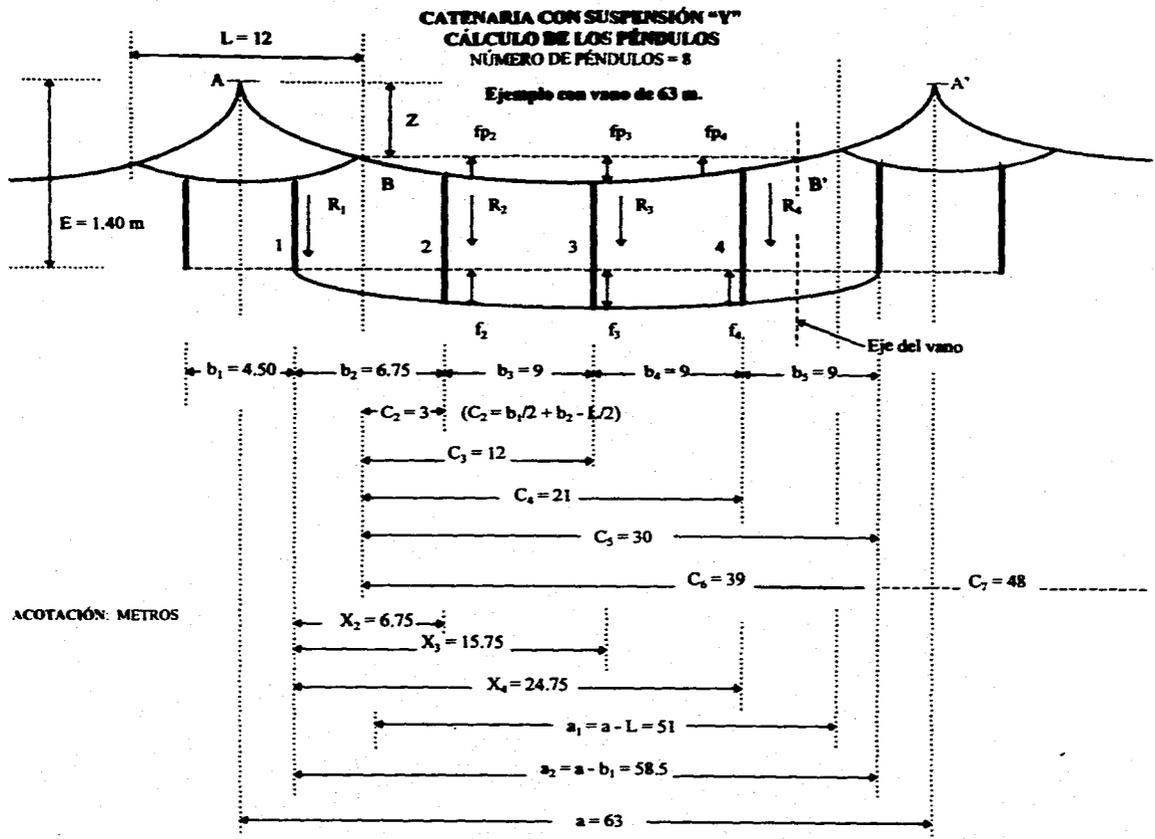
$$R_n = P_{AC}(b_n + b_{n+1}/2) + T_{AC}(f_n + 1 - f_n/b_n + 1) - T_{AC}(f_n - f_{n-1}/b_n) + P_{mp}$$

$$R_1 = 0.951[(4.50 + 6.75)/2] + 1000 \cdot (0.061/6075) - 0 + 0.4 = 9.601 \text{ DaN}$$

$$R_2 = 0.951[6.75 + 9]/2 + 1000[(0.049 - 0.026)/9] - 1000[(0.026/6.75) + 0.4 = 6.593 \text{ DaN}$$

$$R_3 = 0.951[(9 + 9)/2] + 1000[(0.061 - 0.049)/9] - 1000[(0.049 - 0.026)/9] + 0.4 = 7.737 \text{ DaN}$$

$$R_4 = 0.951[(9 + 9)/2] + 1000(0) - 1000[(0.061 - 0.049)/2] + 0.4 = 7.626 \text{ DaN}$$



Como el sistema esta perfectamente simétrico, obtenemos su carga total a partir de la formula

$$R = [\sum R_n + P_p a_1] / 2$$

Nota: Rn solo péndulos existentes entre B y B'.

$$R = 6.593 + 7.737 + 7.826 + (0.719)(51/2) = 40.29 \text{ DaN}$$

Calculo de flecha en los péndulos existentes entre B y B'.

$$f_{p_n} = 1/Tp [R C_n - R_{n-1}(C_n - C_{n-1}) - R_{n-2}(C_n - C_{n-2}) - \dots - P_p(C_n^2/2)]$$

$$f_{p_{27}} = 1/1000[(40.29)(3) - (0.719)(3^2/2)] = 0.118 \text{ m.}$$

$$f_{p_{36}} = 1/1000[(40.29)(12) - (6.593)(12 - 3) - (0.719)(12^2/2)] = 0.372 \text{ m.}$$

$$f_{p_{45}} = 1/1000[(40.29)(21) - (7.737)(21 - 12) - (6.593)(21 - 3) - (0.719)(21^2/2)] = 0.499 \text{ m.}$$

Determinamos la reacción r para poder obtener las flechas fy, entonces tenemos:

$$r = R_1 + P_p / 2$$

$$r = 9.601 + 0.305(12/2) = 11.431 \text{ DaN}$$

Del resultado anterior obtenemos

$$F_{y_1} = 1/Ty [r(l - b_1/2) - P_y/2 (l - b_1/2)^2]$$

$$F_{y_1} = 1/300(11.431)[(12 - 4.5)/2] - 0.305/2 [(12 - 4.5)/2]^2 = 0.136 \text{ m.}$$

Determinamos la carga en A

$$R_A = r + R + P_p / 2$$

$$R_A = 11.431 + 40.29 + 0.719(12/2) = 56.035 \text{ DaN}$$

Apartir de los datos obtenidos determinamos la elongación del cable "Y".

$$Z = 1/Tp - Ty [R_A / 2 - P_p l^2 / 8]$$

$$Z = 1/1000 - 300[(56.035)(6) - (0.719)(12^2/8)] = 0.462 \text{ m.}$$

Entonces ya podemos obtener la longitud de los péndulos.

$$L_{p_{16}} = E - Z - f_{y_1} - 0.025 = 1.4 - 0.462 - 0.136 - 0.025 = 0.777 \text{ m.}$$

$$L_{p_{27}} = E - Z - (f_{p_2} + f_2) = 1.4 - 0.462 - 0.116 + 0.026 = 0.846 \text{ m.}$$

$$L_{p_{36}} = E - Z - (f_{p_3} + f_3) = 1.4 - 0.462 - 0.372 + 0.049 = 0.815 \text{ m.}$$

$$L_{p_{45}} = E - Z - (f_{p_4} + f_4) = 1.4 - 0.462 - 0.499 + 0.061 = 0.500 \text{ m.}$$

Nota: El 0.025 es la diferencia entre el eje teórico y el eje real del cable "Y".

e) EQUIPO TENSOR .

Por razones de fabricación y de facilidad de mantenimiento de los conductores, de una forma o de otra, es necesario absorber la dilatación de éstos. Las instalaciones de tracción eléctrica constituidas por tramos sucesivos de 1,200 a 1,400 m. de Longitud.

Los tramos sucesivos de conductores comprendidos entre dos anclajes constituyen los territorios.

Los extremos de los territorios contiguos son mecánicamente independientes; éstos se empalman sobre una cierta longitud. Los hilos y cables se desplazan paralelamente lado a lado en un mismo plano horizontal, separados a 0.20 m. uno del otro, después cada una de las catenarias se separa de la vía y se dirige hacia un soporte de anclaje constituido por un aparato tensor automático con contra peso.

Los desplazamientos de los conductores de dos territorios consecutivos se efectúan en sentido contrario. Con el fin de no generar los desplazamientos respectivos, cada catenaria debe ser independiente de la otra.

El ensamble de la zona del empalme se llama equipo tensor (figura 29).

La instalación del equipo tensor normal en alineamiento se hace en tres postes (portees) de acuerdo al esquema de la figura 30.

Los dos soportes extremos son llamados soportes de anclaje, mientras que los otros se llaman soportes intermedios. En los soportes intermedios cada herraje está montado en los extremos de travesaños fijos sobre los soportes (travesaños por dos ples de consola, travesaño por dos sujeciones de tirante).

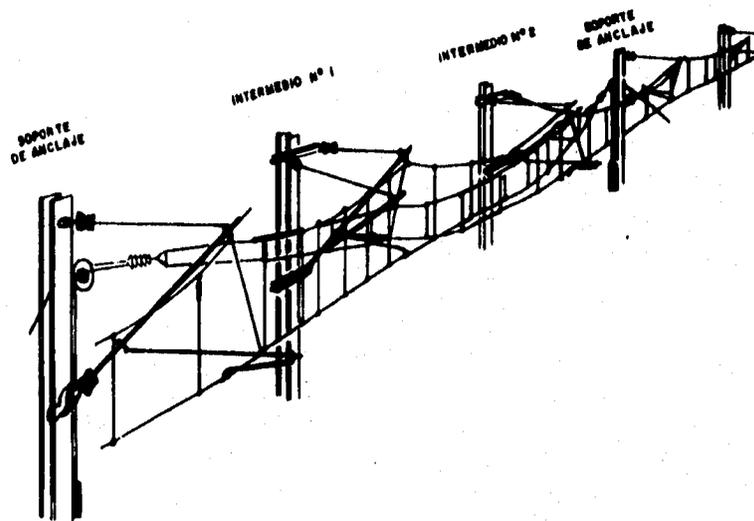


Fig. 29 Equipo Tensor para el Ensamble de la Zona de Empalme.

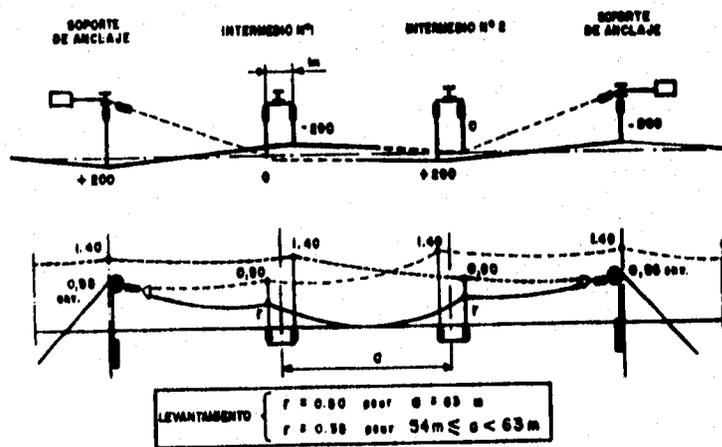


Fig. 30 Esquema de Alineamiento del Equipo Tensor.

Antes de colocar un soporte de anclaje, el hilo de contacto respectivo es levantado en un plano vertical respecto al paso del soporte intermedio.

Aparato Tensor.

La regularización de la tensión del o de los conductores es obtenida, en el soporte de anclaje por medio de un aparato tensor automático. Este aparato realiza una multiplicación de la tensión mecánica de los conductores y limita la carga del contra peso equilibrando la tensión.

Los aparatos actualmente en servicio son del tipo de aparejo y del tipo de relomo. Su coeficiente de multiplicación es de : 1/15.

1) Aparato tensor de aparejo con poleas a ejes paralelos.

Un aparejo es el conjunto de varias poleas dentro de una misma placa.

El aparato está constituido por dos aparejos que incluye (figura 31) respectivamente dos y tres poleas de diámetro distinto y ejes paralelos, el aparejo a tres poleas es fijo y el de dos poleas es móvil.

Así se realiza un polipasto con cinco vueltas y el esfuerzo P que se ejerce sobre la vuelta libre para equilibrar la tracción T de los conductores es igual a la quinta parte de T .

$$P = \frac{T}{5}$$

2) Aparato tensor de aparejo con poleas o eje común.

Este aparato (figura 32) está constituido por la combinación de dos aparejos con dos y tres poleas. En cada aparejo, las poleas son del mismo diámetro y del mismo eje, como en el inciso a.

$$P = \frac{T}{5}$$

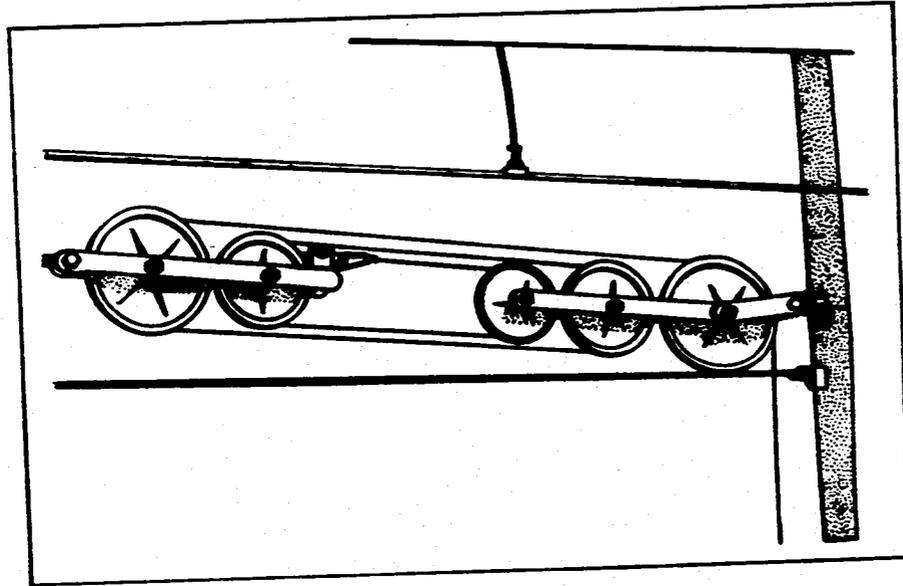


Fig. 31 Conjunto de Varias Polcas dentro de una misma Placa llamado "Aparejo".

3) Aparato Tensor a Torno

Un aparato de dos vueltas permite para levantar una carga "T" al ejercer sobre la vuelta libre solamente una tracción "t" igual a la mitad de esta carga.

En un sistema a torno (figura 33) la relación entre el esfuerzo ejercido sobre la rueda y la carga "T" es igual a la relación que existe entre el diámetro "D" del tambor y el diámetro "d" de la rueda.

Estos dos principios se aplican simultáneamente en el aparato tensor a torno.

El aparato proporciona una multiplicación de 1 a 2.

Cuando los dos conductores de una catenaria son regularizados se utiliza un solo aparato tensor.

El portador y al hilo de contacto están por lo tanto unidos antes del anclaje sobre un balancín.

Cada uno de estos dos conductores debe ser tendido con una tensión de 981 DaN (1000 Kg.f), el contrapeso debe tener una masa de: $\frac{2000}{5} = 400$ Kg.

Este está constituido por una pila de pesas de hierro fundido. La pesa inferior con una masa de 40 Kg. Tiene una armella guía, colocada dentro de un tubo fijo al poste que limita el balance del contrapeso. Las otras pesas tienen una masa de 20 a 40 Kg.

II.3 SECCIONES DE SEPARACIÓN.

a) DISTANCIA ENTRE SUBESTACIONES .

Las líneas de contacto son alimentadas por las subestaciones cuya separación es en promedio de 60 Km., pudiendo alcanzar en ciertos casos de 70 a 80 Km. Los espacios están determinados también en función de la proximidad de un puesto de la C.F.E. de potencia suficiente.

La alimentación está hecha en forma general por medio de transformadores monofásicos, la corriente industrial es recibida del lado primario, entregando el lado secundario 25,000 V - 60 Hz.

Cada subestación alimenta las catenarias de un lado y de otro del seccionamiento situado a la derecha de ésta.

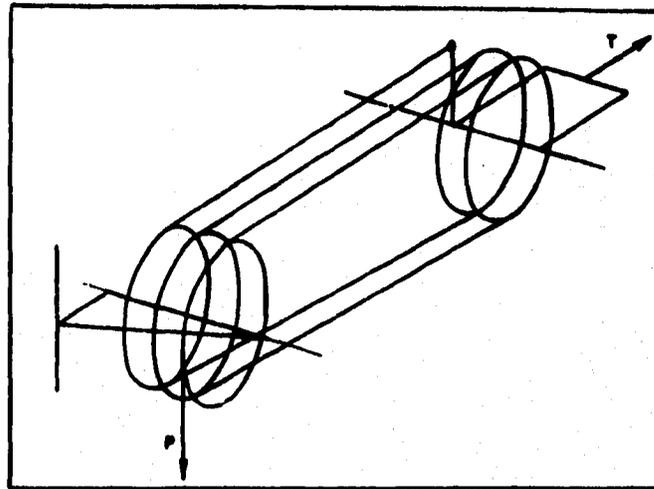


Fig. 32 Aparato tensor de Aparejo con Poleas o Ejes Común.

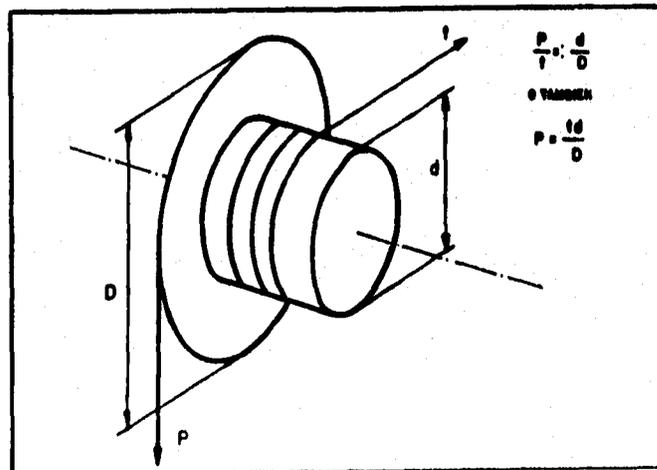


Fig. 33 Aparato tensor a Torno.

Las tensiones de dos subestaciones sucesivas pueden no estar en fase, los tramos de catenaria alimentados por cada subestación están separados por las secciones neutras, siendo éstas de una longitud tal, que los pantógrafos de dos locomotoras acopladas, o de elementos automotores, no puedan provocar la puesta en paralelo intempestiva de dos tramos alimentados por dos fases diferentes.

Si las fases están en concordancia, las secciones neutras que las separan, pueden ser puenteadas y alimentadas.

b) SECCIONAMIENTO

Por las razones de explotación y mantenimiento, las catenarias están distribuidas en un cierto número de tramos, pudiendo ser aislados eléctricamente unos de otros. Pudiendo así suprimir la tensión sobre una porción de la línea, en caso de accidentes o de mantenimiento, permitiendo el movimiento de trenes dentro de las zonas que no se encuentran en revisión o reparación.

Este corte eléctrico de las catenarias recibe el nombre de seccionamiento.

Las catenarias de las vías vecinas son, generalmente aisladas eléctricamente una de la otra. Las comunicaciones incluyen para este efecto un seccionamiento de alma de aire o un aislador de sección.

La puesta en paralelo de las catenarias de vías principales contiguas está asegurada en diferentes puntos para reducir las caídas de tensión en la línea.

