



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales "ARAGON"

96

PROPUESTA DE SEÑALIZACION PARA EL TREN
ELECTRICO MEXICO-QUERETARO

Sist. 40559

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
P R E S E N T A
LUIS ARMANDO OROZCO ORNELAS

ASESOR: ING. LIZBETH ORTEGA LARA

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEX.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

ESTA TESIS FUE ELABORADA BAJO LA
DIRECCION DE LA ING. LIZBET ORTE
GA LARA, A QUIEN HAGO PATENTE MI
AGRADECIMIENTO.

A PT ESCUELA

A PT MADRE

C O N T E N I D O

I	GENERALIDADES	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Ventajas y desventajas de un sistema electrificado	4
1.3	Justificación del sistema por electrificar	9
1.4	Línea férrea electrificada México-Querétaro	13
1.5	Descripción del sistema de señalización	15
1.6	Estudios Técnicos	17
II	SISTEMA DE SEÑALIZACION	
2.1	Introducción	21
2.2	Sistema de Block Automático (ABS) e Intervalos de trenes	22
2.3	Capacidad de vía	28
2.4	Circuito de vía	32
2.5	Señalización en cabina y control continuo de sobrevelocidad	54
III	CONTROL DE TRAFICO CENTRALIZADO	
3.1	Introducción	66
3.2	Funciones del sistema de control	69
3.3	Sistema de reporte de operaciones	79
3.4	Hardware del sistema de cómputo	86

IV	TELECOMUNICACIONES	
4.1	Introducción	100
4.2	Composición de las líneas de transmisión	101
4.3	Comunicación por fibra óptica	113
4.4	Servicios de telecomunicaciones de la nueva red férrea electrificada	120
4.5	Sistema de Transmisión de Datos (STD)	124
V	SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL DE LA ALIMENTACION	
5.1	Función	133
5.2	Grupo Electrógeno	135
VI	INSTALACION Y PUESTA EN OPERACION DEL SISTEMA DE SEÑALIZACION	
6.1	Introducción	158
6.2	Inducción en cables de señalización y telecomuni- caciones	158
6.3	Retorno de la corriente de tracción	176
6.4	Efectos de la corriente de alimentación en el equipo de señalización y telecomunicaciones	180
6.5	Sistema de tierras y protección	186
	CONCLUSIONES	193
	APENDICE A	198
	APENDICE B	205
	APENDICE C	210
	BIBLIOGRAFIA	215

I N T R O D U C C I O N

La implantación de cualquier tecnología nueva requiere del conocimiento profundo del mismo con el objeto primordial de lograr una óptima utilización e implantación, lo que como consecuencia lógica traería la obtención de todos los beneficios que brinda dicha tecnología.

La capacitación del personal operativo dentro de la electrificación ferroviaria en corriente alterna debe ser minuciosa ya que se manejan altos voltajes, los cuales pueden ser mortales si no se tiene la debida precaución.

La buena operación del sistema electrificado depende básicamente de dos factores:

- a) Profundo conocimiento del sistema
- b) El concurso de todo el elemento humano

Por lo tanto, resulta de vital importancia el hecho de que la gente por capacitar tenga la disponibilidad de aprender.

En cuanto al tema de Tesis se refiere, la señalización para equipar los tramos de vía tiene las siguientes funciones:

- 1) Ser insensible a los diversos tipos de inducción así como a la influencia de la corriente eléctrica de tracción.
- 2) Comandar los itinerarios de trenes.

- ') Velar por la seguridad de las circulaciones vigilando la ejecución del programa de tráfico.
- ') Intervenir activamente en caso de accidente o incidente importante para un retorno rápido a la normalidad mediante el bloqueo de las áreas afectadas y proporcionando las posibles rutas alternativas dentro de la doble vía electrificada.

Por otro lado, las telecomunicaciones juegan un papel muy importante en la operación de la línea, puesto que su equipo permite enlazar los diversos equipos de señalización así como mantener una red de comunicación (voz y datos) entre el centro de control y la línea.

Finalmente, la introducción del nuevo servicio hace que otros aspectos sean mejorados dentro del ferrocarril. Por ejemplo, el manejo del flete, es inútil mover el flete más rápidamente si el tiempo ganado es perdido en el ciclo de descarga y carga del mismo; asimismo, los horarios de trenes deben mejorarse para lograr un máximo beneficio. Con esto, se incrementará la confianza tanto en los usuarios como en el personal del ferrocarril.

La experiencia ha demostrado (Francia y Japón) que la nueva tecnología aliada con el crecimiento, no solamente incrementa la productividad, sino que también puede ser usada para mejorar métodos de trabajo y condiciones del mismo.

C A P I T U L O

I

G E N E R A L I D A D E S .

1.1 Antecedentes.

El origen de la tracción eléctrica, la cual fue en corriente directa, data de 1879 cuando en Berlín funcionaron los primeros tranvías eléctricos y en 1894, los ferrocarriles eléctricos. La primera tracción eléctrica mediante corriente alterna trifásica se realizó en Suiza en 1901 Francia llevó a efecto la electrificación de las primeras redes de ferrocarriles sub-urbanos al sur de París con corriente continua a 600 (V) y las primeras líneas de metro a principio del siglo, pero rápidamente aparecieron las limitaciones de la corriente continua a baja tensión. Tales limitaciones son:

- ') Debido a la potencia que se requiere para el movimiento del tren, se nos presentarían corrientes muy grandes en la línea, lo que nos ocasionaría problemas en su recolección.
- ') Por otro lado, no se pueden manejar grandes potencias en corriente directa.
- ') La distancia de distribución se reduce debido a la caída de tensión en los cables conductores (muy gruesos).

Con la puesta a punto, poco después de 1900, del transformador y de los motores de corriente alterna trifásicos a baja frecuencia, de potencia suficiente, se logra

ron resolver los problemas causados por la corriente continua a baja tensión.

Los ferrocarriles italianos fueron los precursores en Europa de la utilización de las redes trifásicas. Dos fases eran alimentadas por dos catenarias distintas, la tercera a través del riel.

Hacia 1910, un nuevo paso se superó con los primeros ensayos de motores monofásicos a baja frecuencia (16 2/3 y 25 Hz) pero de potencia todavía limitada, dentro -- del orden de 100 Kw. Se trató de motores para autovía y -- así se realizó la electrificación de la línea Perpignan a Villefranche (Pirineos-sur) a 12 (KV) en corriente alterna y a 16 2/3 Hz.