En los tramos electrificados en C.A. hay dos sistemas de alimentación según la forma de alimentación, esto es, alimentación para ambas direcciones de tránsito y para las diferentes secciones.

Se instala una sección no alimentada en la catenaria a medio camino entre subestaciones debido a que el voltaje de una subestación no es igual que el de otra y la fase tampoco, y cerca de la sección se instala un puesto de seccionamiento, donde se establecen aparatos de protección como interruptor. En el caso de que ocurra una falla en la subestación vecina, hasta allí se forma un sistema para la prolongación de alimentación.

Además del puesto de seccionamiento, cuando el intervalo entre subestaciones es relativamente largo, hay caso en que se instalen un puesto de subseccionamiento y una sección ordinaria a fin de dividir el tramo alimentado en los momentos del trabajo para mantenimiento y de la falla.

En la actualidad, en el tramo electrificado en C.A., la energía eléctrica se alimenta confrontada en el puesto de seccionamiento que se localiza a medio camino entre subestaciones contiguas, debido a la diferencia de voltaje y de fase entre ellas, o sea, ser alimentado a un tramo por una sola fuente eléctrica es normalizado (standard). Sin embargo, si ambas diferencias son pocas, se puede alimentar paralelamente desde dos subestaciones contiguas.

VENTAJAS DE ALIMENTACIÓN PARALELA.

- Disminución de la caída de voltaje. La carga entre dos subestaciones se reparte entre los dos, por lo cual generalmente se disminuye la caída de voltaje.
- Disminución de la pérdida de electricidad. En el circuito de alimentación paralela la carga se reparte entre dos subestaciones. Sin embargo, cuando existen la diferencia de voltaje y la de fase, fluye una corriente, la corriente que atraviesa las dos subestaciones, por lo cual se produce una pérdida eléctrica.

Por lo tanto el efecto de la disminución de la pérdida eléctrica se produce sólo cuando la disminución de la pérdida generada por la alimentación paralela sea mayor que el aumento de la pérdida causada por la corriente que atraviesa las subestaciones.

- Disminución del desequilibrio. Cuando se alimenta paralelamente, la carga se reparte entre dos subestaciones mientras la posición de la carga no es extremadamente cercana a una subestación, por lo cual un pico de la carga de que se encarga una subestación baja, aunque la carga monofásica total es igual. Por lo tanto, generalmente disminuye el grado del desequilibrio trifásico en el punto de recepción de la fuente eléctrica.

SECTORES (SR)

Se llama sector al ensamble de catenarias alineadas normalmente a través de un solo interruptor automático, el interruptor automático alimenta las dos vías situados del mismo lado de la subestación. Asegurando la supresión automática de la tensión en caso de sobrecarga o de falla de energía sobre la línea.

El sector comprende todas las catenarias situadas entre la subestación y las secciones neutras que la separan de la subestación vecina.

SUB-SECTORES (SS)

Se llama sub-sector una parte de sector que puede estar aislada eléctricamente del resto del sector por medio de un aparato de interrupción maniobrable con carga llamado interruptor. Ciertas catenarias de estaciones, patios, o de talleres alimentados normalmente por intermedio de un interruptor, se constituyen en un sub-sector.

SECCIONES ELEMENTALES (SE)

En cada sub-sector, las catenarias son divididas en un cierto número de tramos llamados 'secciones elementales', limitadas, ya sea por los aisladores de sección, en función de las posibilidades y de las velocidades de circulación sobre las vías.

La sección elemental es el más pequeño tramo de catenaria pudiendo estar aislado de los tramos encuadrantes.

Dentro de un mismo sub-sector, la continuidad eléctrica de las catenarias a la derecha de los puntos de seccionamiento (con alma de aire o aislador de sección) es asegurada por medio de seccionadores habitualmente operados directamente.

Inversamente a los interruptores los seccionadores no son operables con carga.

e) SECCIÓN DE SEPARACIÓN .

En línea recta o en la proximidad de ciertas subestaciones, lo mismo que hacia el centro del intervalo comprendido entre dos subestaciones consecutivas, se coloca sobre las vías principales una sección de separación.

Esta sección de separación tiene por objeto evitar la interconexión de el o los pantógrafos de una locomotora, los pantógrafos de dos locomotoras, o de los elementos automotores de dos catenarias sucesivas, de las cuales las alimentaciones pueden presentar entre ellas diferencias de tensión o de fase.

Las secciones de separación están generalmente constituidas por dos seccionamientos, donde la longitud de las zonas de recubrimiento y la distancia entre esas dos zonas (parte neutra) son determinadas en función de las distancias entre los pantógrafos de las locomotoras o de los trenes.

Por lo tanto :

La distancia entre dos pantógrafos debe ser superior a 30 m. e inferior a 90 m.

Los dos soportes de semi - eje están equipados de la misma manera que los soportes de eje de seccionamiento. A los soportes intermedios, el relativo valor de las longitudes de levantamiento disponible, requiere liberar lateralmente el hilo de contacto de la catenaria elevada.

Las secciones de separación son recorridas con los pantógrafos levantados y la corriente cortada en la locomotora.

Las señales descriptivas, localizadas sobre el terreno al inicio y al final del recorrido, deben ser franqueadas con la corriente cortada.

Las secciones de separación están igualmente dispuestas, por medio de dos aisladores de sección a una distancia de 30 m. (tramo sin corriente).

La velocidad de franqueo en este tipo de sección de separación está limitada a 120 Km./hr., velocidad límite impuesta por los aisladores de sección.

Un tercer tipo de sección de separación también puede ser instalado, particularmente en las zonas de circulación de trenes con unidades múltiples, para las cuales las distancias entre pantógrafos o las velocidades prácticas no permiten instalaciones de los tipos anteriormente citados. En este caso se instalan tres seccionamientos consecutivos separados, cuyos aislamientos están dispuestos fuera de la zona del pantógrafo.

Una determinada sección de separación puede ser franqueada por un tren con dos pantógrafos. Para los trenes con tres pantógrafos, es necesario que la distancia L sea inferior a la distancia entre el primero y el tercer pantógrafo y entre el segundo y el cuarto.

CAPITULO III

LOCOMOTORAS ELÉCTRICAS.

III.1 GENERALIDADES.

Los progresos realizados en la fabricación de locomotoras eléctricas han permitido retirar los ejes libres en estas; todos los ejes generalmente son de tracción y el incremento de la potencia por unidad de masa, permite colocar motores potentes en las carretillas.

La potencia de un motor esta generalmente definida por la carga admisible sobre los ejes y por razones de espacio, es necesario por lo tanto quedar dentro de los límites de un espacio estrictamente definido.

Con un mismo peso, una locomotora eléctrica es siempre mas potente que una locomotora de vapor o una diesel, y ha potencias iguales, la locomotora eléctrica es siempre mas ligera.

La potencia de un motor eléctrico esta limitada, mas por las condiciones de calentamiento que por fallas de tipo mecánico ya que se puede tolerar durante un tiempo determinado, un sobrecalentamiento superior al valor admisible en régimen permanente; la locomotora podrá durante ese tiempo suministrar una potencia superior al 50% pudiendo llegar hasta 70% suministradas de manera continua. Esto permite a una locomotora eléctrica mover trenes pesados y subir pendiente, sin sufrir demoras sensibles y recuperar fácilmente una demora eventual.

La tracción eléctrica de hecho tiene la ventaja de que las locomotoras pueden arrancar, remolcar trenes largos y la posibilidad de una sobrecarga temporal muy elevada de sus motores, permite el aumento del tonelaje de los trenes remolcados.

Las velocidades medias son netamente mas elevadas y las demoras mas reducidas y menos importantes que las producidas en los trenes remolcados por locomotoras diesel.

Una locomotora eléctrica puede circular indiferentemente en una dirección o en la otra. La puesta de las maquinas es por lo tanto mas fácil en las estaciones de las terminales, dando además una enorme flexibilidad para la formación de los trenes.

a) ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA LOCOMOTORA ELÉCTRICA

Los principales elementos que constituyen la locomotora, están representados en la figura No. 34. La estructura muestra el aspecto característico de la locomotora y comparte un bastidor de caja, el cual soporta en cada extremo una cabina.

El compartimiento central cuenta con dos pasillos de acceso y el techo con todos los elementos de captación de corriente. La cabina de operación tiene un pedestal y aparatos de control, así como de seguridad figura No. 35.

El compartimiento central con pasillos laterales para el acceso a los aparatos, comprenden:

PARTE FRONTAL.

- Gabinete eléctrico de control.
- Transformador auxiliar.
- Radio.
- Deposito de arena.
- Inversor e Interruptor de frenado.

PARTE CENTRAL.

- Motor ventilador y equipo del ventilador.
- Equipo de freno dinámico.
- Filtros para aire comprimido.
- Rectificadores y reactores atenuadores auxiliares
- Compresor auxiliar.

PARTE POSTERIOR.

- Transformador de potencia (principal).
- Compresor principal y Equipo neumático.
- Equipo de control y freno de aire.
- Depósitos de arena.

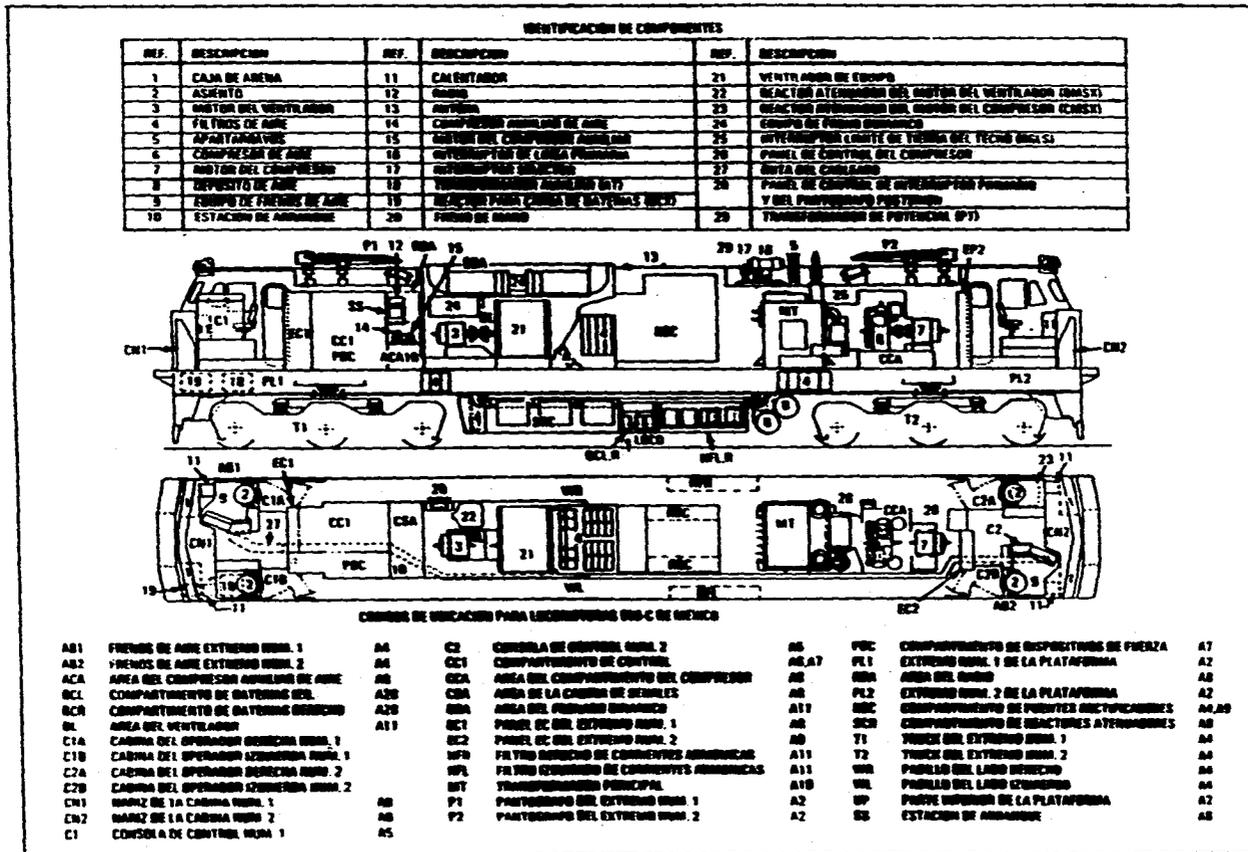


Fig. 34 Ubicación de los Aparatos de una Locomotora Eléctrica.

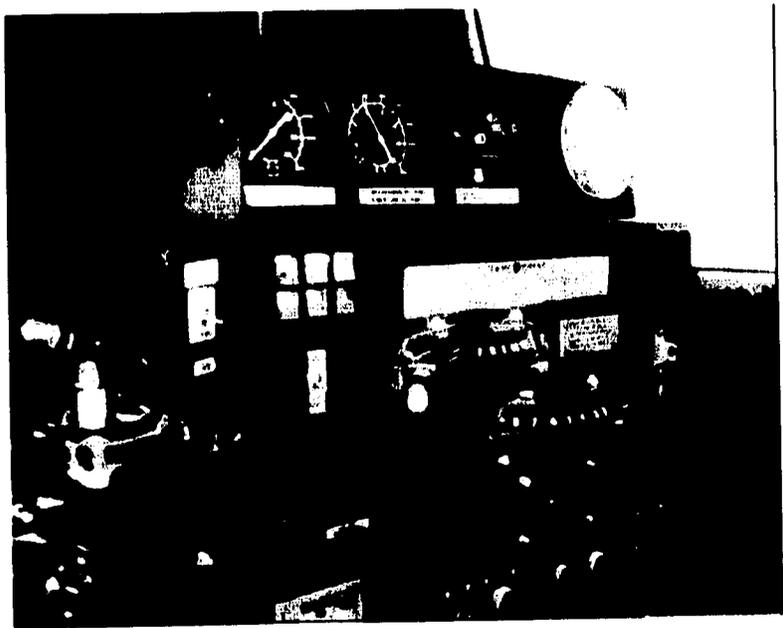


FIG. 35 CONSOLA DE OPERADOR

PARTE SUPERIOR (TECHO).

- Pantógrafos.
- Interruptor selector de pantógrafo.
- Cilindro del pantógrafo.
- Apartarrayos.
- Interruptor de línea primaria.
- Transformador de potencial.
- Válvula de desahogo del transformador principal.
- Aisladores.

PARTE INFERIOR (ABAJO DE LA PLATAFORMA).

- Compartimiento de baterías.
- Compartimiento de reactores atenuadores de los motores de tracción.
- Compartimiento de filtro de armónicas.
- Depósito de aire.
- Bastidor de dos o más ejes (Trucks).

Los bastidores de dos o más ejes se encuentran en cada extremo, acoplados a la caja y a los componentes de rodamiento por una suspensión, cada bastidor (carretilla) cuenta con tres motores de tracción.

b) PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA LOCOMOTORA.

DATOS GENERALES.

1) PESOS.

Locomotora	168.0	TON.
Nominal por eje	28.0	TON.
Cada carretilla.	27.0	TON.
Transformador principal	11.4	TON.
Motor de tracción	3.6	TON.
Motor de compresor o ventilador	680.0	Kg.
Compresor principal	640.0	Kg.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

2) RANGOS.

Tensión máxima	29	Kv., C.A.
Tensión nominal	25	Kv., C.A.
Tensión mínima continua	17	Kv., C.A.
Tensión mínima permisible	14	Kv., C.A.
Frecuencia	60	Hz.
Potencia máxima al riel	6900	HP / 5148 KW.
Potencia continua	6000	HP / 4476 KW.
Esfuerzo tractivo máximo	520	KN.
Esfuerzo tractivo continuo	365	KN.
Velocidad máxima nominal	110	K.P.H.
Velocidad mínima en pendientes ascendentes (Gobernadoras)	43	K.P.H.

3) DIMENSIONES.

Longitud entre acopladores	21.609	m.
Ancho de la plataforma	2.997	m.
Altura de la locomotora con pentógrafo bajado	4.877	m.
Longitud entre centros de travesero	13.583	m.
Longitud entre pantógrafos	14.460	m.
Diámetro de ruedas	1.018	m.
Radio mínimo de curvatura entre dos locomotoras acopladas	80.000	m.

4) CAPACIDADES VOLUMÉTRICAS

Deposito de arena	1.7	m ³ .
Deposito de aire (c/u)	0.4	m ³ .

c) EQUIPOS PRINCIPALES DE LA LOCOMOTORA

MECÁNICO	Carretilla Aparejo de tracción Sistema de aire de enfriamiento
ELÉCTRICO	De alta tensión Rotativo De control
NEUMÁTICO	Compresor principal Equipo de freno 26-L Equipo auxiliar

EQUIPO MECÁNICO

El bastidor se apoya sobre las dos carretillas, las cuales aseguran la guía de la locomotora sobre los rieles.

La suspensión asegura el movimiento de los componentes de rodamiento a los bastidores de las carretillas y estos a la estructura.

Los motores de tracción montados en las carretillas transmiten el esfuerzo de tracción a las ruedas por un tren de engranes.

Las ruedas mueven las carretillas por medio de los ejes. La transmisión del esfuerzo de tracción del bastidor a los carros, es realizado por los acopladores de tipo automático.

El sistema del aire de enfriamiento es utilizado en estas locomotoras para conservar en condiciones adecuadas de operación a los componentes eléctricos y electrónicos.

EQUIPO ELÉCTRICO

La corriente suministrada a la catenaria por las subestaciones de tracción es de 25 Kv. La corriente es captada de la catenaria por el pantógrafo de la locomotora.

El transformador de potencia de las locomotoras E80-C están diseñadas específicamente para servicio de tracción, sus características son :

- Marce General Electric.
- Capacidad nominal 6125 KVA.
- Enfriado por circulación de aire forzado.
- Un devanado primario de alto voltaje para 25000 V.
- Seis devanados secundarios de bajo voltaje para propulsión de 555 volts cada uno.
- Un devanado para los servicios auxiliares de 555 V.
- Utiliza aceite mineral para enfriamiento y aislamiento de sus devanados.
- Tiene boquilla de 25 Kv. tipo U para voltaje de línea con NBI de 200 Kv.
- Los bornes terminales de los devanados secundarios y el de tierra del primario, están sellados contra fugas de aceite y adecuados para terminales de tornillo.
- La cantidad, velocidad y dirección del flujo de aceite es controlada por ductos y depósitos, de tal manera que todas las partes de los devanados y del núcleo sean enfriadas de acuerdo con sus necesidades.
- La bomba de aceite de alta velocidad empleada para la circulación de este, es enfriada y lubricada por el mismo aceite que bombea.
- El motor de la bomba de aceite es de arranque de tipo capacitivo y trabaja con un voltaje de 220 V (1750 rpm, 2 HP, 12.5 A de consumo de corriente).

NBI ó BIL (nivel básico de aislamiento al impulso), es el valor de voltaje que el aislamiento puede soportar repetidamente, sin que se presente una descarga disruptiva.

BIL en inglés NBS (nivel básico de aislamiento por swicheo).