Hasta la primera guerra mundial, las realizaciones de tracción eléctrica tenían un carácter local, un cuadro muy limitado, ya que al electrificar una línea era construir desde las locomotoras hasta producir localmente la corriente eléctrica necesaria; era el mismo problema que si deseáramos electrificar un pueblecillo en el desierto, uno escoge la naturaleza y las características de corriente que mejor permitan construir una locomotora eléctrica. La corriente eléctrica se "fabricó" a la medida y en el -- propio lugar, puesto que en aquella época, la distribu-- ción de corriente no estaba tan desarrollada.

La electricidad se aplica para solucionar los problemas que la tracción a vapor es incapaz de resolver, total o parcialmente (líneas de montaña con fuerte pendiente y de numerosos túneles o líneas sub-urbanas). La no-- ción de rentabilidad económica no era tomada en cuenta.

Las subestaciones alimentadas por corriente alterna suministrada originalmente por centrales hidroeléctricas o térmicas propiedad de los ferrocarriles fueron conectadas más tarde a la red de alta tensión siendo explotadas bajo el régimen de interconexión. Esta enorme ventaja provocó que la electrificación no se orientase hacia la corriente alterna de 16 KV y 16 2/3 Hz ya que ésta exige líneas de alta tensión especializadas, las cuales son muy costosas debido a las diferencias de frecuencia entre la red de distribución (60Hz) y el sistema ferroviario a electrificar. Es así que en 1950 nace efectivamente la tracción eléctrica monofásica a 25 KV y a frecuencia industrial, cuyos inicios datan de 1936 cuando los alemanes hicieron los primeros ensayos con este tipo de tracción. Es así que a partir de entonces su uso se ha propagado cada vez más, llegando definitivamente a México en 1982.

Por otro lado, el volumen de carga que se tiene que transportar en México, año con año va aumentando debido al desarrollo que se va teniendo, lo que origina que se saturen las líneas debido a los bajos niveles de velocidad y a las restricciones que permite la operación de una vía sencilla, lo cual es palpable en el centro del país, en donde además observamos que se crean congestiones provocados por el incremento de tráfico a los ya insuficientes patios de clasificación que se tienen, ocasionando así, un cuello de botella.

La línea México-Querétaro es una de las más densamente cargadas dentro de la red nacional de ferrocarriles

y la línea entre Ahorcado y San Luis Potosí, la cual está interconectada con la primera, maneja tráfico con carga - de todo tipo, productos agrícolas, petróleo, minerales y productos manufacturados entre Estados Unidos y el norte del país con la gran conglomeración que representa el Valle de México. Actualmente, se utilizan locomotoras diésel como medio de fuerza motriz para trenes de pasajeros y de carga y este tipo de locomoción se ha mantenido por mucho tiempo, sin embargo, la creación de una línea electrificada, resolvería los problemas que existen y además dejaría sentadas las bases para la electrificación de todo el sistema ferroviario existente en el país.

El problema global de electrificación ferroviaria entre México y Querétaro incluye la construcción de subestaciones y catenaria, la instalación de modernos sistemas de señalización y telecomunicaciones, netos de clasificación y estaciones entre ambas ciudades para poder soportar el tráfico que día a día se incrementa y por otro lado, ser un elemento importante en la solución del problema de cuello de botella antes mencionado.

1.2 Ventajas y desventajas de un sistema electrificado.

Las ventajas que represente tener un sistema ferroviario electrificado en comparación con otras formas de fuerza motriz son:

1.2.1 Costos bajos de mantenimiento

La experiencia sobre la operación del sistema ferroviario operado tanto por diésel como por corriente al-

terna nos dice que el costo de mantenimiento por Km. (kilómetro) en las máquinas eléctricas es aproximadamente un tercio del costo de mantenimiento de las locomotoras diesel. La principal razón de esta diferencia estriba en que las locomotoras eléctricas son mucho menos complejas y requieren menor atención, ya que las locomotoras diesel llegan a tener hasta 3000 piezas móviles en la sección de diesel incluyendo el motor, auxiliares, bombas de gasolina, de aceite y de agua, etc. Además existen filtros y sellos, los cuales requieren de un mantenimiento de rutina y reemplazo periódico.

El carro es el mismo básicamente para la tracción eléctrica y diesel, con un bastidor, cuerpo, equipo de control, trucks, motores de tracción, compresores de aire y fuelles. Para producir una locomotora eléctrica, todo lo que se necesita es agregar los elementos necesarios para tomar la corriente y convertirla, lo cual incluye un pentógrafo, transformador, reactor y una unidad de conversión de potencia de estado sólido. Este equipo es relativamente simple, de fácil mantenimiento y la mayor parte de los componentes son estáticos.

El progreso de la electrónica en el estado sólido, especialmente con el uso de los tiristores de potencia, diodos, controles estáticos, etc., no solamente ha aumentado las ventajas de las locomotoras eléctricas sino que con un mayor volumen de producción se genera un ahorro en la construcción de las mismas.

1.2.2 Disponibilidad

El menor tiempo requerido de mantenimiento para las locomotoras eléctricas, debido al mecanismo menos complejo y la necesidad de menor atención significa que su disponibilidad para dar servicios es mayor. Agregando a esto que las locomotoras diesel requieren ser llenadas de combustible diariamente y visitar el taller de mantenimiento cada 3 o 4 días y las locomotoras eléctricas pueden permanecer en servicio 14 días sin ingresar al taller de reparación, se concluye que dichas locomotoras ofrecen un mejor servicio sin necesidad de tanto cuidado.

1.2.3 Confiabilidad

La experiencia en otros países nos indica que las fallas en tráfico de las locomotoras eléctricas es menor del 50% que las fallas de las locomotoras diesel.

1.2.4 Tamaño de la flotilla

La locomotora eléctrica puede ser fabricada para desarrollar dos o tres veces la relación de fuerza continua de la máquina diesel.

Cuando la locomotora está arrastrando cargas pesadas es capaz de manejar potencias por corto tiempo del orden de dos veces la potencia continua debido a la capacidad térmica de los aparatos eléctricos. Las unidades eléctricas cuando arrastran cargas pesadas en pendiente ascendente, pueden hacer mejor uso de este corto tiempo, demandando más corriente desde el suministro y entonces subir la colina más rápido. Esto no es posible con las locomoto

ras diesel, las cuales están limitadas a la potencia del motor instalado. En una vía con pendientes ascendentes se pueden obtener tablas de tiempo más rápidas con el uso de locomotoras eléctricas que con las diesel. Las locomotoras eléctricas son más caras que las diesel, pero el costo actual de flotilla puede ser menor, debido al número reducido de locomotoras requeridas. Un análisis previo para la línea México-Querétaro mostró que la flotilla de locomotoras eléctricas necesarias sería 2/3 del tamaño de la flotilla de locomotoras diesel.