CONEXIÓN AL TO VOLTAJE		
VOLTAJE	NIVEL BÁSICO DE IMPULSO	CORRIENTE MÁXIMA (RMS)
25000 V.	150 KV./ μ s	245 A.
CONEXIÓN BAJO VOLTAJE		
VOLTAJE	CONEXIÓN	CORRIENTE MÁXIMA (RMS)
555 V	X1 - X2	2300 A.
555 V	X3 - X4	3000 A
555 V	X5 - X6	2200 A
555 V	X7 - X8	2300 A
555 V	X9 - X10	3000 A
555 V	X11 - X12	2200 A
555 V	X13 - X14	390 A
602 V	X14 - X15	350 A

Altitud máxima 7874 ft
 Voltaje de impedancia 54.48% de 25000/555 (X13 - X14) - A.T. 6125 KVA.
 Voltaje de impedancia 51.67% de 25000/602 (X14 - X15) - A.T. 6125 KVA.

El cierre del interruptor de línea primaria, permite la alimentación del transformador principal, compuesto de los siguientes elementos:

1 Devanado primario.

6 Devanados secundarios, destinados a la alimentación de los motores de tracción.

1 Devanado secundario destinado a la alimentación de los equipos auxiliares.

Cada armadura de ellos del tipo serie, es alimentada por un puente de rectificadores controlados por tiristores conectados en serie asimétrico y alimentados por un devanado de 555 V.

El devanado secundario sirve para la alimentación de los auxiliares de la locomotora:

Transformador auxiliar.

Motor compresor principal.

Motor ventilador soplador.

Las baterías proveen una tensión de 69 V, C.D. y son la fuente para alimentar los diversos circuitos de control (tableros electrónicos, relevadores y alumbrado entre otros).

EQUIPO NEUMÁTICO

El compresor principal suministra el aire comprimido necesario para los equipos de freno y auxiliar neumático, como las electroválvulas para contactores, inversor, areneros, limpia parabrisas, silbato y otros.

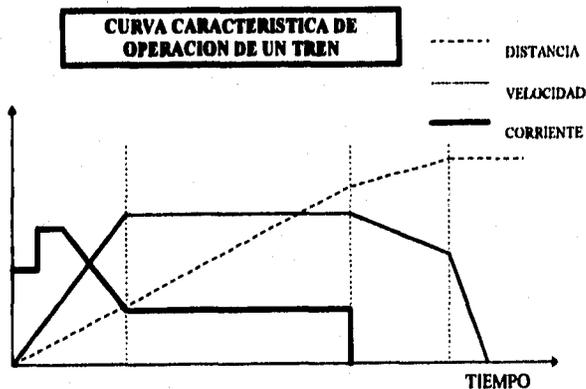
d) MOVIMIENTO DEL TREN.

Para mover el tren es necesario aumentar el esfuerzo de tracción hasta romper la inercia, por eso es necesario aumentar la intensidad de corriente a los motores de tracción.

Para acelerar debe incrementarse el par motor, lo que implica incrementar la intensidad de corriente a cierto valor. Como dicha intensidad disminuye a medida que aumenta la velocidad (influencia de la fuerza contraelectromotriz), es necesario aumentar la intensidad para mantener el esfuerzo de tracción necesario.

El aumento de la intensidad en los motores de tracción, es obtenido por el arreglo de desbloqueo de los tiristores, cuando los mismos son totalmente desbloqueados.

Curva de operación, se esquematiza la relación entre velocidad y tiempo, corriente y tiempo, distancia y tiempo; estas curvas características se establecen desde que un tren parte de una estación hasta que llega a otra estación.



III.2 FUNCIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO MECÁNICO.

a) CHASIS Y PLATAFORMA.

La plataforma es del tipo portante con largueros de extremos que incluyen, los aparejos de tracción automáticos. Además incluye travesaños intermedios diseñados para soportar los equipos eléctricos. Las dos cabinas están soldadas a la plataforma y extra reforzada contra colisión. La estructura de la plataforma es utilizada para distribuir el aire para enfriamiento de los componentes, tales como motores de tracción, transformador principal, reactores y convertidores.

La estructura de la locomotora esta constituida de perfiles, laminas dobladas y laminas planas de acero soldado. La plataforma tiene cuatro puntos de apoyo para su levantamiento en caso necesario.

b) DESCRIPCIÓN DE CARRETILLAS (TRUCKS).

Los trucks son del tipo de travesero flotante, formado cada uno por tres mancuernas motrices y tres motores de tracción, el movimiento lateral o de un lado a otro del travesero, se logra descansando este sobre cuatro muelles de hule y acero encorvado. Hay placas de fricción en el bastidor de la carretilla y en el travesero que limitan el movimiento longitudinal del mismo.

El bastidor de la carretilla es de acero forjado de una sola pieza y descansa sobre resortes de espiral que asientan sobre las cajas de los muñones del eje.

c) EJE Y RUEDAS.

La función del eje es la de soportar el peso de la locomotora, permitir su desplazamiento y transmisión del esfuerzo de tracción; con apoyo en los rieles.

El cojinete de soporte del motor de tracción, el engrane de transmisión, así como dos ruedas se encuentran montadas al eje.

En la parte exterior a la rueda conocida como muñón, se encuentra el cojinete y caja de rodamiento.

d) SUSPENSIÓN.

La suspensión primaria se encuentra en las carretillas, consiste de muelles helicoidales de acero, apoyados sobre la caja de muñones al eje y cuatro amortiguadores de fricción, por cada carretilla. Su función es amortiguar el movimiento vertical del eje y suministrar resistencia adicional a la transferencia de peso durante condiciones de alto esfuerzo tractivo.

La suspensión secundaria consiste en soportes de acero y hule laminado, la cual corrige el desplazamiento lateral y retorna la plataforma a su posición normal.

e) TRANSMISIÓN MECÁNICA DEL ESFUERZO DE TRACCIÓN.

Para su función, se necesita de la unión que permita transmitir el esfuerzo tractivo de los motores de tracción a las ruedas. Esta transmisión se presenta en la forma siguiente:

Cada motor suspendido por la nariz al bastidor del truck, transmite el esfuerzo de tracción por medio de un piñón, al engrane receptor del eje.

La transmisión de las ruedas al chasis del truck, es realizada por una caja de ruedas que necesita rodamientos, del chasis del truck a la caja por los platos centrales y de esta al tren por los acopladores.

f) SISTEMA DE AIRE PARA VENTILACIÓN.

El aire que se utiliza para el enfriamiento del equipo de la locomotora, entra a través por una abertura protegida con malla, cerca de la parte superior de la locomotora. Del ventilador pasa hacia la plataforma, una cantidad de este aire es enviado al frente de la locomotora y el resto a la parte posterior, pasando por el conjunto de filtros para aire. Una vez limpio este es suministrado a los motores de tracción, compartimientos eléctricos, motores del equipo auxiliar y transformadores principal y auxiliar.

III.3 FUNCIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO.

a) TRANSFORMADOR DE POTENCIA (TRANSFORMADOR PRINCIPAL).

Los transformadores son dispositivos que permiten aumentar o reducir la tensión de las corrientes alternas, sin modificar de manera sensible la potencia.

En la locomotora eléctrica el devanado primario del transformador, recibe la tensión de la catenaria y la reduce a un valor de utilización correspondiente a cada devanado, seis de potencia y uno para los auxiliares.

Este transformador es enfriado por aire forzado y aceite, el cual circula impulsado por una bomba, a través de los devanados del transformador y un interenfriador.

El aire forzado es dirigido a través de los tubos del interenfriador de aceite a aire. La bomba de circulación de aceite debe operar siempre que el transformador este energizado. El transformador es mostrado en la figura No 36 y 37.

El transformador cuenta con protecciones de sobrepresión, devanado caliente, aceite caliente, sobrecarga y falla de la bomba de aceite.

PROTECCIONES DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL.

- Cada devanado este protegido contra fallas de corriente por un relevador instantáneo de sobre corriente, cuyos contactos son utilizados para abrir el interruptor de línea primaria.

- El transformador se encuentra protegido contra sobre temperaturas del aceite y devanados:

para el aceite cuando excede 105 °C.

para los devanados cuando excede de 140 °C.

- En la parte superior del transformador se encuentra una válvula de alivio, la cual permitirá un escape, cuando la presión dentro del mismo excede un valor predeterminado. Al funcionar esta válvula energizará un relevador que abrirá el interruptor de línea primaria y por lo tanto desenergizará el transformador principal.

b) RECTIFICADORES DE CORRIENTE.

Convierten la tensión de C.A. a una C.C.. Los rectificadores actúan como una válvula y colocados en un circuito de corriente alterna dejan pasar la corriente en un solo sentido, pero en el opuesto ofrecen una resistencia muy grande y bloquean prácticamente la corriente. Esta característica hace circular la corriente en el sentido convniente.

En este tipo de locomotora existen diferentes dispositivos que para su funcionamiento requieren de esta salida rectificada, siendo estos los motores de tracción, motor del ventilador, motor del compresor principal y circuito para la carga de baterías.

c) REACTORES ATENUADORES.

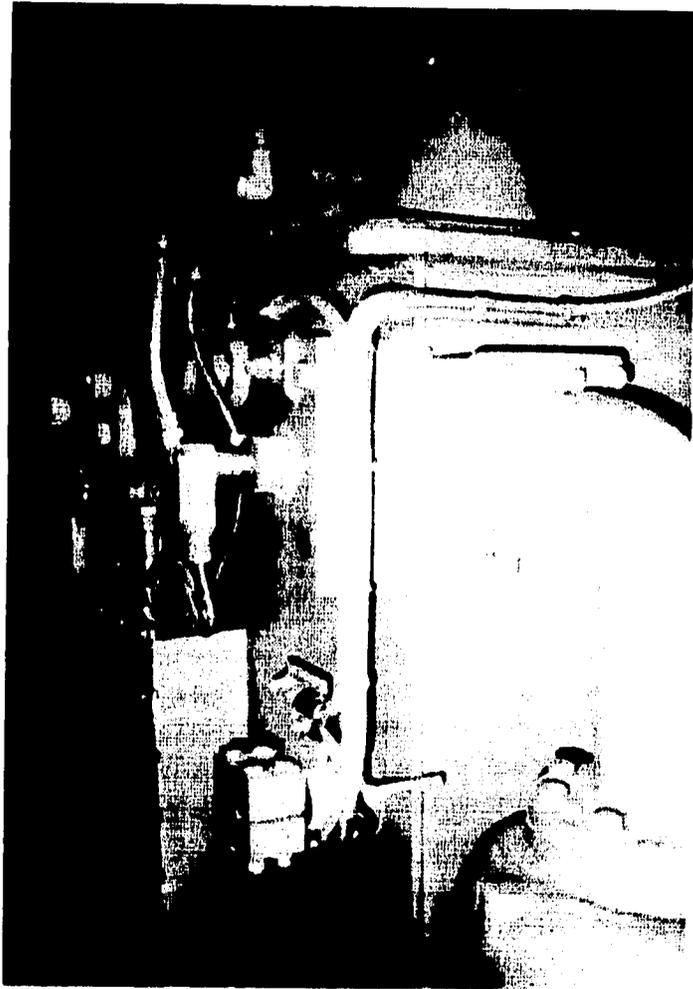
La corriente rectificada es un poco diferente de la C.C., tiene siempre el mismo sentido pero cambia de valor periódicamente, para atenuar las variaciones de la intensidad de corriente en los circuitos, se incorpora en serie un reactor atenuador. La corriente tiene una pequeña ondulación, pero esta es aceptada por los motores de corriente directa.

REACTORES ATENUADORES PARA MOTORES DE TRACCIÓN

Son dispositivos electromagnéticos saturables enfriados por aire, tienen siete bobinas de campo interconectadas en serie para formar devanados de alta corriente. El reactor atenúa el rizo en la onda de corriente directa rectificada que sale de los rectificadores principales. Esto mejora el funcionamiento de los motores de tracción ya que la conmutación también es mejorada reduciendo las pérdidas por calor y permitiendo un esfuerzo tractivo mas uniforme.

Hay 6 reactores atenuadores que se utilizan en las locomotoras eléctricas. Estos están montados bajo la plataforma, tres en cada lado de la locomotora. Los reactores atenuadores están localizados en el compartimiento para estos.

Tienen los mismos efectos en los circuitos de estos motores como para los de tracción de la locomotora.



**FIG. 36 TRANFORMADOR DE CORRIENTE DEL DEVANADO
PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL.**

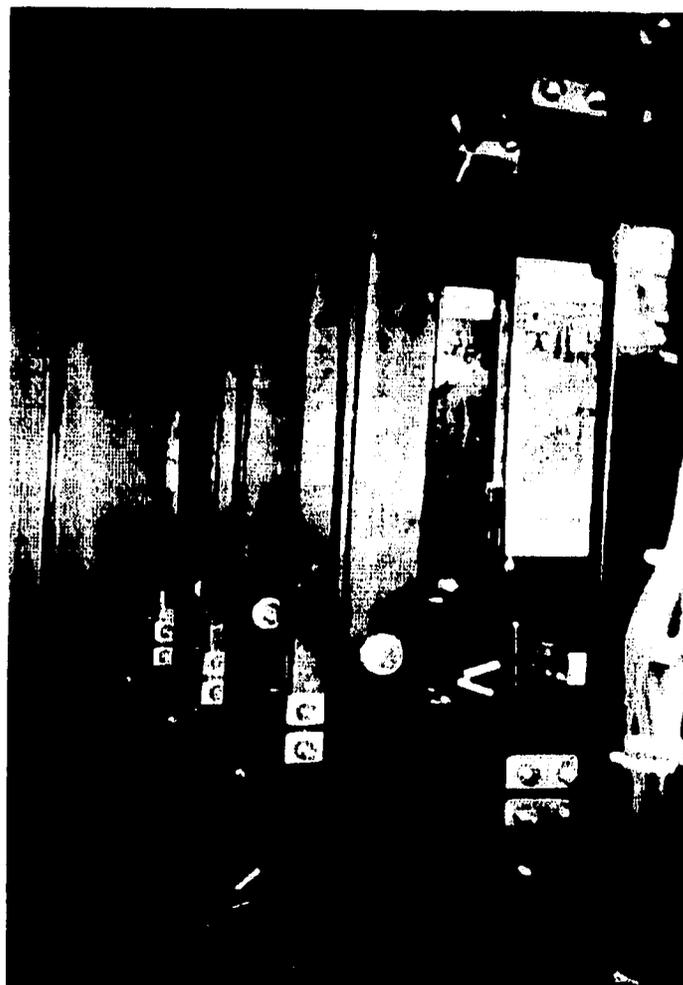


FIG. 37 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE SECUNDARIA
DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL.

d) FILTRO DE ARMÓNICAS.

Las corrientes armónicas se generan en los diferentes circuitos eléctricos de alta y baja tensión en la locomotora, principalmente en las variaciones de conmutación forzada y los disparos de los tiristores. Se deben reducir paulatinamente a un valor suficientemente bajo, de modo que no interfieran con la comunicación u otros circuitos de señalización.

Los filtros están compuestos en dos grupos de equipos localizados bajo la plataforma en ambos lados de la locomotora. Cada grupo consiste de inductores, capacitores, fusibles y un contactor.

Los circuitos de filtro en paralelo, están sincronizados para eliminar las armónicas y atenuar frecuencias más altas.

e) MOTOR DE TRACCIÓN.

El motor utilizado para la propulsión de las locomotoras eléctricas de Ferrocarriles Nacionales de México es un motor modelo GE 752 AF, de corriente directa, devanado serie, de cuatro polos, polos de conmutación y ventilación forzada, sus datos de placa son los siguientes:

Voltaje nominal:	543	V
Corriente nominal:	1290	A
Potencia nominal:	940	HP
Velocidad nominal:	2440	r.p.m.
Sobrevelocidad máxima permisible:	2940	r.p.m.
Resistencia del inducido:	0.00873	ohms
Resistencia serie:	0.00558	ohms
Peso del motor:	7200	Lb.

Una característica importante del motor serie es que apartir de un valor superior a los 60 amperios, el par aumenta muy rápidamente; esto hace que su empleo sea conveniente cuando se requiere un gran aumento del par para un aumento moderado de la intensidad de la corriente, es decir, al duplicarse la intensidad de la corriente del inducido, el par se cuadruplica. En la práctica, la saturación y la reacción del inducido tienden a oponerse a que el par aumente con la misma rapidez que el cuadrado de la intensidad de corriente.

Es peligroso dejar sin carga los motores serie, porque es casi seguro que sus inducidos alcanzarán velocidades para las cuales la fuerza centrífuga puede llegar a hacerlos saltar en pedazos.

La velocidad varía prácticamente en sentido inverso al de la intensidad de corriente. A intensidades de corrientes elevadas, la velocidad es pequeña y para intensidades pequeñas la velocidad es grande.

El rendimiento crece rápidamente al principio alcanza un máximo, y luego decrece, lo que se debe al hecho de que para pequeñas cargas, las resistencias pasivas y las pérdidas del hierro son grandes en comparación con la carga, y la influencia relativa de éstas pérdidas se reducen al aumentar la carga.

El motor serie se utiliza para los casos en que se exige un gran par de arranque, además del gran par de arranque, tienen otra característica que los hace especialmente adecuados para la tracción. Cuando el coche asciende por una rampa va más despacio, debido a la mayor intensidad de la corriente demandada, y por lo tanto, desarrolla un par mayor a velocidad menor. La reducción de la velocidad permite al motor desarrollar un gran par con un aumento moderado de potencia. Por consiguiente, la potencia de un motor serie sería menor comparada con otro tipo de motor.

El motor eléctrico serie, alimentado con C.D., constituye el motor de tracción ideal. Es fuerte, de fácil construcción, de poco consumo de materiales; su velocidad y su par es fácilmente regulable, tanto en el arranque como a plena velocidad es importante.

EJEMPLO DE RENDIMIENTO Y REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD EN UN MOTOR DE TRACCIÓN QUE UTILIZAN EN F.N.M.

Se tiene un motor serie de 940 HP, 543 V, 1290 A, 2440 r.p.m., $R_a = 0.00873$ ohms, $R_s = 0.00558$ ohms. Suponer que el motor funciona en la parte lineal de la curva de saturación.