1.2.4 Capacidad de la línea

Las grandes velocidades de las locomotoras eléctricas, especialmente en áreas montañosas donde existen pendientes, pueden incrementar el tráfico en las líneas que estén cerca de la saturación y evitar gastos innecesarios en mejorar la vía o en construir nuevas.

1.2.5 Vida económica

La vida útil esperada de una locomotora eléctrica es el doble que la de una diesel. Desde el punto de vista general, la vida económica aceptada es de 30 a 40 años, contra la vida de una locomotora diesel que es de 15 a 20 años.

1.2.6 Fuente de energía

La locomotora diesel es como su nombre lo indica, dependiente totalmente del petróleo y sus derivados. La -

locomotora eléctrica usa energía que puede ser nuclear, - derivada del carbón, fuerza hidroeléctrica, etc.; esto - permite a una nación ser menos dependiente de los derivados del petróleo o usarlo para otras necesidades.

Empero, como cualquier otro sistema, éste también tiene sus desventajas, las cuales son:

1.2.7 Costo inicial elevado

El desaliento para iniciar la electrificación es - el alto costo requerido para la instalación del sistema - de suministro, inmunización de la señalización y equipo - de telecomunicaciones.

1.2.8 Riesgos eléctricos

Estos riesgos están latentes tanto en las personas que trabajan en el tren como en los pasajeros que tienen contacto con éste. Este problema es superado dando adecuada atención a la investigación en las etapas iniciales de la electrificación, al efecto de interferencia, aterrizamiento y uniones; todo esto se ve con mayor detalle en - 1.6 "Estudios Técnicos", al final del capítulo.

1.2.9 Efecto en los servicios durante el mantenimiento.

La ocupación de la línea por la cuadrilla de trabajadores y la reducción de la velocidad normal de operación de tráfico tiene la desventaja de disminuir la capacidad de servicio durante el tiempo que tardan las obras de mantenimiento: en líneas de tráfico pesado, este trabajo se tiene que hacer en la noche o en el fin de semana - para reducir el problema. De aquí que la planeación cuidadosa del mantenimiento en coordinación con el departamen-

to de operaciones férreas sea necesaria para que ni el -
servicio ofrecido por el tren ni el mantenimiento hecho -
al equipo se vean afectados grandemente.

1.3 Justificación del sistema por electrificar.

La tecnología actual ofrece los siguientes grupos principales de sistemas de electrificación ya probados en el mundo:

*) Sistemas de corriente directa

- 750 V Riel conductor
- 1500V Conductor superior

*) Sistemas de corriente alterna

- 15 KV Baja frecuencia
- 25 KV Frecuencia industrial
- 25-0-25KV Frecuencia industrial
- 50 KV Frecuencia industrial

Otros métodos de electrificación férrea han sido -
propuestos o intentados, pero los sistemas anteriores y -
algunas variantes de los mismos representan los equipos -
de electrificación más extensamente usados y en servicio -
en todo el mundo.

1.3.1 Sistemas de corriente directa

Los sistemas de corriente directa son extensamente usados en todo el mundo y el sistema de corriente alterna a 15 KV y 16 2/3 Hz es común en Europa. Sin embargo, la -
mayoría de las electrificaciones en las líneas nuevas o -
trabajos recientes a sistemas existentes están siendo lle -
vados a cabo a frecuencia industrial. Actualmente, las -

aplicaciones del sistema de corriente directa están confinadas principalmente a líneas urbanas subterráneas, donde los problemas de gálibo en túneles provocarían que el sistema de conducción superior fuera muy caro.

En vías de superficie es necesario tomar precauciones por seguridad, ya sea cercando la vía o apantallando el riel conductor.

Por otro lado, la electrificación de corriente directa con conductor superior está en uso en muchas partes del mundo y el servicio ahora abandonado de la línea México-Veracruz fue de este tipo, energizado a 3000 volts. El rango de funcionamiento es aumentando usando conductores superiores para distribuir voltajes más altos a los trenes. La simplificación en el diseño comparado con el sistema de riel conductor, ha superado el problema de las velocidades más altas, rutas más largas y el tráfico remolcado por locomotoras.

El problema que se presenta en los sistemas de 1500/3000 V_{CD} es que existen altos niveles de corriente del orden de 3000 amperes debido a trenes de carga pesada o trenes de pasajeros rápidos y por lo tanto, la recolección de la corriente del pantógrafo es más difícil, particularmente para velocidades superiores a 150 Km/hr. Otro problema es que el espaciamiento de las subestaciones mayores de 750 V_{CD} sea más corto de lo que resulta conveniente para la Comisión Federal de Electricidad (CFE), por lo que podría requerir de la construcción de una red de transmisión dedicada exclusivamente al sistema.

1.3.2 Sistemas de corriente alterna

Las limitaciones en el diseño de los dispositivos de distribución para cargas de corriente directa a voltajes superiores de 3000 V y el avance de la ingeniería - que permitió la transferencia de los rectificadores de la subestación a la locomotora, condujo a la introducción de los sistemas de catenaria de corriente alterna a frecuencia industrial. Las ventajas de utilizar voltajes más altos son el de tener arreglos más flexibles y en muchos casos se puede hacer coincidir el punto de alimentación comercial con el del ferrocarril, reduciendo por lo tanto la necesidad de líneas de transmisión costosas entre la red alimentadora comercial y el tren.

Los primeros días de este siglo vieron la adopción de la baja frecuencia ($16 \frac{2}{3}$ Hz y/o 25Hz) y voltajes altos (11 KV y/o 15 KV). Esta frecuencia permitió el uso, a través de transformadores a bordo, de motores conmutados a voltaje medio con cambiadores de taps para el control de velocidad. La energía fue generada en muchos casos, por los ferrocarriles en sus propias estaciones de potencia y transmitida a través de sus propias redes. Estos sistemas están todavía en uso en Europa habiéndose experimentado una modernización. Este esquema de alimentación en corriente alterna a baja frecuencia no es considerado como prospecto para nuevos proyectos debido a que se han logrado implementar otros sistemas de electrificación con mayores ventajas que éste.

De este modo, tenemos que la mayoría de los ferrocarriles alrededor del mundo utilizan 25 KV CA. La potencia es obtenida de una sola fase de carga a través de un transformador conectado al punto de alimentación de alto voltaje. Las estaciones alimentadoras están espaciadas de tal modo que las distancias entre ellas dependen de la carga, del perfil y de la configuración de la vía.