Calcular:

- La velocidad al 110% de carga y el flujo serie es el 110% de flujo de excitación nominal.
- Velocidad en vacío.
- Velocidad al 125% de carga y el flujo serie es el 125% del flujo de excitación nominal.
- Rendimiento del motor en (a) y (c).

e) Porcentaje de regulación de la velocidad en (a) y (c).

$$\begin{aligned}S_0 &= 2440 \text{ r.p.m.} \\E_{c0} &= V_L - I_a (R_a + R_s) \\E_{c0} &= 543 - 1290 (0.00783 + 0.00558) = 524.54 \text{ V} \\ \varnothing_0 &= f(I_a) = 1290\end{aligned}$$

a) Al 110% de carga y 110% de Flujo de excitación.

$$\begin{aligned}I_{a1} &= 1.10 I_a = (1.10) (1290) = 1419 \text{ A} \\ \varnothing_1 &= 1.10 I_a = (1.10) (1290) = 1419 \\ E_{c1} &= 543 - (1419) (0.00783 + 0.00558) = 522.69 \text{ V} \\ S_1 &= S_0 (E_{c1} / E_{c0}) (\varnothing_1 / \varnothing_0) \\ S_1 &= 2440 (522.69 / 524.54) (1290 / 1419) = 2431.4 \text{ r.p.m.}\end{aligned}$$

b) En vacío

$$S_0 = [V - I_a(R_a + R_s)] / [C_1 \varnothing_1]$$

En vacío la corriente tiende a cero, y como el flujo es proporcional a la corriente entonces también $\varnothing \approx 0$. Por lo tanto la velocidad:

$$S_0 \approx \infty \quad \text{esto tiende a desbocar al motor}$$

c) Al 125% de carga y 125% de Flujo de excitación.

$$\begin{aligned}I_{a1} &= 1.25 I_a = (1.25) (1290) = 1612.5 \text{ A} \\ E_{c1} &= 543 - (1612.5) (0.00783 + 0.00558) = 519.93 \text{ V} \\ \varnothing_1 &= 1.25 I_a = (1.25) (1290) = 1612.5 \\ S_1 &= 2440 (519.93 / 524.54) (1290 / 1612.5) = 1935 \text{ r.p.m.}\end{aligned}$$

d) Calculando el Rendimiento por la Fórmula:

$$\begin{aligned}\eta &= (P_{\text{sal}} / P_{\text{sum}}) \times 100\% \\ P_{\text{sum}} &= (940 \text{ HP}) (746 \text{ W / 1 HP}) = 700.470 \text{ KW}\end{aligned}$$

Potencias de salida para cada inciso

$$P_{cu} = (I_a)^2 (R_a)$$
$$P_{ad} = 10\% P_{cu}$$

$$P_{sal (a)} = P_{sum} - P_{cu} - P_{ad} = 700470 - (1419)^2(0.00873) - 0.10P_{cu}$$
$$= 700470 - 17578.4 - 1757.84 = 681133.76 \approx 681.1 \text{ KW}$$

$$P_{sal (c)} = P_{sum} - P_{cu} - P_{ad} = 700470 - (1612.5)^2(0.00873) - 0.10P_{cu}$$
$$= 700470 - 22899.4 - 2289.94 = 675500.60 \approx 675.5 \text{ KW}$$

Por tanto el rendimiento es

$$\eta_{(a)} = (681.1 / 700.47) \times 100\% = 97.23\%$$

$$\eta_{(c)} = (675.5 / 700.47) \times 100\% = 96.23\%$$

e) Calculamos la regulación mediante la Fórmula siguiente:

$$\% \text{ Reg.} = [(S_0 - S_1) / S_0] \times 100\%$$

Por tanto la regulación de la velocidad es

$$\% \text{ Reg}_{(a)} = [(2440 - 2431.4) / 2431.4] \times 100 = 0.35\%$$
$$\% \text{ Reg}_{(c)} = [(2440 - 1935) / 1935] \times 100 = 26.1\%$$

INVERSOR E INTERRUPTOR DE FRENADO.

INVERSOR

El inversor tipo DP 26 es un interruptor neumático controlado eléctricamente, que sirve para conectar los campos de los motores de tracción para hacer girar las armaduras y ruedas en marcha Adelante o Reversa. Cuando en el control maestro se mueve la palanca inversora a la posición de marcha adelante o Reversa, se cierran los contactos correspondientes, localizados detrás de la palanca inversora, para excitar la válvula magnética de marcha Adelante o la válvula magnética de Reversa. Las válvulas magnéticas a su vez, activan los contactos

principales para conectar los campos de los motores de tracción, que correspondan con la posición en que se coloque la palanca inversora.

INTERRUPTOR DE FRENADO.

El interruptor de frenado tipo GP 19, es controlado eléctricamente que sirve para conectar las resistencias con las armaduras de los motores de tracción y dispone de esta forma los circuitos de potencia para llevar a cabo el frenado dinámico.

Cuando en el Control Maestro, se mueve la palanca de frenado a esta posición de operación, las válvulas magnéticas accionadas eléctricamente, suministran aire de control al posicionador neumático, haciendo que los contactos del interruptor de frenado se muevan a una de sus dos posiciones. Las partes principales de este interruptor se muestran en la Fig. No. 38.

Las válvulas magnéticas Tipo MV38 se usan en el interruptor para controlar el flujo de aire a los cilindros de aire, los cuales a su vez controlan la acción del interruptor de frenado.

En la siguiente tabla se muestra la resistencia de las bobinas, volts continuos y amperes requeridos para operar los diferentes estilos de válvulas magnéticas MV38. Estas válvulas se utilizan tanto para inversores como para interruptor de frenado.

Estilo de la bobina	Resistencia a 25 °C (ohms)	Volts Continuos	Amperes para Operar a 90 Lbs./plg ²
1	336.0	88.0	0.108
2	128.0	55.0	0.181
6	775.0	135.0	0.069
8	3080.0	270.0	0.036
12	84.9	44.6	0.206

La corriente necesaria para operar a 70 Lbs./plg² (4.92 Kg/cm²) son el 91% de la corriente necesaria para operar a 90 Lbs./plg² (6.33 Kg/cm²).

La corriente necesaria para operar cuando se monta con la parte de arriba ubicada hacia abajo, incrementa un 15%.

La aplicación a más de 90 Lbs./plg² es práctica solamente bajo condiciones especiales.

1) PANTÓGRAFOS.

Para suministrar la tensión de la catenaria hacia la locomotora, se use el pantógrafo, dispositivo especial para captar la corriente de tracción.

Las características del pantógrafo son las siguientes:

• Marca	FAIVELEY.
• Modelo	LV2600.
• Velocidad de operación	100 - 140 Km./h.
• Corriente máxima	1000 A.
• Escobillas	6 de carbón metalizado.
• Longitud del arco captador	91.4 cm. (36 plg.).
• Extensión	2.6 m.
• Tolerancia de deslizamiento en el área de contacto	± 20 cm.
• Presión del pantógrafo sobre el hilo de contacto	15.7 ± 1 Lb.

La locomotora cuenta con dos pantógrafos y se componen de:

- Un bastidor, el cual descansa en el techo sobre 3 aisladores.
- Un sistema articulado el cual prevé la altura a la catenaria, aplicando una presión correcta.
- Un brazo inferior unido a lo ancho del mando.
- Una varilla de empuje de acero articulado sobre un punto fijo unido a la armazón.
- Un marco superior en tubo de acero cuadrado, de sección decreciente, articulado sobre el brazo inferior y la varilla de empuje.
- Un tubo estabilizador de acero articulado sobre la varilla de empuje y la biela de antioscilación destinado a limitar los movimientos del arco.
- Dos cajas de resortes, las cuales aseguran la suspensión elástica del arco.

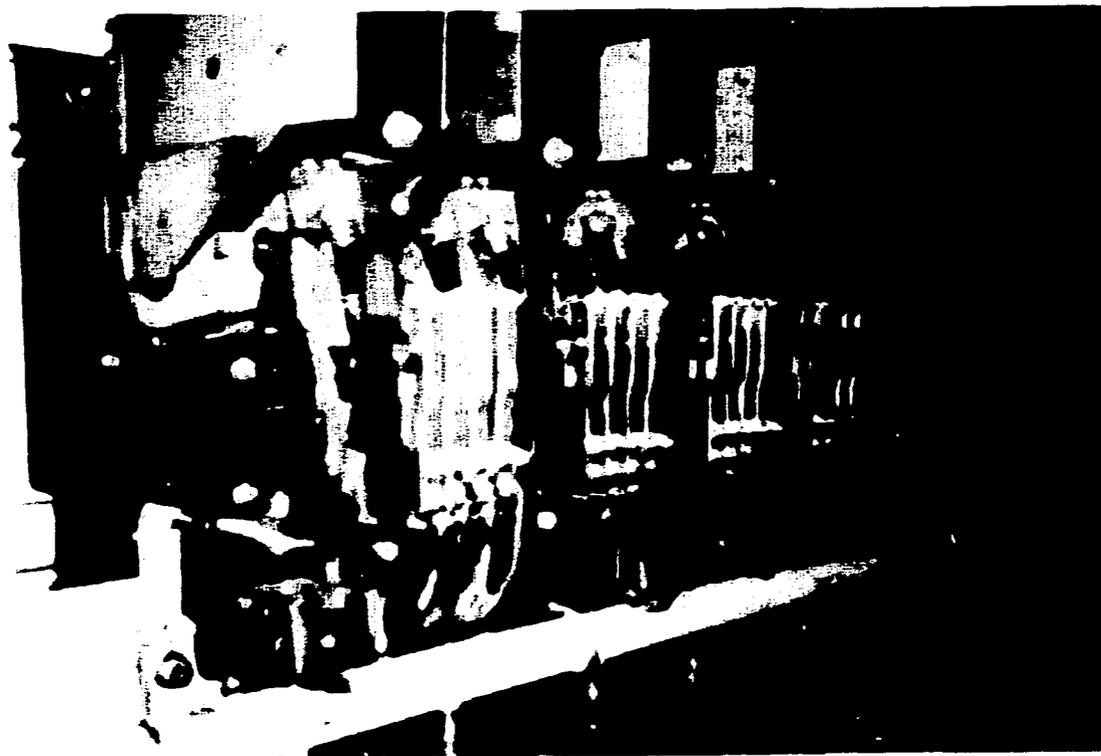


FIG. 38 INTERRUPTORES DE FRENADO E INVERSOR.

- Un arco captador constituido por 6 bandas de carbón.
- Un cilindro de mando neumático, para la operación del pantógrafo fijado sobre el techo.
- Resortes de elevación que ejercen una presión constante del arco captador al hilo de contacto.

La elevación del pantógrafo se realiza paulatinamente sin movimiento brusco y la bajada es rápida, con amortiguamiento al final, esto se obtiene mediante una electroválvula especial, la cual ajusta el tiempo de elevación y bajada.

El pantógrafo solamente sin el cilindro de aire es elevado por resorte y bajado por aire. Hay dos tiras de desgaste con tres tiras de desgaste de carbón en cada una, las cuales son removibles desatornillando desde la parte inferior. Hay un cilindro de aire que sostiene mecánicamente al pantógrafo para que no se eleve. El cilindro de aire está conectado al pantógrafo a través de un émbolo aislado. Cuando se aplica aire al cilindro de aire, este aire comprime el resorte que está dentro del cilindro. El émbolo entonces sale, permitiendo al pantógrafo que se eleve. El cilindro de aire tiene dos posiciones: la posición sin aire, esto es, comprimido totalmente, y la posición con aire, que es extendido o salido totalmente.

g) INTERRUPTOR DE LÍNEA PRIMARIA.

El interruptor de línea primaria, es un dispositivo operado por aire comprimido que mueve sus contactos internos mismos que están conectados en serie entre el interruptor selector de pantógrafo y el primario del transformador principal.

Este interruptor está ubicado en el techo de la locomotora, es de acción rápida aplicada a tensión de 25 KV. 60 Hz.

El interruptor es un dispositivo operado por aire que mueve los contactos que se encuentran dentro de dos botellas de vacío. Los contactos principales están conectados en serie entre el interruptor de transferencia del pantógrafo y el primario del transformador principal.

h) DISPOSITIVOS AUXILIARES

COMPONENTES ELÉCTRICOS DE LA LOCOMOTORA:

Proporcionan las diversas funciones de operación básica de la locomotora, se ubican en los diferentes tableros de los comportamientos de control y propulsión. Se componen de tarjetas electrónicas intercambiables, relevadores y otros elementos.

TABLEROS DE EXCITACIÓN 1 Y 2

Durante la etapa de motorización, estos tableros regulan la corriente de armadura de los motores de tracción, en respuesta al requerimiento por velocidad, de acuerdo a la posición de la palanca reguladora del control maestro. Cada tablero controla la excitación independientemente para cada carretilla.

TABLERO DE EXCITACIÓN AUXILIAR.

Proporciona funciones de regulación para los motores del ventilador y compresor, incluyendo control de sobrevelocidad en estos motores y verificación del estado funcional de los filtros de papel.

TABLERO RECTIFICADOR PARA CARGA DE BATERÍAS.

Su función es rectificar la tensión de corriente alterna, tomada del transformador auxiliar y canalizada hacia las baterías a través de un reactor atenuador para reducir el rizo de la corriente rectificadas.

TABLERO DE PATINAMIENTO DE RUEDAS.

El sistema de control de adhesión SENTRY detecta la rotación de los motores de tracción para controlar el patinamiento de ruedas y eventos relacionados con velocidad.

Los circuitos de control del sistema SENTRY están en el Panel de Velocidad del Motor 17FL233. Este panel contiene 18 tarjetas.

El sistema SENTRY fue diseñado para mejorar la adhesión de las ruedas permitiendo que la velocidad de las mismas fuera ligeramente mayor que la velocidad de la locomotora.

Detecta la diferencia de velocidades en las armaduras de los motores de tracción y en relación a ellas, puede dar salida a tres eventos: arenamiento, reducción parcial o total de potencia.

TABLEROS GENERADORES PARA PULSOS DE COMPUERTAS.

Están ubicados en la parte central de la locomotora, su función es mandar una señal amplificada y prolongada a los módulos de disparo de los tiristores, ya sea de propulsión o auxiliares; como los motores del compresor o ventilador.

CONTACTORES, RELEVADORES E INTERCONEXIONES.

CONTACTOR ELECTRONEUMÁTICO.

Es un dispositivo que conecta o desconecta un circuito de alta intensidad de corriente, tal es el caso de los contactores de potencia de los motores de tracción.

CONTACTOR ELECTROMAGNÉTICO.

Es un dispositivo que opera magnéticamente utilizado para abrir o cerrar circuitos eléctricos de potencia. El contactor está equipado con un punte de contacto fija y otra móvil. El punte móvil está montado en una armadura la cual cierra cuando la bobina de operación es energizada. En este tipo de locomotoras se usan contactores electromagnéticos para el banco de resistencia de freno dinámico.

CONTACTOR DE LEVA.

Se usa para abrir o cerrar circuitos eléctricos de control, la parte móvil del contactor es accionado mecánicamente por un árbol de levas similar al del motor diesel utilizado para accionar las válvulas de admisión y escape.

RELEVADORES.

Un relevador es un dispositivo de conmutación electromagnético, controlado remotamente para abrir o cerrar circuitos de control. Consiste en una bobina, el núcleo de la armadura, un marco "L" y contactos eléctricos. Un relevador es usado para establecer circuitos para la secuencia de otros dispositivos o para proveer protección de circuitos contra fallas eléctricas.

El panel de Relevador sensible al voltaje LE113 consiste en un relevador enchufable con un interruptor electrónico (modulo) calibrado para conectar y desconectar el relevador a un valor preajustado. Además, el panel contiene diodos Zener, resistencias, amplificadores de circuitos integrados (IC), transistores, capacitores y el correspondiente cableado con tablas de terminales y base de montaje.

La operación es de la siguiente forma, (Figure No. 39):

La resistencia R1 y los diodos Zener ZD1 - ZD4 forman un regulador de voltaje para alimentar 20.4 volts aproximadamente al amplificador IC Tipo 741 en la clavija 11 y a la red de voltaje de referencia constituida por las resistencias R2, R3 y RS1.

El capacitor C1 filtra la alimentación de 20 volts y con R1 absorbe los voltajes transitorios en la entrada de C.D.

El amplificador operacional se usa como Interruptor comparador. Su salida cambia de baja a alta cuando la entrada positiva (clavija 5) es mas alta en voltaje que la entrada negativa (clavija 4).

La red de referencia establece un voltaje fijo (9 volts aproximadamente) en la entrada negativa.

Las resistencias R4 y R6 dividen el voltaje de entrada para sensibilización, de modo que el amplificador cambia cuando el valor asignado de voltaje es alcanzado.

La resistencia R5 levanta la entrada positiva después de conectarse el amplificador para proveer histéresis. La entrada de sensibilización debe bajar una cantidad correspondiente antes de que se desconecte el amplificador.

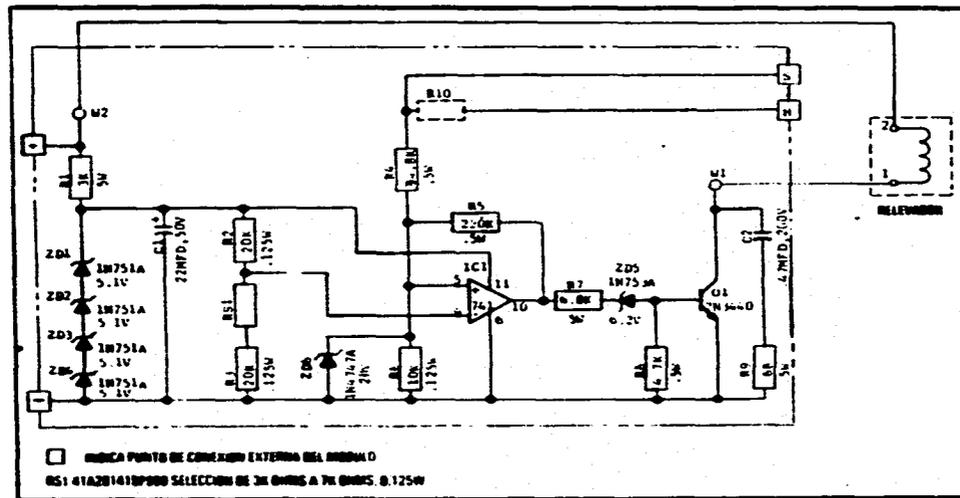


Fig.39 Diagrama de Panel de Relevador Sensible al Voltaje

ZD6 con R4 protegen la entrada al IC contra los voltajes transitorios en la entrada de sensibilización.

Las resistencias R7, R8 y el diodo Zener ZD5 protegen la base del transistor-interruptor Q1 contra conexión errónea y proveen corriente a la base para su operación.

El Transistor-Interruptor Q1 se conecta para accionar el relevador cuando la salida del amplificador está en condición de alta.

El capacitor C2 y la resistencia R9 forman una red de amortiguación que absorbe la energía inductiva de la bobina del relevador cuando esta se desconecta, lo cual protege a Q1 de los voltajes transitorios causados por la alimentación positiva a través de la bobina del relevador.

DATOS DE LOS COMPONENTES PARA MODELOS DEL LE113

RESISTENCIA (OHMS)															
MOD. del panel	R1 (K)	R2 (K)	R3	R4 (K)	R5 (K)	R6 (K)	R7 (K)	R8 (K)	R9 (K)	R10 (K)	R11 (K)	R12	R13 (K)	Rect	Pot. (ohms)
A1	3	20K	20K	34.8	220	10	8.8	4.7	68	13.3	-	-	-	NO	-
A2	1	150	10K	90.9	10.2	3.32	6.81	-	301	6.8	4.7	68	1.5	SI	10K
B1	1	150	10K	90.9	10.2	3.32	6.81	-	301	6.8	4.7	68	3	SI	10K
C1	4.7	330	10K	90.9	10.2	3.32	18.7	-	301	6.8	4.7	68	3	SI	10K

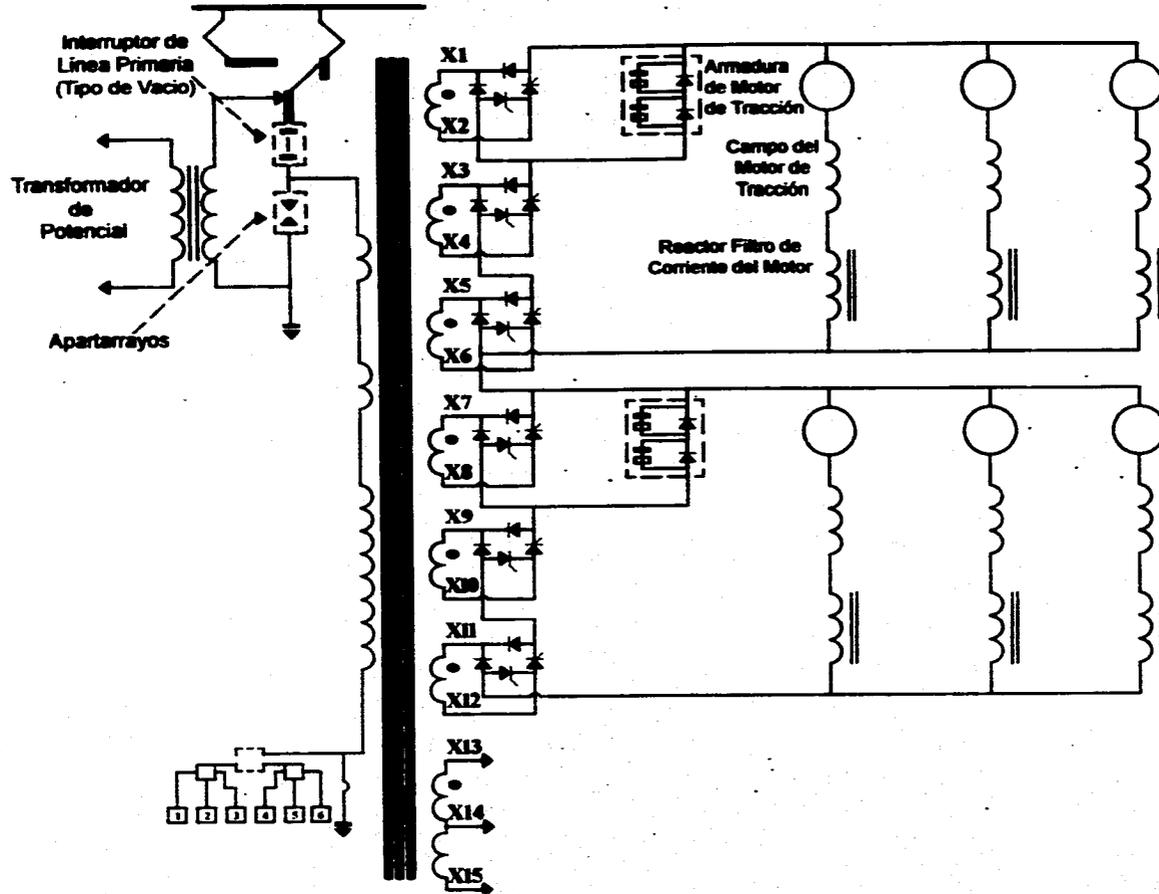
III.4 ACELERACIÓN Y FRENADO (MODO DE OPERACIÓN)

a) PROPULSIÓN.

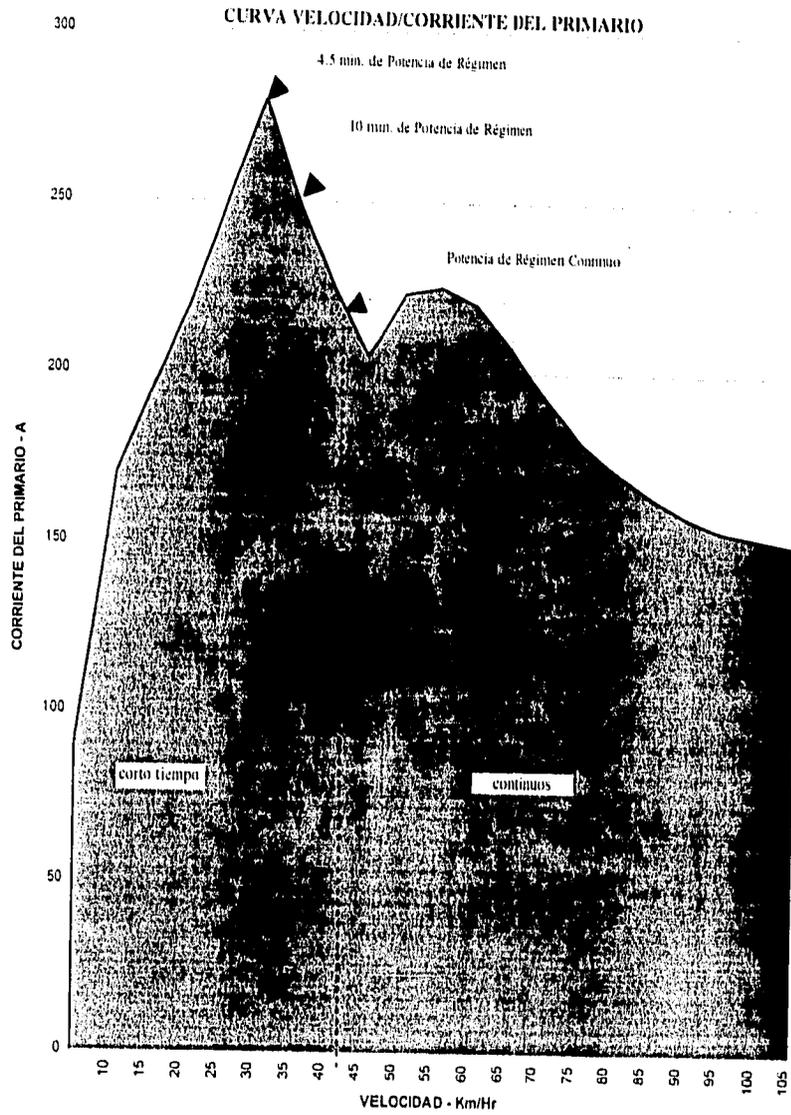
Hay dos circuitos de potencia para la propulsión, cada uno tiene tres rectificadores conectados en serie y alimentados por un devanado de 555 V. Cada circuito de potencia alimentada a una carretilla con tres motores de tracción conectados en paralelo como se ve en la figura 40.

Además el transformador tiene un devanado auxiliar, con derivación central, para la alimentación del equipo auxiliar. Todos los devanados primario y secundario están protegidos por un relevador de sobrecorriente de operación rápida que ofrece protección abriendo el interruptor de vacío del primario (ver gráfica 1).

Fig. 40 Diagrama del Circuito de Propulsión con Conmutación Forzada.



GRÁFICA No. 1



Locomotora Eléctrica E60C
Curva Velocidad-Corriente del Primario
Plena Potencia de Tracción
1 Locomotora en la Subestación
La Subestación = 25Kv RMS, 60 Hz
General Electric Co.

La conexión paralelo de los motores proporciona una característica de autocorrección cuando se presenta el patinamiento incipiente de ruedas debido a la transferencia inherente de corriente del motor impulsor de la rueda que patina a los otros motores conectados en paralelo con él. Además, la rueda que patina se acelera a mucha menor velocidad respecto a las de los motores conectados en serie. Como resultado se aplica menor cantidad de arena con lo cual se minimizan las reducciones de potencia debidas al patinamiento.

El circuito detector de velocidad incluye dos salidas, la primera indica que uno de los tres ejes cambia excesivamente de velocidad e indica una aplicación automática de arranque con reducción inmediata de potencia del orden del 20% en todos los ejes. Si cuatro o más ejes varían excesiva y simultáneamente su velocidad. La segunda etapa efectúa una reducción de potencia del 40% y hace operar a la luz de aviso y el zumbador para alertar al maquinista.

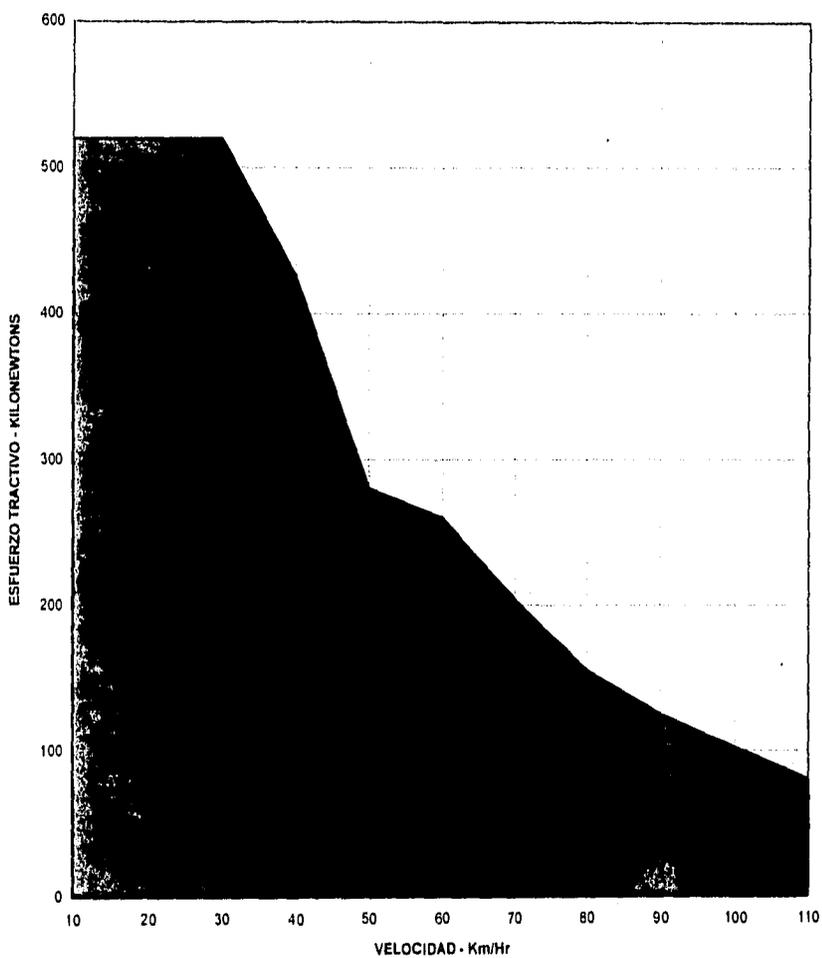
El motor de tracción utilizado en estas locomotoras eléctricas es ideal para esta aplicación, puesto que los motores operan siempre con la fuerza de campo total lo que proporciona excelente estabilidad del motor (ver gráfica 2).

En caso en que se presente un problema en un circuito del motor, al motor que falla, o el truck puede independizarse, quedando en operación el resto de los motores. También se provee control para permitir la continuidad de operación cuando se presentan ciertos tipos de fallas en el puente rectificador, lo cual se logra sustituyendo automáticamente una nueva secuencia de puente que nulifica al puente que presenta la falla.

Los tiristores y diodos incluidos en los puentes son de diseño "press pac" de 53 mm. con circuito disipador como parte del conjunto disipador de calor. Los tiristores y diodos fueron desarrollados por la G.E. presentando mejoras en la calidad de la capacidad de bloqueo de voltaje mientras se mantienen constantes las pérdidas de conducción. Esta capacidad adicional es necesaria debido a las variaciones transitorias de voltaje asociadas con la desconexión del rectificador de conmutación forzada. La disposición en paralelo sirve para obtener la capacidad necesaria. La distribución de corriente suministrada por los tiristores se hace efectiva por medio de operación de los reactores distribuidoras de la corriente de tal manera que no se requiere adecuar selectivamente las celdas.

GRÁFICA No. 2

ESFUERZO TRACTIVO/VELOCIDAD



E60C
Esfuerzo Tractivo vs. Velocidad
6 Motores GE-752-AF
Relación de Engranes: 83:20
Diámetro de Ruedas: 1016 mm

Cada circuito de la carretilla es alimentado por dos rectificadores de conmutación convencional y uno de conmutación forzada. El rectificador de conmutación forzada, con disparo controlado y ángulos de extinción se usa para mejorar el factor de potencia de todo el sistema. El circuito básico de conmutación se muestra en la figura No. 40 y consiste en un par de SCRS auxiliares y un capacitor.

Inicialmente, el capacitor se carga por medio de un circuito separado con carga de diodo. La desconexión de SCR de propulsión se inicia con el disparo auxiliar, por lo cual el voltaje del capacitor se aplica en el SCR de propulsión como voltaje inverso. En seguida la corriente de carga se transfiere al capacitor y al SCR auxiliar, con el capacitor descargado en la carga e invirtiendo la polaridad. Cuando el voltaje del capacitor se invierte y regresa a un valor igual al de la fuente de voltaje, la trayectoria del diodo se polariza directamente y la corriente del SCR cae a un cero. La energía almacenada en la fuente o inductancias de la línea, sobrecargan al capacitor por encima del voltaje de la fuente.

b) FRENADO DINÁMICO.

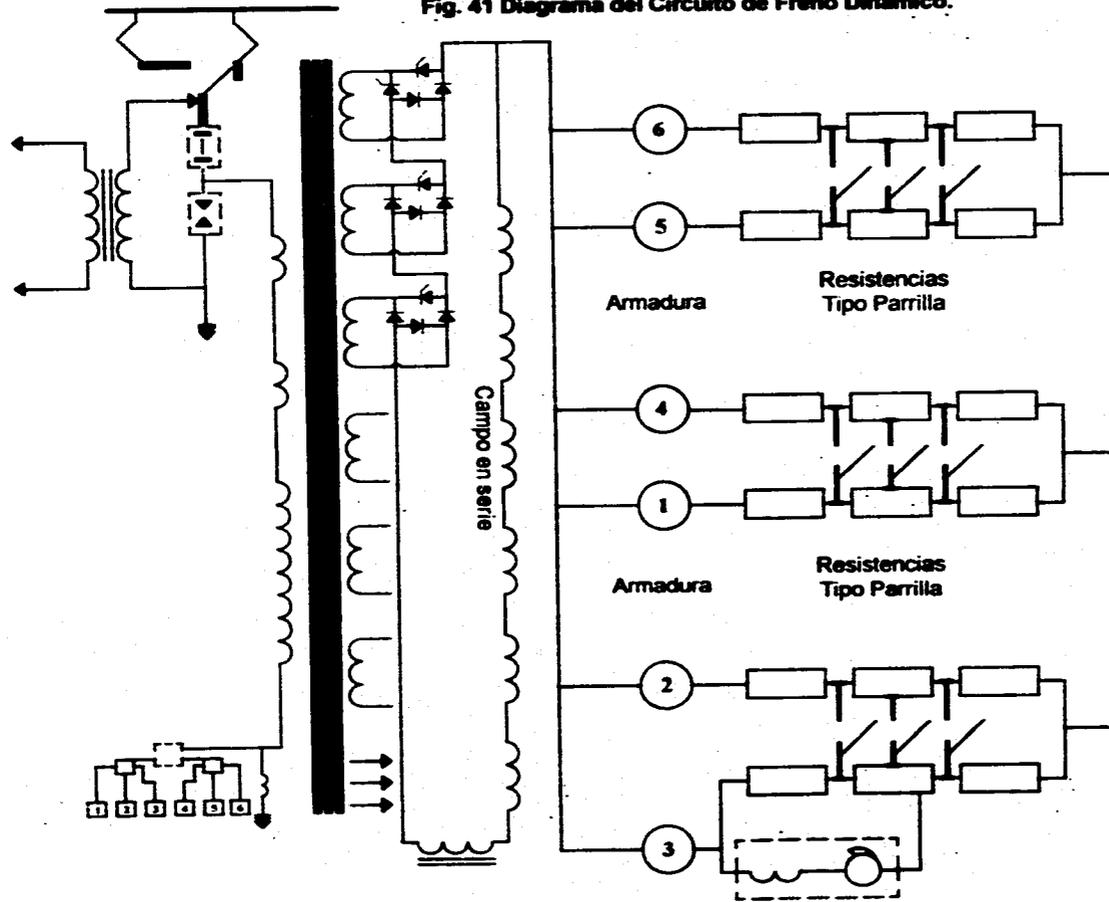
La configuración del circuito para el frenado dinámico se muestra en la figura 41. Los campos de los motores de tracción están conectados en serie y son alimentados normalmente por al segundo puente de tiristores propulsores.

Su finalidad es proporcionar una fuerza retardatriz para reducir la velocidad del tren (normalmente se aplica en las pendientes descendentes). Los motores de tracción se utilizan en este tipo de sistema de freno eléctrico conectándolos de tal manera que, los campos estén en serie y para de armaduras con grupos de resistencias en serie (ver gráfica 3).

Si ocurre algún desperfecto en dicho puente, la potencia para excitación del frenado se obtendrá automáticamente del tercer puente. El frenado dinámico suministra una potencia de 3600 HP en un rango de 100 Km./hr hasta 37 Km./hr.

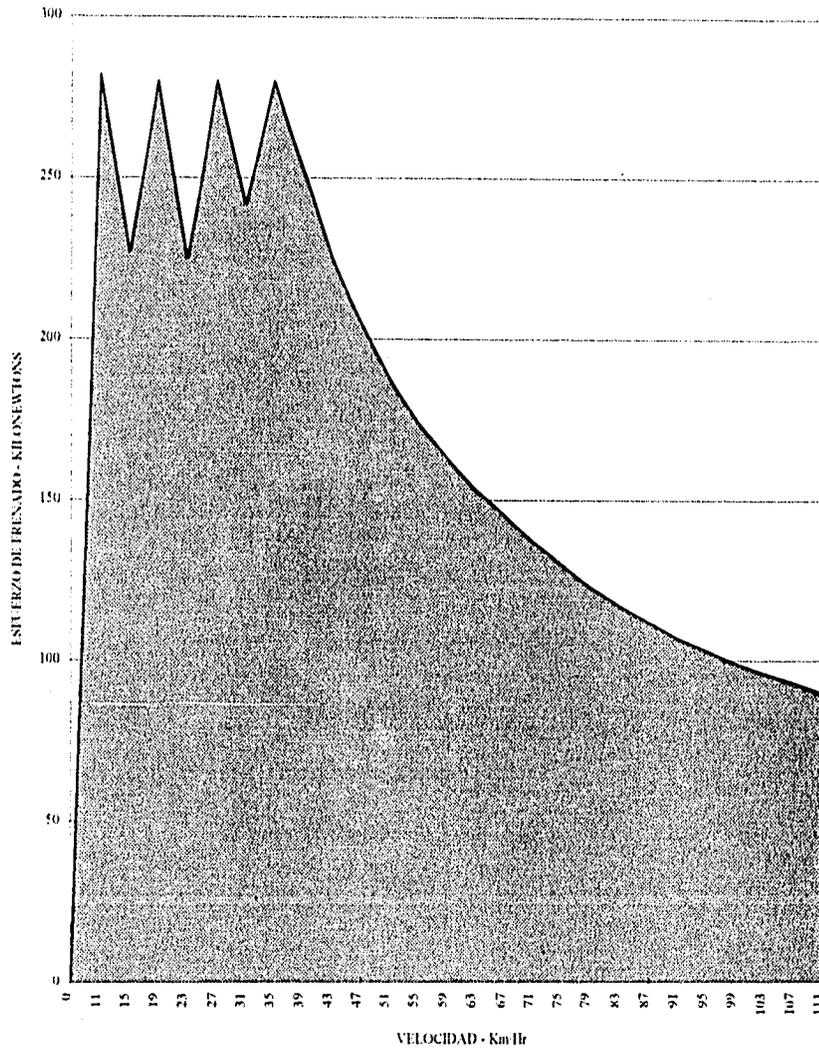
Las resistencias de disipación para el frenado se enfrían por medio de un ventilador con un motor de C.D. conectado en paralelo a una sección de las resistencias disipadoras. Este eficiente sistema de alimentación al motor del ventilador enfriador no requiere energía adicional, si no que utiliza energía que se podría haber convertido en calor en los disipadores.