Otro tipo de distribución, el de 25-0-25 KV, emplea la transmisión efectiva a 50 KV por medio de dos alimentadores, uno de los cuales es el sistema de contacto catenaria y suministra 25 KV entre el hilo de contacto y el riel mediante autotransformadores. Esto permite el uso de locomotoras estándar a 25 KV con perfil de voltaje mejorado para aplicaciones de alto rendimiento pero con un gasto adicional por los autotransformadores y una mayor complejidad del sistema de alimentación de catenaria ya que los transformadores están espaciados 10 Km aproximadamente, con estaciones alimentadoras colocadas más o menos a 70 Km entre sí. La aplicación del sistema de autotransformadores parece ser, por lo tanto, confinada a rutas de alta velocidad para pasajeros tales como la línea Shinkansen en Japón.

Mientras que la electrificación a 25 KV en corriente alterna ha sido adoptada desde hace muchos años como la estándar, actualmente se ha puesto más atención a las ventajas ganadas por el mayor espaciamiento de estaciones alimentadoras, lo cual es de importancia económica donde los puntos de alimentación de la red comercial no son fa-

cilmente disponibles. Esto se logra mediante el uso del sistema de 50 kV de corriente alterna. La adopción de este voltaje en aquellos lugares del mundo donde el galibio no tiene restricciones (no hay túneles, las vías no están muy juntas, etc) ha ido progresando especialmente para el arrastre de carga muy pesada.

Teniendo como base todos los sistemas mencionados antes, llegamos a la conclusión de que la electrificación a 25 kV en corriente alterna y una sola fase es la más -- conveniente para México.

1.4 Línea férrea electrificada México-Querétaro

Actualmente se construye una nueva línea ferroviaria de doble vía entre México y Querétaro cuya extensión total por electrificar será de unos 515 Km. y que además de la doble vía incluye estaciones, patios y laderos. Se escogió este primer tramo debido a los niveles de tráfico que se tienen y que por razones de diseño se ha dividido en dos tramos, México/Huehuetoca y Huehuetoca/Querétaro.

Para el primer tramo está previsto utilizar las dos vías únicas actuales, A y B entre la terminal Buena--vista y Lechería ya que así se puede obtener una explotación del tiro doble vía, con posibilidades de pasos en -- contrasentidos, facilitados por el hecho de que en esta -- zona, los trazos están muy próximos y juntos entre ellos por las numerosas comunicaciones. Por el contrario, el trazo general de la vía no puede mejorarse en razón de la existencia de numerosos puntos obligados en la zona urba--

na.

Entre Lechería y Huehuetoca, las dos vías A y B, están relativamente alejadas una de la otra y la nueva línea estará construida siguiendo el trazo de la actual vía B pero doblada por una vía nueva.

Para el segundo tramo, Huehuetoca/Querétaro, una nueva línea de doble vía, de trazo y perfil netamente mejorados está en construcción para sustituir a las dos líneas de vía única existentes. Los trabajos se realizan activamente y ya una parte del trazo nuevo se está utilizando.

La línea nueva será explotada en doble vía y su capacidad será sensiblemente mejorada. Por lo tanto, las perspectivas de desarrollo del tráfico llevan a prever un cierto número de vías de libramiento (destinadas a permitir en particular a los trenes de pasajeros rebasar a los trenes de carga) y de comunicaciones de paso en contrasentido (para afrontar las consecuencias de los incidentes y facilitar la ejecución de los trabajos de mantenimiento).

Por la razón anterior, es que vamos a tener unos aparatos que nos permitan pasar de una vía a otra o bien, permitir un desvío en la ruta normal del tren. Estos aparatos son llamados "agujas", los que en vía directa son franqueables sin limitación de velocidad y en vía desviada las agujas son franqueables a:

*) 30 Km/hr para las agujas de vías de servicio de las estaciones, así como para los empujes particulares.

') 69 Km/hr para las agujas de entrada y salida en los li-
bramientos de circulaciones así como para las comunica-
ciones de caso en contrasentido y para las bifurcaciones
en velocidad.

1.5 Descripción del sistema de serialización

Los subsistemas y otras facilidades que constitu-
yen el sistema de señalización son los siguientes:

- 1.- Control de Tráfico Centralizado (CTC) en Buenavista para la supervisión y control del movimiento de trenes en el tramo de Buenavista a Ahorcado, incluyendo los subsistemas de reporte de operaciones y de adscripción de trenes.
- 2.- Control de Tráfico Centralizado (CTC) en Querétaro para la supervisión y control del movimiento de trenes en el tramo de Ahorcado a Querétaro, incluyendo los subsistemas de reporte de operaciones y de adscripción de trenes.
- 3.- Sistema de Supervisión y Control del Sistema de Alimentación eléctrica para la red de subestaciones.
- 4.- Block automático para el tramo Buenavista-Querétaro con equipamiento de campo para repetición de señales en las cabinas de las locomotoras del tren con control continuo de sobrevelocidad y parada automática. Este sistema será para movimiento de trenes en los dos sentidos de circulación de cada vía.
- 5.- Todos los puestos de enclavamiento en el tramo Buenavista-Querétaro estarán provistos con equipo de -

campo para la repetición de señales en las cabinas de las locomotoras con control continuo de sobrevelocidad y parada continua.

- 6.- Detección de cajas calientes con centro de control en Buenavista y cuatro puntos de detección de campo.
- 7.- Señalización automática para 13 cruceros a nivel con señales sonoras y visuales.
- 8.- Interfaz con el sistema de señalización actual.
- 9.- Interfaces con los sistemas de telecomunicaciones, - locomotoras y subestaciones.
- 10.- Instalaciones de teléfonos y jacks.
- 11.- Instalación, pruebas y puesta en operación del sistema de señalización.
- 12.- Señales fijas para señalización automática de protección en secciones muertas del sistema de alimentación eléctrica.
- 13.- Indicaciones fijas para señalización del sistema de catenaria.
- 14.- 39 conjuntos de equipo de señales de cabina con control continuo de sobrevelocidad y parada automática - para 39 locomotoras de dos cabinas cada una.

Todos los puntos anteriores son vistos con detalle

en los capítulos 2 y 3.

1.6 Estudios Técnicos

La buena operación de un sistema ferroviario electrificado a 25 kV CA no sólo depende del diseño, instalación y mantenimiento correcto de cada uno de los sistemas y subsistemas, sino también de manera importante de sus interacciones y de la atención que se le preste a éstas con otras instalaciones en el radio de afectación de la electrificación.