Fig. 41 Diagrama del Circuito de Freno Dinámico.



GRÁFICA No. 3

ESFUERZO DE FRENADO - VELOCIDAD



Locomotora Electrica E60C
Curva Velocidad - Esfuerzo de Frenado
6 Motores GE-752-AF
Relación de Engranajes: 83:20
Diámetro de Ruedas: 1016 mm

El sistema de protección contra el patinamiento de las ruedas es un sistema vital para asegurar la aplicación máxima de la adherencia disponible para protección del equipo. Los tableros electrónicos reciben entradas procedentes de los detectores de velocidad de alta resolución de cada motor de tracción.

La detección de deslizamiento de ruedas se obtiene en la operación libre y en la de frenado dinámico. Los circuitos detectores y los niveles de sensibilidad son semejantes a los de operación en potencia. Como los dos trucks son controlados por un circuito de excitación de campo estando todos los campos de los motores en serie durante el frenado dinámico, la corrección se hace a nivel locomotora en vez de hacerse a nivel carretilla como en operación en potencia.

ci SISTEMAS AUXILIARES.

Estos sistemas reciben la potencia de un devanado secundario con derivación central en el transformador principal.

La potencia al motor del compresor es controlada en fase para limitar las fuerzas de torsión iniciales y para regular la velocidad final. El compresor arranca y espasa conforme se requiera mantener la presión del aire.

El aire de enfriamiento lo suministra un ventilador de doble entrada que entrega 48,000 Lb./plg² a 2650 R.P.M., a 197 HP. El motor para este ventilador también se controla en fase y su velocidad varía conforme las necesidades de enfriamiento, este tipo de operación ofrece considerable ahorro de potencia y una mejora del 3% al 4% el rendimiento total de la locomotora operando con carga máxima, por lo tanto, a carga menor las mejoras son substancialmente mayores.

El aire de enfriamiento se toma de la parte superior de la locomotora a través del ventilador, pasando después a través de filtros de autolimpieza que se encuentran en el ducto de aire sobre el extremo del bastidor del soporte, la sección central o la plataforma, se usa para distribuir el aire a lo largo de la locomotora. El aire que va a los rectificadores pasa por filtros intercambiables de papel para impartirle una limpieza adicional.

Una porción del aire de enfriamiento se introduce a los pasillos en el centro de la locomotora por medio de ventanillas en los extremos de los miamos, esto provee aire de enfriamiento que además mantiene una presión que restringe la entrada de polvo y suciedad.

d) CALIDAD DE FRENADO.

Hay dos maneras de clasificar los mecanismos en el sistema de frenado usado en la actualidad. Una es el sistema mecánico, que usa la fuerza de fricción entre la zapata y la llanta o rueda. Y otro el sistema eléctrico, donde se obtiene la fuerza de frenado usando los motores principales como generadores y consumiendo la electricidad generada en resistencias eléctricas instaladas en las locomotoras. Aunque estos se llaman frenados eléctricos, ambos sistemas finalmente usan la fuerza de fricción entre ruedas y riel.

La distancia de frenado varía proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad inicial del frenado.

$$df = Vi^2$$

df - distancia de frenado
Vi - velocidad inicial

Clasificando el sistema de frenado a base del funcionamiento, tenemos dos sistemas: el sistema de frenado normal y el de frenado de emergencia. En el sistema de frenado normal se usa la fuerza de frenado conveniente determinada por el sistema de seguridad y por la comodidad. Por otra parte en el sistema de frenado de emergencia se aplica una gran fuerza, con la cual los trenes pueden parar en una distancia menor según el reglamento de cada país.

e) DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ARRASTRE.

La capacidad de arrastre es el peso de coches y vagones que la locomotora puede jalar, después de conocer el material rodante empleado y el tiempo necesario del recorrido, se debe evaluar pura y técnicamente la capacidad de arrastre. Los factores que intervienen para evaluar esta capacidad son: pendientes, curvas, condiciones de instalaciones fijas como capacidad de subestaciones, etc. Entre estos factores, las pendientes son las que influyen más en la capacidad de arrastre.

RESISTENCIA AL RECORRIDO (Rr)

Para locomotoras eléctricas en movimiento con consumo de la energía eléctrica (Gastando).

$$Rr = 1.72 + 0.0084 V + 0.389 V^2/W. \text{ (Kg./T)}$$

Para locomotoras eléctricas en movimiento sin consumo de la energía eléctrica (libres).

$$Rr = 2.37 + 0.0073 V + 0.389 V^2/W. \text{ (Kg./T)}$$

Donde:

- Rr - Resistencia al recorrido (Kg./T)
- V - Velocidad de operación (Km./h)
- W - Peso del material tractivo (T)

RESISTENCIA POR PENDIENTE.

La resistencia por pendiente se puede obtener multiplicando la resistencia por tonelada por el peso del tran. Cuando la magnitud de la pendiente se expresa en g/1000, la resistencia por tonelada (Kg./T) es igual a "g".

$$Rg = g \cdot W$$

donde:

- Rg = Resistencia por pendiente (Kg./T)
- g/1000 = Magnitud de la pendiente
- W = Peso del tran

EJEMPLO:

Calcule la fuerza de tracción en caso de que un tren, cuyo peso es de 40 Toneladas, suba una pendiente de 2.5 (%), con una curva de un diámetro de 500 m., donde la resistencia media de recorrido es de 5 Kg./T y la resistencia de curva se indica por la fórmula siguiente:

$$R_c = (800/r) * W$$

donde:

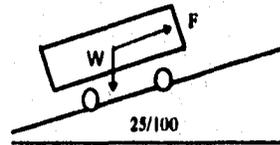
- Rc = Resistencia de curva (Kg./T)
- r = Diámetro de curva (m)
- W = Peso del tren (T)

cálculos:

$$F = R_a + R_p + R_c + R_r$$

donde:

- Rp = Rg = Resistencia por pendiente
- Ra = Resistencia al arranque
- Rr = Resistencia al recorrido
- Rc = Resistencia de curva



Si $V = \text{cte.}; a = 0$

$$W = dv/dt = 0 = F - R_p - R_c - R_r$$

$$F = R_p + R_c + R_r$$

$R_a = 0$ cuando V diferente de 0

$$R_p = 25 \text{ (Kg./T)} * 40 \text{ (T)} = 1000 \text{ Kg.}$$

$$R_c = (800/500) * 40 = 64 \text{ Kg.}$$

$$R_r = 5 \text{ (Kg./T)} * 40 \text{ (T)} = 200 \text{ Kg.}$$

$$F = 0 + 1000 + 64 + 200 = 1264 \text{ Kg.}$$

CAPITULO IV

VÍA ELÉCTRICA

IV.1 VÍA

a) GENERALIDADES.

La seguridad en la operación de trenes depende en gran parte de las condiciones de la vía y estructuras de apoyo.

Las irregularidades en la alineación de la vía, nivel y escantillón de vía pueden causar daño al equipo y al cargamento y en casos extremos, puedan causar descamiamiento. El manejo inadecuado del tren o la incompatibilidad entre vía y el equipo rodante, puede resultar en niveles de fuerza que dañarán la vía aunque ésta se encuentre en buenas condiciones.

La doble vía electrificada México-Querétaro es del tipo elástica, y tiene una longitud de 245.1 Km. de vías principales, contando además con:

- 15 laderos
- 5 vías de andén en la estación Buenavista
- Patios totalmente electrificados de carga
- Patios de recibo y despacho

La mayoría de los problemas de dinámica vía-tren asociados con las condiciones de la vía, pueden ser reconocidos por la calidad de marcha de los trenes y/o por la inspección cuidadosa de la vía.

b) CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.

En la doble vía electrificada México-Querétaro sus características estructurales son las siguientes:

Riel	115 Lb/yd de 39 ft (11.89 m)
Soldadura	Aluminotérmica
Durmiente	Biblock de concreto reforzado Monolítico de concreto reforzado
Tipo de fijación	Doblemente elástica

Balastro tipo 2
Herrajes de cambio

Piedra triturada de 1/2" a 2 1/2"
Números 10 y 20

La vía elástica esta constituida de largos tramos de riel soldado convenientemente fijados a durmientes de concreto o madera entallada mediante un sistema adecuado de fijación doblemente elástica que evita el deslizamiento y flexión de los rieles y amortigua sus vibraciones e impactos al paso de los trenes.

Los rieles se clasifican en tres tipos:

- Riel ordinario: es el riel común utilizado en ferrocarriles que tiene una longitud que varia entre los 39 ft (11.88 m) y 78 ft (23.77 m) de cualquier calibre y que para formar la vía se unen entre si por medio de planchuelas.
- Riel largo: es el que tiene una longitud mayor de 117 ft (35.66 m) de cualquier calibre y se obtiene de soldar dos o mas rieles ordinarios.
- Riel continuo: es el que se obtiene de soldar entre si, por cualquier procedimiento, varios tramos de riel largo, lográndose rieles sin juntas de longitud que varían de 250 m o mayores.

Los durmientes son elementos que se sitúan en dirección transversal al eje de la vía, sobre los que se colocan los rieles y constituyen a través de la sujeción el nexo o elemento de unión entre el riel y el balastro formando la superestructura en la vía, figura No 42.

Las cargas de las ruedas actúan directamente sobre el riel, transmitiendo esfuerzos a los durmientes y estos simultáneamente al balastro. Los elementos de la doble fijación elástica en durmientes de concreto se muestra en la figura No. 43.

Las placas de asiento al principio fueron introducidas como un medio para distribuir las cargas del riel sobre una superficie mas amplia en el durmiente; pero a medida que los resultados benéficos de la mayor área de apoyo proporcionada por las placas se hicieron evidentes, estas se empezaron a diseñar mas anchas, mas largas y mas gruesas. Además de proteger a los durmientes contra el desgaste mecánico, sirven para ayudar a sostener los rieles a la medida de escantillón.



Fig. 42 Corte Transversal de un Durmiente de Concreto.

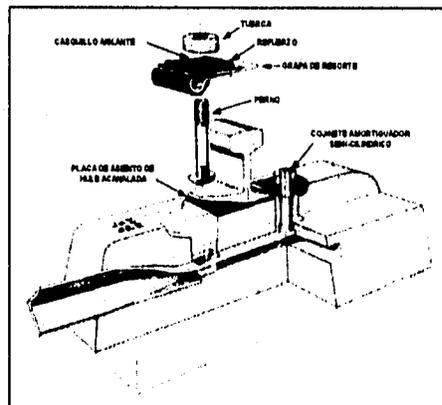


Fig. 43 Elementos de la Doble Fijación Elástica en Durmientes de Concreto.

Los clavos de vía se emplean para asegurar el riel y las placas de asiento correctamente alineadas y a la medida de escantillón. Se utilizan diferentes patrones de clavado, dependiendo del tipo de riel y de placas de asiento que se estén aplicando, y si el alineamiento de la vía es recto o en curva. En ciertas ubicaciones seleccionadas se emplean sujetadores del tipo de compresión en lugar de clavos de vía para suministrar mayor resistencia y evitar que el riel se vire.

Las anclas de riel se emplean para impedir el corrimiento del riel causado por la expansión y contracción de este debido a los cambios de temperatura y/o por las pendientes, tráfico y acción del frenado.

El balastro transmite de manera uniforme hacia el terraplén las cargas impuestas. Así mismo suministra apoyo uniforme para los durmientes y absorbe vibraciones y golpes, también se encarga de anclar la vía en su lugar, esto es, resiste el movimiento lateral y longitudinal.

c) CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.

Las fuerzas generadas por los trenes durante el arranque, marcha y parada, son transmitidas de la rueda al riel y deben ser contenidas. Por lo general las fuerzas más altas se experimentan durante el recorrido de las curvas. Es conveniente examinar las características de las curvas.

- Curvatura máxima 2° 00'
- Pendiente máxima al norte 1.5%
- Pendiente máxima al sur 0.75%
- Sobreelevación máxima 6.0"

Para cumplir con las condiciones geométricas anteriores, fue necesario la construcción de las siguientes obras:

- 104 pasos inferiores de concreto reforzado con gálibo vertical mínimo de 6.23 m.
- 58 pasos superiores de concreto reforzado.
- 11 túneles de concreto reforzado con gálibo vertical mínimo.

Un tren está diseñado para que cambie de dirección cuando se presente una curvatura en la vía. Una curva se compone de dos partes: la curva circular de radio constante y la curva transicional llamada espiral, misma que va insertada entre la recta y la curva circular. El riel exterior de la curva guía la rueda y la carretilla (truck) resistiendo su tendencia a seguir derecho, y de esta forma hace girar la locomotora.

La espiral es una curva de radio de cambio constante la cual disminuye desde un radio de longitud infinita al principio de la espiral, a un radio igual al de la curva circular. La espiral proporciona una transición suave de recta a curva y permite que la sobreelevación se pueda aumentar gradualmente antes de introducir el cuerpo principal de la curva, figura 44. La longitud de la espiral puede variar directamente con la magnitud de la sobreelevación, el régimen de cambio permisible de sobreelevación determinará la longitud mínima de la espiral.

La longitud mínima de la espiral de la curva (en pies) debe ser por lo menos igual a la sobreelevación del riel exterior en la curva (en pulgadas) multiplicada por la velocidad máxima del tren en la curva (en MPH).

Los trenes, al ir operando sobre curvas, son afectados por la fuerza centrífuga la cual actúa desde el centro de la curva y tiende a volcar los carros; esta tendencia dirige el peso del tren hacia riel exterior.

Para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga, el riel exterior de la curva es levantado o sobreelevado. Esto cambia el efecto de la fuerza centrífuga y del peso del vehículo, produce una fuerza resultante tal como la que se ilustra en la figura 45.

Cuando la fuerza resultante pasa a través de la línea del centro de la vía, se dice que la curva está siendo balanceada y sea alcanzado la velocidad de equilibrio. En esta condición las fuerzas verticales son iguales en cada riel, lo cual permite la utilización máxima del esfuerzo tractivo, lo que da por resultado un desgaste mínimo de ruedas y rieles.

IV.2 CIRCUITO DE RETORNO DE LA CORRIENTE DE TRACCIÓN (CRCT)

a) GENERALIDADES

La corriente necesaria para funcionamiento de los motores de tracción, es proporcionada por las subestaciones, esta corriente es transportada al lugar de utilización (la locomotora) a través de las catenarias.

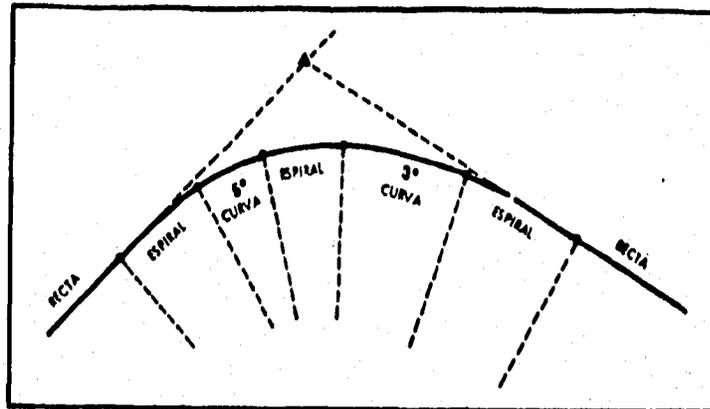


Fig. 44 Curva Compuesta con Espirales.

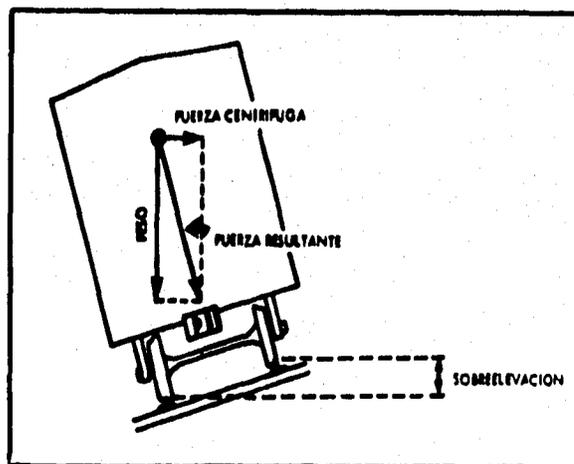


Fig. 45 Carro Sobreelevado en Equilibrio.

Captada la corriente por el pantógrafo, recorre el devanado primario del transformador; el secundario alimenta los motores de tracción esta corriente después se junta en los rieles a través de los ejes de las ruedas.

Dado que los rieles de acero son malos conductores de la corriente, esta también circula por el suelo siguiendo al camino mas favorable, dispersándose por una gran extensión vertical y horizontalmente.

En la carcanía de la subestación la corriente se concentra en los rieles para regresar a esta, a través de los cables de conexión entre la vía y la subestación que constituyen la arteria de retorno.

Generalmente el retorno de la corriente de las vías principales a la subestación debe efectuarse exclusivamente a través de estas mismas.

El conjunto catanaria, rieles, suelo y arteria de retorno constituye el circuito de tracción.

El circuito de retorno de la corriente de tracción comprende;

- Los rieles y sus conexiones longitudinales.
- Las conexiones transversales.
- La arteria de retorno.

Las disposiciones previstas para estas diversas instalaciones, resultan de la necesidad de:

- Asegurar en todas las circunstancias el paso de la corriente, evitando la aparición de tensiones peligrosas que resultan de la rotura del circuito de retorno.
- Evitar la presencia de tensiones riel-suelo peligrosas, dentro de las zonas de circulación de personas, asegurando en estas una buena conductibilidad de los hilos de los rieles.

RIEL DE RODAMIENTO PUENTE ELÉCTRICO

Por las razones expuestas anteriormente, puede ser necesario ligar los extremos consecutivos de los rieles de un mismo hilo, por medio de un conductor llamado "conexión eléctrica del riel al riel". Por otra parte, estas conexiones son indispensables sobre todo en las vías equipadas con equipo de vía, para asegurar el buen funcionamiento de la señalización.

En términos generales, los dos hilos de rieles de una vía se utilizan para el retorno de la corriente de tracción.

Cuando la vía incluye circuitos de vía aislados sobre hilos de rieles (circuito de vía monorriel), el retorno de la corriente de tracción se efectúa exclusivamente a través del hilo del riel no aislado (este puede ser alterado), llamado hilo retorno.

b) TIPOS DE CONEXIONES.

La conexión ordinaria en cable de cobre recocido desnudo de 50 mm² de sección, fijada con soldadura aluminotérmica sobre la cara exterior del hongo del riel.

La conexión para zona de contención en cable de cobre recocido desnudo de 95 mm² de sección con soldadura aluminotérmica sobre el alma del riel (fig. 46).

La conexión por aparato de dilatación en cable de cobre recocido aislado, de 95 mm² fijada con soldadura aluminotérmica sobre el alma de las dos semi-agujas (fig. 47).

La conexión provisional en cable de cobre recocido aislado, de 25 mm² de sección, utilizada solo en casos de avería de una de las conexiones anteriormente mencionadas y durante el transcurso de los trabajos de vía, cuando el circuito de retorno debe ser interrumpido (fig. 48).