A continuación se describen los estudios técnicos necesarios indispensables para que la vía electrificada pueda operar eficientemente y con seguridad:

1.6.1 Sistema de suministro de energía

Como ya han sido determinadas las características principales del sistema de energía de 25 kV (apartado 1.3) es recomendable que se estudie el efecto de la carga eléctrica de la vía electrificada para asegurar que los efectos de desbalanceo y distorsión armónica producidos por la conexión entre el sistema de 25 kV y la red de CFE sean mínimos, así como para proveer una fuente de energía confiable.

1.6.2 Estudios de enlace y aterrizaje

Un sistema ferroviario electrificado a 25 kV CA requiere de un aterrizaje eficiente así como toda estructura metélica expuesta debe ser enlazada para proteger debidamente al público y al personal de los ferrocarriles así

como al equipo.

1.6.3 Efectos de resonancia en un sistema de tracción a corriente alterna

El reciente desarrollo de sistemas electrificados para ferrocarriles de carga de dos o mas locomotoras con circuitos de energia controlados por tiristores ha traído consigo el problema de resonancia armónica acompañado de la generación de sobrevoltajes peligrosos.

Debido a la combinación de corrientes de alta energía y alta armonía que se originan por los cambios fre--cuentes de los tiristores da lugar a un efecto de resonancia en línea. Esta resonancia es el tema de estudios especiales tendientes a evitar fallas por sobrevoltaje en lo-comotoras y equipo.

La experiencia en Sudáfrica y más recientemente en Zimbabwe y Brasil, ha demostrado que pueden ocurrir sobrevoltajes inaceptables si no existe el equipo especializado que lo impida. Especificamente en Zimbabwe, el estudio mostró sobrevoltajes arriba de 100 kV. Adicionalmente, - las locomotoras de tiristores que emplean conmutación forzada para obtener factores de potencia altos, también producen muy altos sobrevoltajes debido a este tipo de operación. Las locomotoras electricas para el proyecto de electrificación mexicano corresponden a estas especificacione nes.

1.6.4 Estudios de Interferencia

El efecto que tiene un sistema de electrificación de 25 kV CA suministrada por catenaria, es que se inducen

corrientes eléctricas en el equipo del ferrocarril, las -
cuales pueden crear los siguientes problemas:

- ') Voltajes de nivel peligroso que aparecen en los rieles y en las estructuras metálicas expuestas y que por lo - tanto, implican un problema de seguridad para el público y el personal del mismo ferrocarril.
- ') Voltajes de nivel peligroso e interferencias eléctricas (ruido) que aparecen en las líneas de telecomunicaciones y señalización.
- ') Interferencia en la corriente de operación del equipo de señalización a lo largo de la vía, debido a la corriente alterna y a las oscilaciones momentáneas de corriente en las vías.

1.6.5 Sistema Auxiliar de Energía

Aun cuando el diseño de un sistema de distribución de este tipo no es complejo ni requiere de especialista - el determinar si la operación de la vía electrificada no interferirá en el funcionamiento del sistema auxiliar en lo que se refiere a estabilidad de voltaje, interferencia y seguridad , sí requiere de especialistas y es considerablemente complejo. El equipo que se encuentra a lo largo de la vía (por ejemplo, señales) y que se alimenta del -- sistema auxiliar sólo opera dentro de ciertos límites de voltaje y frecuencia. Si éstos límites se exceden, el e-- quipo puede ser dañado o bien dejar de operar, por lo que una interrupción en la operación del ferrocarril sería - muy costosa, desde el punto de vista de ingresos como del de reparaciones.

Las medidas que se tengan que tomar como consecuencia de estos estudios deberán ser implementadas antes de que la vía electrificada entre en operación ya que las modificaciones que se lleguen a hacer al sistema una vez en funciones, resultarán más problemáticas y costosas.

Los parámetros que sirvieron de base para el diseño del sistema ferroviario electrificado se incluyen en el primer Apéndice de este libro.

C A P I T U L O

II

SISTEMA DE SEÑALIZACION

2.1 Introducción

La función primordial del ferrocarril electrificado es la de transportar el mayor número de pasajeros y mover la máxima carga posible en un horario preestablecido y con el mayor índice de seguridad. Para esto, la operación de una línea cuenta con sistemas de control como la señalización y las telecomunicaciones.

El sistema de señalización es el subsistema más importante de los que componen la electrificación ferroviaria dado que va a proporcionar la seguridad necesaria y el control adecuado del tren eléctrico. Este sistema es también el más complejo y costoso de todos los demás.

El sistema de señalización tiene como objeto mantener la seguridad en el recorrido de los trenes en las líneas de la red electrificada, restringiendo la autorización de circulación y de velocidad bajo ciertas condiciones de operación y dependiendo del estado general de las líneas.

Las funciones fundamentales de este sistema son las siguientes:

- 1) Proteger la circulación de los trenes sobre la misma vía y el mismo sentido, todo posible alcance entre el-

los, independientemente del código de marcha utilizado, - así como para evitar cualquier incidente contrario a la - seguridad en el movimiento de los trenes en las zonas de maniobras.

') El movimiento telemandado o local de los aparatos de vía guardando siempre todas las condiciones o enclavamientos eléctricos y mecánicos a fin de evitar cualquier riesgo de colisiones o descarrilamientos en los movimientos de los trenes.

2.2 Sistema de Block Automático (ABS) e Intervalos de Trenes.

La sección de vía que puede ser ocupada por un tren es llamada "block". Es decir, una sección entre una estación y la siguiente es tomada como un block dentro del cual únicamente un tren puede circular.

ABS es un sistema en el que el tren, por sí mismo, establece automáticamente las condiciones del block. La existencia de un tren es detectada por el circuito de vía (CDV) y las señales son indicadas en dispositivos de señales, de este modo, el número deseado de trenes puede circular entre ambas estaciones.

El sistema de block automático reduce el intervalo de tren al mínimo por lo que la eficiencia de la vía (capacidad de vía, como se designara posteriormente) puede ser incrementada.

En el sistema de block automático, entre dos trenes,

se tiene un intervalo mínimo, esto es, el lapso mínimo de tiempo en el que un tren puede ser operado varía grandemente dependiendo de la velocidad máxima, desaceleración por freno y por el sistema de indicación de señal. En cuanto al dispositivo de señal, la velocidad permitida es determinada en respuesta a los indicadores de señal tales como los aspectos rojo, amarillo, amarillo destellante y verde. El tren debe ser operado a una velocidad tal que pueda ser desacelerado con el freno manual iniciando desde que el operador ve la señal y parando justo enfrente de la misma.

Así, en casos de trenes con factores bajos de desaceleración o de los que circulan a gran velocidad, resulta necesario incrementar el número de dispositivos de señal a lo largo de la vía. La distancia entre estos dispositivos es suficiente si es más grande que la distancia requerida para reconocer la indicación de la señal; no hay problema si ésta resulta ser de varios kilómetros.