REGLAS DE ESTABLECIMIENTO DEL PUNTEO ELÉCTRICO

ZONAS PUNTEADAS ELÉTRICAMENTE.

El punteo eléctrico de las vías, se efectúa:

- Sobre todas las vías provistas de circuito de vía.
- Cada vez que por razones de seguridad de las personas y teniendo en cuenta la importancia de la corriente que circula en las vías, interesa reducir las tensiones que se presentan entre los rieles y el suelo.
- En ciertas zonas para mejorar la calidad del circuito de retorno.

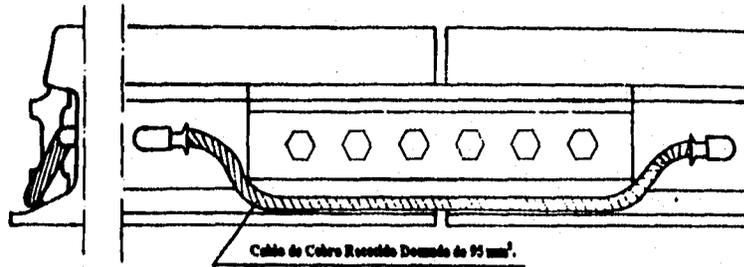


Fig. 46 Cable para Conexión de Zona de Contención.

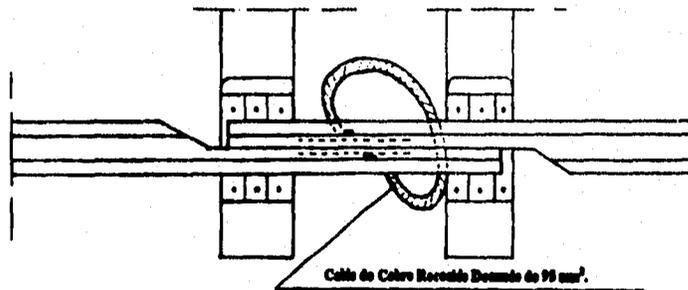


Fig. 47 Cable para Conexión por Aparato de Dilatación.

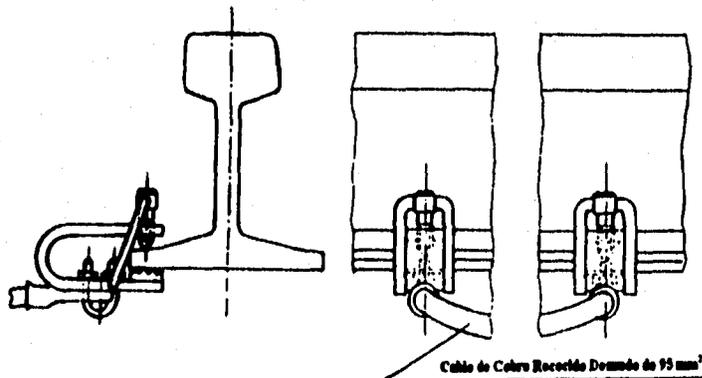


Fig. 48 Cable para Conexión Provisional.

En consecuencia, las ligaduras eléctricas de riel a riel se instalan según las modalidades siguientes:

- Vías provistas de circuitos de vía.
- Una ligadura en cada junta de riel, sobre los dos hilos de cada vía.

Si la vía incluye circuitos de vía monorriel, el circuito aislado debe ser obligatoriamente marcado como sigue:

- Sobre las vías equipadas con barras normales, por medio de una espiral enredada alrededor del cable de la conexión.
- Sobre las vías equipadas con rieles largos soldados, por espiras de alambre de acero de 4 mm² de diámetro, fijadas en el alma del riel por medio de clavijas. Estas espiras están colocadas cada 10 metros.
- Vías no provistas de circuitos de vía.

En las estaciones.

Una ligadura a cada unión sobre un solo hilo, sobre todas las vías no accesibles al público.

La zona así puenteadada debe iniciarse a 100 metros más allá de los cambios de vía extremos y en ausencia de éstos, a 100 metros del extremo de los andenes de pasajeros.

En los peines de los palios de clasificación totalmente electrificados o en los que solamente están electrificados los extremos, se pueden ligar eléctricamente:

Los hilos exteriores de dos vías extremas, sobre toda la longitud del peine.

Un solo hilo de cada vía, entre las cabezas del peine y las primeras ligaduras transversales encontradas.

En plena vía

A la llegada de una subestación y exactamente a 1,000 metros de un lado y otro de esta, una conexión a cada ligadura de riel sobre los dos hilos de cada vía.

Más allá de esta zona:

Sobre vía única, una conexión a cada ligadura sobre un solo hilo de rieles.

Sobre vía doble, sin conexión de riel a riel o bien con una conexión a cada ligadura sobre un solo hilo entre los cuatro si el aislamiento elevado del armamento, (estructura) puede llegar a la presencia de tensiones riel-suelo importantes (casos específicos de travesaños de concreto y plantillas de caucho).

c) LIMITE DE ZONA ELÉCTRICA.

La continuidad metálica ni necesita indicación eléctrica de la vía, esta debe ser realizada para asegurar la disminución de las tensiones riel-suelo, exactamente a 500 metros más allá de la señal de fin de línea de contacto. En consecuencia sobre las vías provistas de circuitos de vía birriel es conveniente instalar las conexiones inductivas a los emplazamientos de juntas aislantes instaladas dentro del límite de 500 metros.

Cuando la zona no electrificada continúa a una zona alimentada con corriente alterna y directa, es conveniente separar esta zona, de la zona electrificada, por medio de dos pares de juntas aislantes distantes una de la otra por una determinada longitud de riel, de tal manera que constituyan una zona de protección, contra la propagación de la corriente continua susceptible esta de provocar corrosión.

Las vías no electrificadas, son puestas a tierra si estas presentan en relación con el suelo un aislamiento promedio superior a 5 ohms (vías cortas poco numerosas) y cuando continúan a una zona de protección, o presentan un paralelismo importante con una línea electrificada (en principio más de 1000 metros).

d) CIRCUITO DE VÍA BIRRIEL.

Las conexiones inductivas están diseñadas para asegurar la continuidad del circuito de retorno de la corriente de tracción a la derecha de las juntas aislantes de los extremos de los circuitos de vía birriel, utilizados para la señalización.

Cada hilo de rieles esta unido a la conexión inductiva, por dos cables de 75 mm² soldados al riel ligados a la conexión inductiva por medio de casquillos atomillados.

Los puntos medios de los devanados de las conexiones inductivas están conectados entre ellos, por medio de dos cables de 75 mm², en todos los casos.

Los circuitos de retorno son continuos. Al paso de los trenes las juntas aislantes son puenteadas habiendo propagación de corriente alterna y corriente directa. Consecuentemente de un lado y otro de la sección de separación y sobre la longitud máxima de circulación, es necesario instalar circuitos de vía compatibles con los dos sistemas electrificados (calibre de conexiones inductivas y reglas estrictas de la longitud de los circuitos de vía) y asegurar la protección entre cada tipo de corriente.

e) CAJAS DE IMPEDANCIAS (CONEXIONES INDUCTIVAS).

GENERALIDADES

Todas las bobinas de impedancia (conexiones inductivas) modelos AF-MINI, AZ-MINI, Z, Z-1 y DRZ están diseñadas para sistemas de tracción de Corriente Directa (C.D.) y Corriente Alterna (C.A.) de varios rangos de amperes continuos para permitir rutas aisladas de corriente de señal, de corriente alterna, a través de los rieles. El modelo AF-MINI es instalado entre y conectado a los rieles, para transmitir y recibir líneas del sistema de circuito de vía de tránsito de Audio Frecuencia AF-200W para señal de cabina y sistema de control similares. El modelo MINI puede ser aplicado a cualquier categoría general de sistema señal-control.

La configuración básica de circuito para la conexión inductiva modelo AF-MINI está representada por una bobina sencilla con una derivación central (toma de corriente) y una bobina secundaria acoplada a ella por inducción, fig. 49.

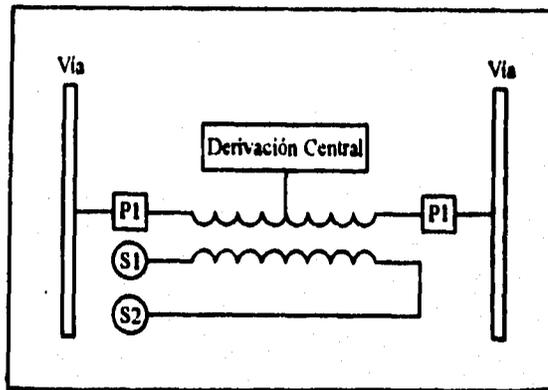


Fig.49 Configuración Básica para Conexión Inductiva.

Nota: La designación de propulsión (P1 y P2) y señalización (S1 y S2) son solo como referencia de instalación.

Una aplicación característica de este sistema se muestra en la figura No. 50.

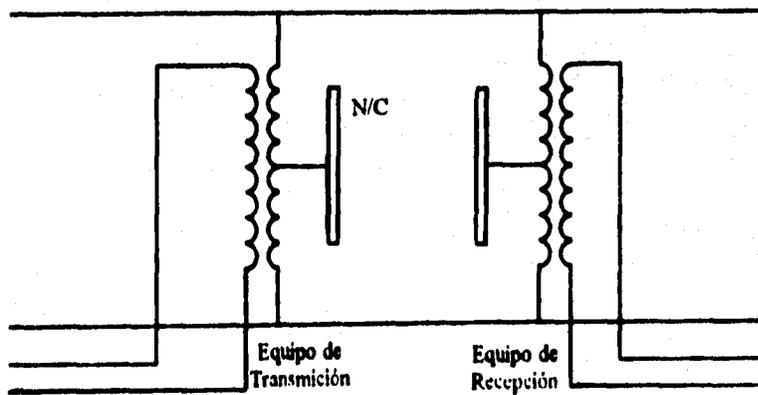


Fig. 50 Aplicación Característica de una Conexión Inductiva.

Esta caja recibe corriente de tracción a través de la bobina primaria y corriente de señal a través de la bobina secundaria, la cual es acoplada por inducción a la bobina primaria, dentro del núcleo de la bobina primaria se crean flujos magnéticos de oposición que las neutralizan entre sí. La corriente inducida en el núcleo de la bobina primaria desde la bobina secundaria se utiliza con propósitos de señalización. La derivación central en ciertas aplicaciones puede usarse para conexiones a otras cajas en la misma vía o vías adyacentes.

La caja puede equiparse con una unidad sintonizadora interna y equipo especial de cable de señales para propósitos de acoplamiento de vía, este tipo de caja esta montada en los durmientes. La caja utilizada en Ferrocarriles Nacionales de México es la modelo de TRACCIÓN DE C.A., la cual su configuración básica del circuito para la conexión inductiva es idéntica al modelo AF-MINI, los esquemas están representados en las figuras 51 y 52, donde podemos apreciar sus partes para toda aplicación.

DISEÑO FÍSICO DE TODAS LAS CAJAS

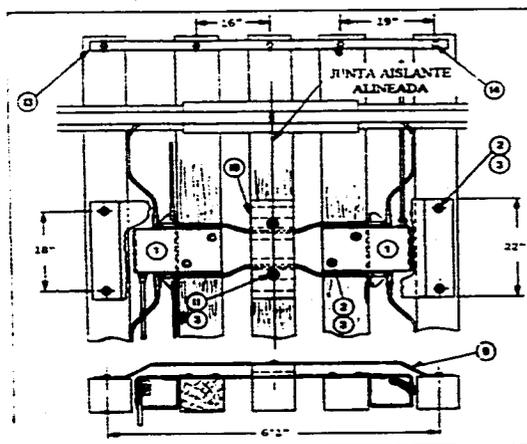
Las conexiones inductivas modelos AF-MINI y de TRACCIÓN DE C.A. utilizan reactores de núcleo de tipo "C". Los devanados de cobre en capas se usan para todas las bobinas primarias.

Los modelos AF-MINI y de TRACCIÓN DE C.A. están alojadas dentro de cajas soldadas, son de encapsulación de epóxica para proporcionar protección contra corrosión y mugre, y para ayudar al enfriamiento de las cajas.

f) CONEXIONES TRANSVERSALES.

Las ligaduras tienen por objeto:

- Distribuir la corriente entre las vías diferentes.
- Cuando esto es posible en vías no provistas de circuitos de vía, para volver equipotenciales los dos hilos de riel de una misma vía.
- Enlazar eléctricamente las vías principales y las vías de servicio.
- Enlazar entre ellas ciertas partes de aparatos de vía, con el fin de asegurar un mejor camino de retorno.



Elemento	Descripción	Parte No.
1	Conexión Inductiva	N451003-0501
2	Tornillo de Sujeción	J050324 1/2" x 4" largo
3	Arandela	J047503 1/2"
4	Placa de cable con conector de sujeción	N451004-3001 N451004-300
5	Placa Falsa	M437429-0001
6	Junta elástica	M437428
7	Placa de retención con tornillos	J051206 1/4" - 20 x 7/8"
7a	Arandela	J047792 1/4" 1k
8	Rampa de protección	R451004-3101
9	Rampa de protección	R451004-3301
10	Rampa superior falsa	J057571-0101
11	Tornillo de sujeción	J050327 1/2" x 6" largo
12	Banda de conexión	M177187-002
13	Banda de conexión	M177187-001
14	Tornillo de sujeción	J050342 3/4" x 4" largo
15	Cable vástago fijadora de nivel	A774215 1/2"
16	Abrazadera	N451004-3201

OBSERVACIONES: Peso aproximado 81 Lbs. Conectores bajo norma NEMA. S1 / S2 conexiones intercambiables.

* Para conexión inductiva N451003-0801 omitir los elementos 4, 5, 6, 7, 7a, 15, y 16

** Acepta sujeción de 3/8" hasta 1/2" (Blindaje para par de alambres)

*** Acepta sujeción de 11/16" hasta 13/16" (Blindaje para par de alambres)

Fig. 51 Conexión inductiva para conducción de C.A. Aplicación básica y lista de partes

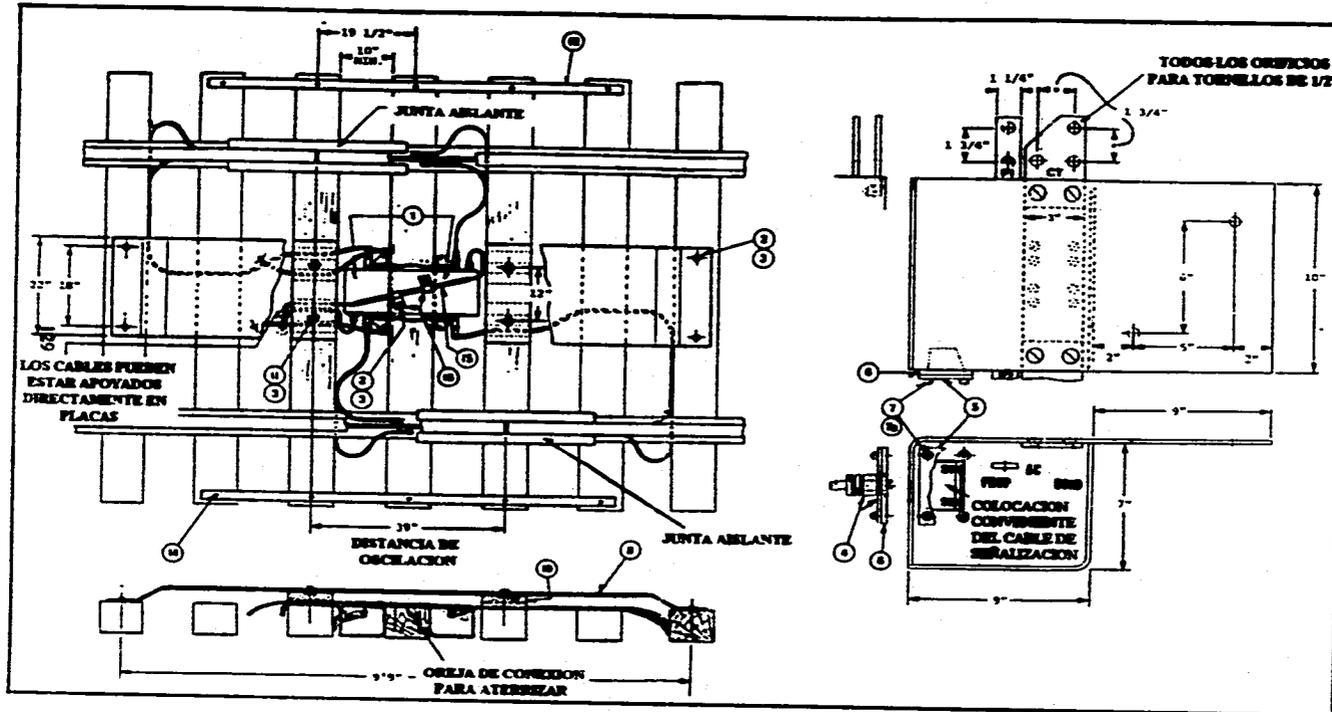


Fig. 52 Aplicación Básica de la Conexión Inductiva
 Modelo de Tracción de C.A.

Estas ligaduras están constituidas por cables en cobre recocido de 75 mm² de sección con aislamiento ligero y conectadas con soldadura aluminotérmica fig. 53.

El cable desnudo en casos excepcionales se puede utilizar al efectuar ligaduras muy cortas y cuando no hay riesgo de tocar una pieza metálica, con un potencial diferente al de las piezas a conectar.

Estos cables para ligaduras son fijadas a los travesaños por medio de bridas o colocados dentro de los canales en concreto armado.

Las ligaduras transversales son establecidas de tal manera que cada parte metálica aislada, excepto las puntas de agujas, están ligadas en sus dos extremos al circuito de retorno.

Las vías de servicio deben ser ligadas a las vías principales, cuando menos en dos puntos situados después de cada uno de los extremos.

Según los casos que se presenten, las disposiciones a realizar se presentan por:

- La vía principal esta provista de circuito de vía monorrel y la vía de servicio no incluye circuito de vía.
- La vía principal y la vía de servicio están provistas de circuito de vía monorrel.

Ligaduras entre vías no aislada

Los hilos de rieles deben ser unidos entre ellos por una ligadura en cable de cobre recocido de 75 mm² de sección, cada 300 m. aproximadamente.

g) ARTERIA DE RETORNO.

La arteria de retorno de la corriente de tracción hacia la SET, se establece generalmente a la derecha de la SET siguiendo el lado mas corto. Esta arteria de retorno esta constituida por cables de cobre con aislamiento ligero de 185 mm² de sección, a razón de dos cables por vía.

Esta línea se conecta normalmente a uno de los polos del transformador de alimentación a los rieles.

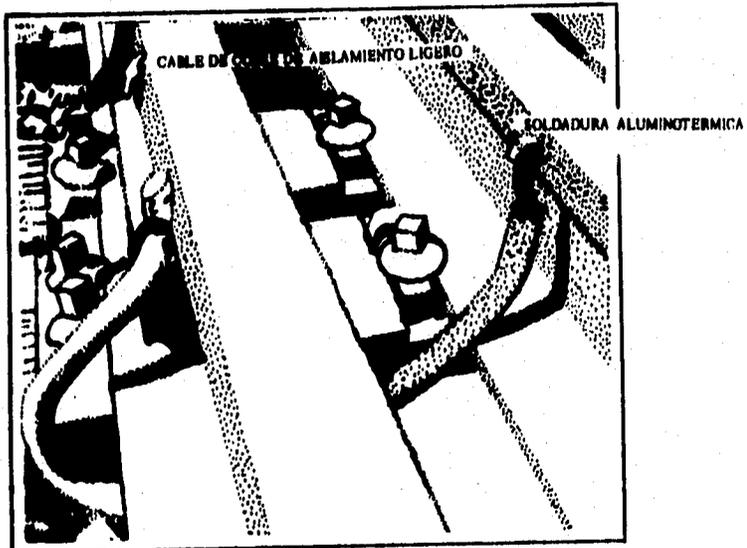


Fig. 53 Cable para Conexiones Transversales.

Cada cable de cobre de 185 mm² esta empalmado a dos cables de cobre de 75 mm² de sección con aislamiento ligero, por medio de una pieza de conexión.

La fijación de los cables de 75 mm² a los rieles se efectúa por medio de soldadura aluminotérmica.

Las ligaduras de la arteria de retorno hacia los rieles se efectúa sobre cada hilo de rieles.

Vía que incluye circuito de vía monorriel.

Vía que incluye circuito de vía birriel.

La ligadura de la arteria de retorno de los rieles se efectúa obligatoriamente por medio de conexiones inductiva.

Vía con circuitos de vía sin juntas.

La ligadura de la arteria de retorno a los rieles se efectúa obligatoriamente por medio de una conexión inductiva instalada para este efecto a la derecha de la SET.

h) PUESTA A TIERRA DE LAS VÍAS.

VÍAS PRINCIPALES (VP)

Generalmente la puesta a tierra no debe ser afectada sobre las vías principales. Realmente sobre las vías principales la corriente de tracción puede normalmente dispensarse libremente de un lado a otro de la locomotora y la impedancia característica de una VP, es normalmente inferior a la de una buena puesta a tierra. Las vías principales (VP) admiten circuitos de vía y la presencia de puestas a tierra es para disminuir las anomalías.

VÍAS DE SERVICIO (VS)

Vías no provistas de circuito de vía.

Una puesta a tierra es por regla general para proveer siempre, que la corriente de tracción circule por un solo lado.

Generalmente esta puesta a tierra debe ser colocada hacia los extremos de la, o de las vías de servicio, del lado opuesto al punto de unión eléctrico con las vías principales. Esta disposición puede eventualmente requerir de la instalación de mas puestas a tierra dentro de una misma estación.

Una puesta a tierra puede generalmente estar implícitamente constituida por una red de vías de servicio, que incluya esta cuando menos tres filas de rieles unidas eléctricamente y puestas en paralelo. Por lo tanto no se provee ninguna tierra. Es lo mismo cuando el extremo de la vía de servicio esta situada a menos de 100 m. del punto de unión eléctrico de este vía con la vía principal o la red de vías de servicio.

Vías provistas de circuito de vía.

Estas vías se analizan como las vías principales, teniendo en cuenta que la unión eléctrica se realiza sobre los hilos de rieles. Una ruptura de riel es fácilmente detectada.

IV.3 PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES.

a) GENERALIDADES.

La puesta con tensión de las instalaciones de tracción eléctrica, tiene por consecuencia la aparición de diferencias de potencial entre todos estos conductores y la posibilidad de circulación de corrientes eléctricas.

Ciertas instalaciones o parte de ellas pueden ser portadoras de tensiones que presentan el riesgo de ser peligrosas:

- Para el personal, los empleados de los ferrocarriles, el publico que se encuentra en las instalaciones, etc.
- Para las propias instalaciones, por ejemplo aparatos de señalización o de telecomunicaciones.

Estas tensiones pueden provenir:

- Por un defecto de aislamiento, deformación o ruptura de un aislador.

- Por un contacto accidental, directo o indirecto entre las instalaciones y la catenaria, ruptura de un conductor o de una parte metálica cercana a una catenaria o a un portador.
- Por los efectos de inducción electromagnética.
- Por los efectos de influencia a la corriente eléctrica debidos a la corriente de tracción.

La potencia mas eficaz, consiste en unir a los rieles la mayor cantidad posible de estructuras metálicas, interconectadas entre ellas, a fin de:

- Reducir la impedancia entre estas estructuras y el suelo.
- Provocar la apertura de aparatos o equipos de protección.
- Facilitar la circulación de corriente que se oponen a los efectos de la inducción (pantalla electromagnética).

Las normas editadas por el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (C.C.I.T.T.), en unión principalmente con la Unión Internacional de Ferrocarriles (U.I.F), fijan los valores máximos de la tensión estructura-suelo en:

- 650 V. en régimen de cortocircuito, con disparo de interrupción en 0.2 seg. máximo.
- 150 V. en régimen permanente, para las estructuras no accesibles al publico.
- 60 V. en régimen permanente, para las estructuras accesibles al publico.

b) INTERVALO DE DESCARGA.

Este aparato esta instalado entre una estructura metálica y el riel. Y siempre se completa por medio de una puesta a tierra directamente de la estructura con el fin de que la disyunción residual asegure en caso de puesta en servicio accidental y que si se presenta el caso, las cargas estáticas puedan escapar.

El intervalo de descarga tiene una doble función:

En régimen normal:

Crear un aislamiento entre la estructura metálica y el riel con el fin de la relación de las tensiones riel-tierra sobre esta estructura principalmente cuando esta es accesible al público.

En régimen de cortocircuito:

Volverse conductor y desviar la corriente de cortocircuito directamente al riel, con el fin de reducir al máximo la tensión de falla.

El intervalo de descarga esta constituido por:

- **Un electrodo exterior constituido por una cubierta con deposito.**
- **Un electrodo central.**
- **Un bloque semi-conductor de "carbosal" colocado entre los dos o un revestimiento metálico superficial que permite una intervención de supresión media.**
- **Dos anillos de aleación fusible separados por un espacio de aire y soldados a cada uno de los dos electrodos.**

Mientras la diferencia de potencial entre los dos electrodos es pequeña, el aparato esta aislado.

Si la diferencia de potencial aumenta, un arco salta entre los soportes de cebado y se transfiere a los electrodos.

El calor producido por este arco funde los anillos de aleación fusible que soldan en forma permanente los dos electrodos y por lo tanto conectan la estructura metálica al riel, permitiendo la derivación de una corriente intensa.

Es importante considerar que después de este fenómeno el aparato queda en cortocircuito y por lo tanto debe reemplazarse.

En condiciones normales, la corriente de fuga (algunos miliamperes) puede circular a través del aparato. Este aparato está conectado al suelo por medio de una tierra especial, que deriva al mismo tiempo las cargas estáticas, susceptibles de aparecer sobre la instalación cuando su resistencia de aislamiento en relación a tierra es elevada.

e) PROTECCIÓN POR PUESTA A TIERRA.

Es necesario recurrir a esta disposición solo en los casos siguientes cuando la puesta al riel no es posible y concierne a las vías aisladas en los dos hilos de rieles distintos a los equipados con circuito de vía tipo UM71.

PROTECCIÓN COLECTIVA DE SOPORTE DE CATENARIAS A PLENA VÍA.

En este caso es necesario hacer notar que la puesta a tierra individual de los soportes de catenaria está prohibida no importe cual sea el valor de la resistencia de esta tierra.

PUESTA DE LA TIERRA.

La puesta a tierra están constituidas por dos tubos de acero de 40 mm. de diámetro, enterradas en el suelo a una profundidad de 3 m.

Se puede meter en serie tantos tubos como sea necesario para hacer que la tierra del conjunto sea siempre inferior a 10 ohms, en las condiciones más desfavorables.

Los soportes se ligan colectivamente al riel exterior por medio de un cable longitudinal llamado "cable de tierra".

El cable de tierra está fabricado en aluminio-acero de 93 mm². de sección, de 12.5 mm de diámetro y constituido por 7 conductores de 2.5 mm., de acero y 12 conductores de 2.5 mm. de aluminio.

Este agrupa 16 soportes como mínimo y está fijo sobre cada uno por medio de una pinza de suspensión atomizada y colocada aproximadamente a 6 m. del suelo. Su tensión es en función de la distancia interpostel y de la temperatura y es solamente igual a 400 DaN a + 15 °C.

Este cable esta seccionado con la ayuda de un aislador tipo capot con vástago en tramos de 1000 m. como máximo. Cada uno de estos tramos esta ligado directamente al riel en un punto situado sensiblemente a igual distancia de los dos aisladores.

Esta conexión se realiza por medio de un cable de cobre recocido desnudo de 75 mm². de sección, unido al riel por soldadura aluminotérmica. Este cable de tierra estando paralelo a la catenaria asta por esto, bajo el fenómeno de la inducción electromagnética y la distancia entre el punto de puesta al riel y el soporte mas alejado no debe ser superior a 500 m., medidos en longitud del cable a tierra.

El cable de tierra que agrupa los soportes situados sobre los andenes de viajeros esta puesto al riel por medio de un intervalo de descarga.

La conexión entre el cable de tierra, el intervalo de descarga y la tierra se efectúa por medio de un cable de cobre recocido desnudo de 75 mm². de sección colocado a lo largo del alma del soporte y la conexión entre el intervalo de descarga y el riel, por medio de un cable de cobre recocido de 75 mm². aislado para una tensión de 750 V.

d) CONTINUIDAD DEL CABLE DE TIERRA.

Cuando existen puntos singulares a través de los que la continuidad del cable de tierra no puede ser asegurada en forma aérea (pasos a nivel) equipados con barreras oscilantes de gran longitud, susceptibles de entrar en contacto con el cable de tierra al maniobrar estos puntos donde el cable de tierra caiga sobre la catenaria. Esta continuidad se establece en forma subterránea por medio de un cable de cobre de 70 mm². de sección, aislado para una tensión de servicio de 3000 V, colocado en un tubo aislado reservado únicamente para este efecto.

e) PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS.

De una manera general todas las estructuras metálicas (cobertizos de estaciones, marquesinas, etc.) situados cerca de la vía y susceptibles de entrar en contacto con la catenaria o de ser portadora de tensiones inducidas importantes, deben incluir una red de masa.

Esta red esta constituida por alambre de cobre desnudo de 7 mm. de diámetro ligado entre los herrajes de los equipos y eventualmente los elementos constitutivos de las instalaciones.

La red de masa esta ligada al riel o al neutro de una conexión inductiva en uno o varios puntos según la importancia de las estructuras:

- Directamente, para las estructuras metálicas no accesibles al público.
- Por medio de un intervalo de descarga, para las estructuras accesibles al público.

Los soportes y pórticos de señales son ligados a un riel no aislado o a una tierra individual y las grúas hidráulicas a un riel no aislado o a una red de masa de otras estructuras no sostenidas por la catenaria.

Para los soportes de señales, casetas de señalización, barreras de pasos a nivel, palancas de máquinas de cambio en el campo y teléfonos de alarma que no son susceptibles de entrar en contacto con la catenaria, excepto en casos particulares ninguna ligadura al riel o a tierra debe realizarse.

Con el objeto de reducir la inducción electromagnética sobre los conductores, las casetas de señalización incluyen una puesta a tierra de las cajas de los extremos y del chasis, cuando los cables son armados y empalmados.

CONCLUSIONES

La utilización de la energía eléctrica para la tracción ferroviaria demuestra grandes ventajas en comparación con otro medio de energía que se vanía usando dentro de Ferrocarriles Nacionales de México. La utilización de Corriente Alterna (C.A.) marca un cambio en la modernización de estos ferrocarriles, entrando a una tecnología nueva dentro del transporte ferroviario en México, este cambio es para mejorar el uso eficiente de la energía, la capacidad y velocidad de transporte, la disponibilidad de fuerza tractiva que a consecuencia trae una gran ventaja en el aspecto económico.

Se decidió utilizar un sistema monofásico a frecuencia comercial en lugar de un sistema de C.D. debido a que tiene mayores ventajas en cuanto a eficiencia y costos de las instalaciones, haciendo una comparación de estos dos sistemas se observa las cualidades de cada uno.

Instalaciones Fijas	Sistema Monofásico a Frecuencia Comercial	Sistema de Corriente Directa
Subestaciones	Costos de construcción baja. a) El intervalo entre subestaciones es grande. b) Solo transformadores son necesarios, lo que simplifica el esquema de la subestación.	Costos de construcción alto. a) Intervalo entre subestaciones es corto, por tanto numerosas subestaciones son necesarias. b) Equipos de conversión de C.A. a C.D. es necesario lo que hace complejo el esquema de la subestación
Tensión de alimentación	Como los transformadores van montados en las locomotoras, la alta tensión puede ser utilizada. Esto hace que la selección del motor eléctrico de tracción sea más fácil.	La tensión de alimentación está limitada por el aislamiento y la conmutación del motor
Línea de contacto	La corriente es pequeña, por tanto poca cantidad de cobre es necesaria y la estructura de la	La corriente es grande por tanto gran cantidad de cobre es necesaria y la línea debe ser

	línea simple,	sostenida por una pesada estructura.
Caída de tensión	La caída de tensión puede ser compensada fácilmente poniendo las catenarias en paralelo	Para prevenir la excesiva caída de tensión, alimentadores adicionales, puestos de seccionamientos y subestaciones son necesarias
Protección	El equipo de protección es simplificado debido a la pequeña corriente de tracción y a la facilidad de discriminar la corriente de falla.	El equipo de protección es complejo debido a la gran corriente de tracción y a la dificultad en la interrupción selectiva de la corriente de falla.
Desbalanceo de fases	Debido a la carga monofásica, la fuente trifásica esta sujeta a un desbalance.	La fuente de energía no esta sujeta a desbalanceo de fases.

El uso de una Subestación Eléctrica de Tracción se justifica cuando se presenta la necesidad de un servicio continuo de energía eléctrica a tensión adecuada y de un medio de desconexión manual o automática para efectos de control, protección, medición y mantenimiento.

Dentro del Circuito de Tracción de Ferrocarriles Nacionales de México las Subestaciones Eléctricas de Tracción cumplen con la función de alimentar las líneas de tracción eléctrica (Catenaria) transformando la energía que recibe por las compañías suministradoras con las condiciones requeridas para el óptimo funcionamiento del Sistema Ferroviario Electrificado.

Con el propósito de permitir mayor flexibilidad al sistema en caso de falla; las Subestaciones Eléctricas de Tracción, los Puestos de Seccionamiento y los Puestos de Subseccionamiento que están a lo largo de la doble vía electrificada México-Querétaro, su diseño permite que el equipo de interrupción pueda realizar maniobras sin afectar las circulaciones eléctricas. Estas instalaciones también sirven para mantener la tensión dentro de los rangos establecidos para el buen funcionamiento del sistema evitando con esto que haya pérdidas por caída de tensión.

Por las razones de explotación y mantenimiento, las Catenarias están distribuidas en un cierto número de tramos pudiendo ser aislados eléctricamente unos de otros. Pudiendo así suprimir la tensión sobre una porción de la línea, en caso de accidente o mantenimiento.

La línea aérea de distribución (Catenaria) tienen la tensión requerida para el mejor rendimiento de la locomotora eléctrica (25000 volts C.A., 60 Hz.), está diseñada para resistir cambios climatológicos sin sufrir modificaciones en cuanto a sus características eléctricas, mecánicas y estructurales.

La nueva locomotora eléctrica combina potencia de alta tecnología y circuitos de control con tecnología comprobada de Norteamérica. Alto factor de potencia, rendimiento generalizado y vide útil, esfuerzo tractivo, son obtenidos sin comprometer la confiabilidad y mantenimiento.

Esta locomotora está diseñada para los servicios de carga y pasajeros característicos de los ferrocarriles mexicanos y de Norteamérica en general. Se trata de una locomotora con cabina en ambos extremos, que desarrolla una potencia máxima de 6980 HP y una potencia continua de 5900 HP en la vía. La locomotora utiliza muchos componentes de norma que se encuentran en las locomotoras Diesel-Eléctricas G.E. de alta potencia.

Este tipo de locomotoras eléctricas están equipadas con freno dinámico en el cual los motores de tracción son convertidos en generadores durante esa operación, por este tipo de funcionamiento son muy útiles y eficientes este tipo de locomotoras.

Por ser un transporte que no altera las condiciones del medio ambiente el lo que se refiere a contaminación y ruido, es necesario que se diseñen proyectos mejores para para aumentar este tipo de tecnología a lo largo de todo el territorio nacional, para así poder tener un transporte ferroviario más eficiente y cómodo.

Esto se trato de hacer en un principio, donde el proyecto original contemplaba la electrificación de México a Irapuato, pero debido a los incorrectos manejos del presupuesto para este proyecto solo se pudo construir el tramo México - Querétaro que realmente no representa una gran ventaja económica al ser un tramo tan pequeño, pero si tomáramos un poco de conciencia nos daríamos cuenta que esta tecnología debemos de aprovecharla para llegar a estar a niveles de excelencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Beer y Johnston: *Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática*, Tomo I, Editorial Mc Graw Hill, 1981.
2. Chester L. Dawes: *Tratado de Electricidad Corriente Continua*, Tomo I, Editorial G. Gili S.A., 8ª Edición 1983.
3. General Electric: *Class E-60C Electric Locomotive (Road Numbers EA001 - EA039)*, National de Mexico, Operators Manual.
4. General Electric: *Electric Locomotive Instructions*, Vol I December 1988.
5. General Electric: *Electric Locomotive Instructions*, Vol II y Vol III, December 1987.
6. Georges Demiam: *Modern Railway Track*, Editions de la Capitale, Second Edition, Décembre 1969, France.
7. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: *Catenarias*, Ferrocarriles Nacionales de México.
8. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: *Detección y Corrección de Fallas*, Ferrocarriles Nacionales de México.
9. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: *Equipo de Alto Voltaje y Potencia*, Ferrocarriles Nacionales de México.
10. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: *Equipo Electrónico Rotatorio*, Ferrocarriles Nacionales de México, 1993.
11. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: *Generalidades de Locomotoras Eléctricas y Taller*, Ferrocarriles Nacionales de México, 1993.
12. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: *Mantenimiento de Catenarias I y II*, Ferrocarriles Nacionales de México.

13. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: Operación de Subestaciones Eléctricas I y II, Ferrocarriles Nacionales de México.
14. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: Transformadores, Interruptores y Seccionadores de Potencia, Ferrocarriles Nacionales de México.
15. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: Vías Electrificadas, Ferrocarriles Nacionales de México, 1995.
16. Instituto de Capacitación Ferrocarrilera: Vía Elástica, Ferrocarriles Nacionales de México, mayo 1995.
17. José Raúl Martín: Diseño de Subestaciones Eléctricas, Editorial Mc Graw Hill, 1987.
18. P. Salducci: Cálculos de Catenarias, Sofrerail (área catanaria), 1990.
19. Roger sonneville: Vingt Années D'Expérience de la Voie Élastique, Editions de la Capitelle, septembre 1967, France.
20. Sistem S.N.C.F.: Revue Générale des Chemins de Fer French Railway Techniques, Publisher Dunod Paris.
21. Sofrerail México: Lignes Électrifiées en Courant Alternatif Monophasé, S.N.C.F. 1990 Paris.
22. Union Switch and Signal Inc.: Description, Operation and Maintenance Impedance Bonds, Electric Switch machines, september 1981 U.S.A.