Así resulta que hay sistemas de indicación de señales de dos, tres y cuatro aspectos. Para nuestro caso particular se escogió el de cuatro aspectos ya que proporciona mayor seguridad porque para pasar de una señal a otra más restrictiva es necesario seguir la secuencia indicada antes. La tabla 2.1 muestra esto con más detalle.

Aspecto	Código de marcha(PPM) ¹	Velocidad de tren (Km/h) ²	
		pasajeros	carga
Verde	180	120	100
Amarillo destellante	120	80	60
Amarillo	75	40	20
Rojo	0	0	0

Tabla 2.1 Indicadores de señal.

La fig. 2-1 muestra la secuencia que sigue el tren en su trayectoria para llegar a paro absoluto,

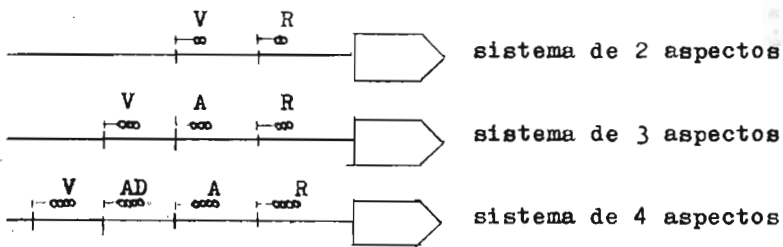


Fig. 2-1 Sistema de indicación de senales.

donde V (verde): velocidad máxima

AD (amarillo destellante): velocidad limitada

A (amarillo): velocidad restringida

R (rojo): alto

¹ PPM: pulsos por minuto existentes en el CDV.

² Esta velocidad se determina con el equipo de señalización en cabina. A lo largo de este capítulo se aclararán estos dos incisos.

Cabe hacer notar que al decir el dispositivo de señal es de cuatro aspectos, me refiero a que tiene cuatro posibles indicaciones de señal y no cuatro focos en el dispositivo. Esto es, el dispositivo de señal contiene una lámpara de 10 volts y 18 watts que puede funcionar -- con corriente alterna o directa y además contiene el juego óptico para la señalización. Este último consta de una serie de pantallas (4) que de manera electromagnética suben o bajan, cubriendo así el orificio que se tiene en el dispositivo y formando la indicación para el operador de acuerdo con las siguientes convenciones:

- ') Cuando se tenga rojo arriba y cualquier otro aspecto abajo implicará rama desviada, es decir, cruzará un aparato de vía y se desviará.
- ') Cuando se tenga rojo abajo y cualquier otro aspecto -- arriba implicará rama recta, o sea, al momento de cruzar un aparato de vía (aguja) no se desviará.

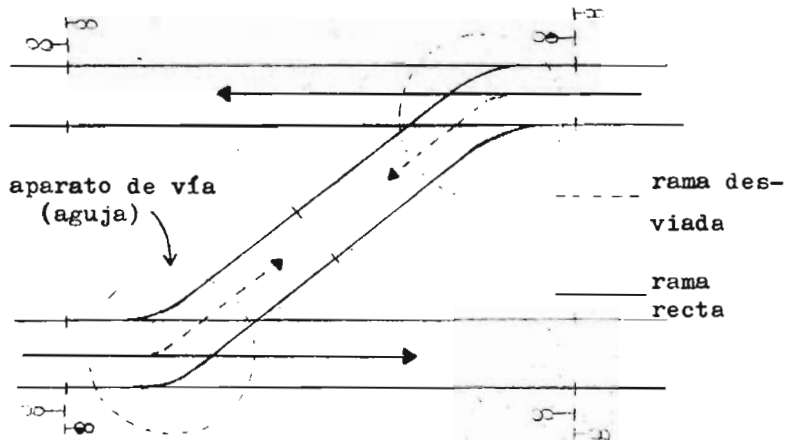


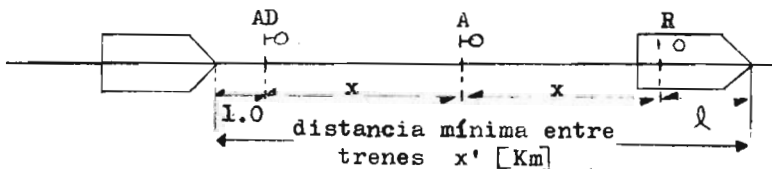
Figura 2-2. Tráfico en vía.



Fig. 2-3. Posibles combinaciones de las señales

Para el caso de trenes de pasajeros con velocidad máxima de 120 Km/h y de carga con 100 Km/h, la distancia para aplicar la indicación de la señal es de 600 m y la distancia entre los dispositivos de señal es de 1 a 1.5 Km y el intervalo mínimo entre dos trenes es de 3 a 5 minutos; valores promedio proporcionados por la SNCF (ferrocarril francés).

La relación entre el intervalo mínimo y la distancia entre dispositivos de señal para sistemas de cuatro aspectos, puede obtenerse aproximadamente por la siguiente fórmula



$$\text{distancia mínima entre trenes: } x' = 2x + l + 1 \text{ [Km]}$$

$$\text{intervalo mínimo entre dos trenes: } y = x'/v \text{ [min]}$$

$$\text{longitud del tren: } l \text{ [Km]}$$

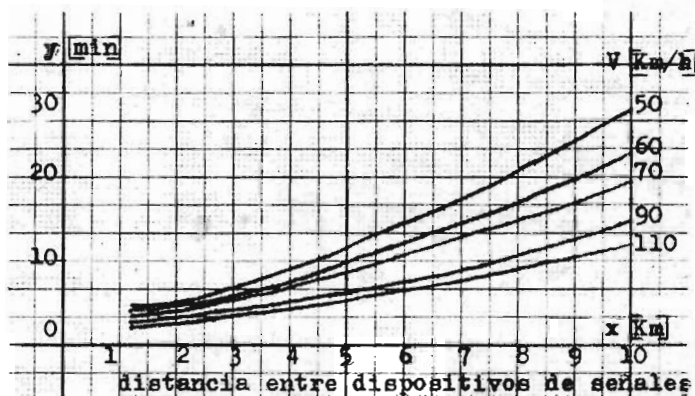


Fig. 2-4 Relación entre el intervalo mínimo de dos trenes y la distancia entre los dispositivos de señal - en el sistema de cuatro aspectos (cálculos aproximados)

Los siguientes sistemas forman el sistema de block automático:

- Sistema contador de las revoluciones por minuto (rpm) del eje que llamaremos sistema de señalización en cabina por ser más adecuado este nombre de acuerdo con las características que más adelante se describen.
- Loops de entrada y salida a zona señalizada.
- Sistema de continuidad en los circuitos de vía.

Los dos primeros son los sistemas de control de señal que detectan y memorizan el paso de trenes en la ubicación en la que están instalados los dispositivos de señal, teniéndose circuitos de control entre éstos.

El último, el sistema de continuidad en los circuitos de vía controla al dispositivo de señal, el cual, de-

tecta la existencia de los trenes. Por tanto es un sistema de seguridad más, capaz de detectar los rompimientos de la vía y otras condiciones peligrosas para la operación del tren y que provoca ponerse al rojo en el dispositivo de señal.

2.3 Capacidad de vía

Esto significa el máximo número de trenes que pueden circular en un día. La capacidad de vía depende del buen manejo de la línea, la condición del equipo, la velocidad del tren y clases de trenes, etc. Por esto, es muy difícil obtener una cifra exacta para la capacidad de vía sin embargo, generalmente se consideran entre 240 y 270 trenes para una vía doble (ambos sentidos de circulación)

A continuación se indica la fórmula para obtener la capacidad de vía y se aclara su aplicación con un ejemplo,

$$N = \frac{1440}{hv' + (r+u+1)v} \times f$$

donde,

N: capacidad de vía en un sentido

h: intervalo entre el siguiente tren de gran velocidad; el estándar es de 4 a 6 minutos.

r: intervalo mínimo necesario entre el tren de baja velocidad que previamente arribó a la estación y el tren de alta velocidad que arribó más tarde; el tiempo estándar es 3 a 4 minutos.

u: intervalo mínimo necesario entre el tren de alta ve-

locidad que previamente partió de la estación y el -
tren de baja velocidad que más tarde dejó la estación
generalmente 2.5 minutos.

v; número de trenes a gran velocidad (en porcentaje)

$$v = \frac{\text{número programado de trenes a gran velocidad}}{\text{número programado de trenes en un sentido}}$$

v': número de trenes a baja velocidad (en porcentaje)

$$v' = \frac{\text{número programado de trenes a baja velocidad}}{\text{número programado de trenes en un sentido}}$$

Donde el número de trenes a baja velocidad signifi-
ca el número de trenes excepto trenes de carga y el núme-
ro de trenes a gran velocidad significa el número de tre-
nes a excepción de los trenes de carga y los de baja velo-
cidad.

f: eficiencia de la utilización de la vía; aunque depen-
de de la naturaleza de la sección de vía, está deter-
minado generalmente entre 0.6 y 0.75.

Ejemplo de los cálculos

Los trenes programados son clasificados de acuerdo
a su velocidad, como se muestra en la tabla 2-2

MARCA DE TREN	1	2	3	4	5	6	TOTAL
TIEMPO DE OPERACION ENTRE ESTACIONES	4'00''	4'15''	4'30''	5'00''	5'30''	7'00''	-----
NUMERO PROGRAMADO DE TRENES	3	16	28	18	43	3	116
RELACION DE NUMERO DE TREN	0.03	0.14	0.24	0.15	0.41	0.03	1.00

TABLA 2 - 2 Clasificación por velocidad y número de trenes

El número de trenes a gran velocidad "V" es la relación al total del número de trenes, del número de trenes de (1) a (4) excluyendo a (5) trenes a baja velocidad y (6) trenes de carga, de acuerdo con las marcas de tren indicadas. Y el número de trenes a baja velocidad "V'" es el porcentaje de trenes con la marca de tren (5). De este modo tenemos que,

$$v = 0.03 + 0.14 + 0.24 + 0.15$$

$$v = 0.56$$

$$y \quad v' = 0.41$$

Entonces, la capacidad de vía para un sentido "N" es,

$$N = \frac{1440}{hv' + (r+u+1)v} \times f$$

$$N = \frac{1440 \times 6}{6 \times 0.41 + (4 + 2.5 + 1) \times 0.56} = 129$$

$$\text{cuando } h = 6 \text{ min}$$

$$u = 2.5 \text{ min}$$

$$r = 4 \text{ min}$$

$$f = 0.6 \text{ min}$$

Esta fórmula se utiliza tanto para análisis de líneas a doble vía como para líneas de una vía.

Además, la reunión de trenes dentro de una zona - disponible o la estandarización de los programas de trenes son necesarios para hacer frente al incremento del número de éstos. Entonces, la disponibilidad de operación - del número de trenes en un período de tiempo dado muy fre

cuentemente se convierte en un problema.

2.4 Circuito de vía

2.4.1 Sistemas de circuitos de vía

2.4.1.1 Clasificación de los sistemas de los CDV.

Los sistemas de CDV que pueden ser usados en el sistema electrificado con corriente alterna son divididos en tres clases: el CDV de corriente directa, CDV a baja frecuencia (generalmente hasta varios cientos de Hertz) y el CDV a audio frecuencia. Cada uno de los CDV citados tiene sus propias particularidades de ejecución y características y es recomendable que la decisión para adoptarlo sea hecha considerando economía y mantenimiento, utilizando sus puntos a favor. La tabla 2-3 muestra las características de los sistemas mencionados. Esas características son resumidas enseguida:

a) CDV de corriente directa (vía sencilla)

- Este sistema es simple, el mantenimiento es fácil y es económico
- La distancia de control es más corta que con otros sistemas.
- El sistema es fácilmente afectado por la corriente de rizo de un sistema auxiliar de reserva en corriente alterna o por las corrientes parásitas en corriente directa. La polarización tiende a ocurrir en una sección de durmientes del block automático (control programable).

CONCEPTO	SISTEMA	CDV DE CD (vía sencilla)	CDV a BAJA FRECC. (25 - 400 Hz)	CDV EN AUDIO FRECC. (1000 - 3000 Hz.)
FUNCIONAMIENTO	1.- Detección del tren (sensitividad al corto circuito)	Depende del corto, la longitud de control, el radio de acción de los relevadores, etc.		
	2.- Detección de riel-roto	Imposible en el -- circuito de retorno lateral	P o s i b l e	
	3.- Transmisión de información múltiple	Imposible	Posible hasta 4 tipos de información (aunque depende del tipo)	Posible hasta unos 10 tipos de información (aunque depende del tipo)
	4.- Detección de accesos	Imposible	P o s i b l e	
CARACTERISTICAS	1.- Anti-interferencia	Note la corriente de rizo y corrientes parásitas.	Note las oscilaciones en baja frecuencia y las -- armónicas más grandes.	Note las armónicas -- más grandes.
ECONOMIA	1.- Distancia de ---- transmisión ($G \leq 0.5$ [v/Km])	Menor de 1 Km.	2 - 4 Km.	1 - 2 Km.
	2.- Sin aislamiento	Imposible	Difícil (no están bien definidos los límites).	Posible (están <u>defini</u> dos los límites)
	3.- Capacidad de mantenimiento (objetivo de concentración)	Simple	Generalmente la concentración de dispositivos electrónicos es posible.	Concentración de dispositivos electrónicos es posible.
APLICACION	1.- Rango aplicable	Vías de estación	Vías de estación e inter-estación	

TABLA 2 - 3 Comparación de las características generales de los 3 CDVs

Cuando el CDV de una vía sencilla es construido en las vías de la estación, los rompimientos detectados en la vía sobre el circuito de retorno lateral son imposibles y el voltaje en la vía en el caso de riel roto se incrementará considerablemente. Esto se verá con más detalle posteriormente, en efectos de la corriente de alimentación al equipo de señalización.

b) CDV a baja frecuencia.

- La distancia de control de este sistema es por lo general la más grande de los tres sistemas y es económico.
- Este CDV es difícil de hacer si no está aislado o de hacer un sistema múltiplex (información múltiple) a través de él.
- Se requiere mucha potencia eléctrica para este sistema.

Por esto, es recomendable para los CDV entre estaciones debido a su gran distancia de control siempre y cuando no exista la posibilidad de cambiar al CDV automático en un futuro. Por otro lado, si la unión entre aislamientos y vía (como pegamento o grapas) tiene el mismo tiempo de vida útil que el aislamiento usado para la vía, el mantenimiento del aislamiento queda resuelto.

c) CDV a audio frecuencia.

- Este facilita el sistema múltiplex de información y tiene una gran posibilidad de desarrollo en el CDV automático.

- Facilita que el CDV no tenga aislamiento además de -- que también facilita el funcionamiento de los cruceros a nivel.
- Fácilmente se pueden concentrar dispositivos electrónicos dando como resultado que el mantenimiento sea -- sencillo.

Por lo tanto, es deseable que los CDV de alta frecuencia sean utilizados en medio de estaciones donde los puntos anteriores se justifiquen.

2.4.1.2 Consideraciones acerca de su aplicación

La transmisión de la señal por el CDV es diferente de los sistemas de transmisión comunes en que las constantes de distribución varían. Por tanto, se tiene que el -- CDV aplicado al sistema debe ser lo suficientemente adaptable para usos prácticos concernientes a la sensibilidad de los cortocircuitos en la vía, la distancia de transmisión, anti-interferencias y detección de riel quebrado, - etc., de acuerdo al cambio de esas constantes.

a) Características de transmisión de los CDV

- Las constantes de distribución son determinadas por la estructura del CDV y sus valores dependen de las clases de riel, de la medida de la vía, frecuencia, etc. La fig. 2-5 muestra las constantes de distribución de los durmientes para el block automático (control programable).

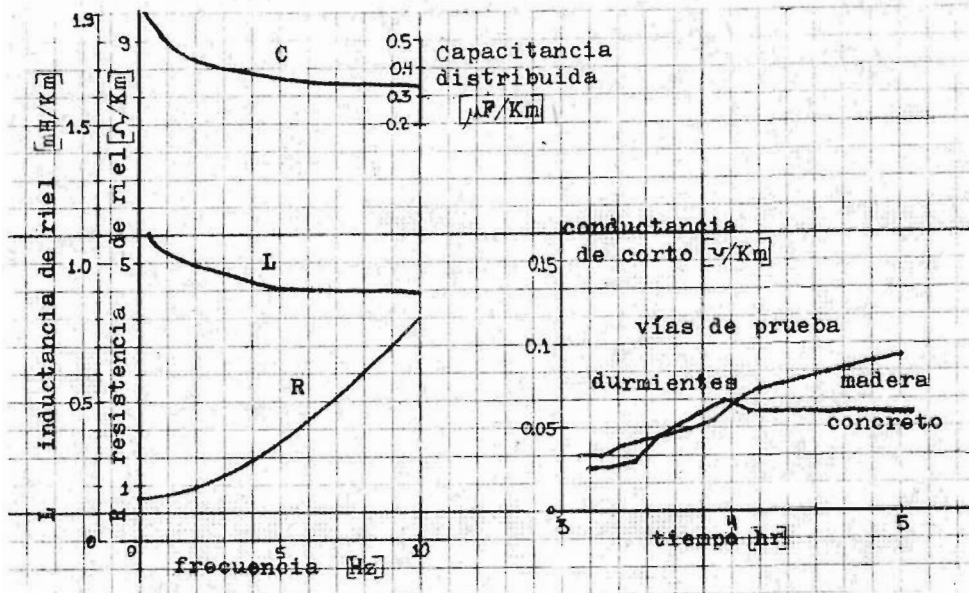


Fig. 2-5 Constantes de distribución de los CDV de PC (control programable)

Fig. 2-6 Cambios de conductancia en clima lluvioso.

- Dependiendo de las condiciones del clima y del balasto, la conductancia de corto variará grandemente. La fig. 2-6 muestra los cambios de ésta en dos clases de vías de prueba durante clima lluvioso; se puede observar la tendencia del durmiente de madera y del de PC en la lluvia. Cabe indicar que el durmiente del PC es de concreto.

Debido a los cambios en la conductancia de corto - cambia directamente el nivel de recepción del CDV y la sensibilidad de los cortocircuitos en la vía y la detección de riel quebrado se ven afectados.

- La aproximación de la impedancia característica del -

CDV es $\sqrt{2 \pi f L / G}$ e incrementa en proporción a \sqrt{f} . Donde L = inductancia del riel $[H/Km]$ y G = conductancia de corto $[\Omega/Km]$

Como en el caso de la distribución de constantes, el cambio de la impedancia característica afecta la transmisión y las funciones de sensibilidad al cortocircuito y detección de riel quebrado varían.

b) Detección de trenes

La detección por el CDV se hace utilizando el cortocircuito originado por las llantas del tren. Por lo tanto, la sensibilidad al cortocircuito varía de acuerdo con el valor de la impedancia del circuito. Las figuras 2-7 y 2-8 muestran el cambio del nivel de recepción para 100 Hz y 2KHz respectivamente.

Por ejemplo, en el caso del control de 3 Km y a 100 Hz la variación del nivel de recepción del CDV y de acuerdo con la variación de G es de aproximadamente 10 db. Por tanto, si el nivel de recepción está compensado para 10 y más db, una sensibilidad de cortocircuito de más de 0.5Ω puede obtenerse.

Similarmente, en el caso del control de 2 Km a 2 KHz, la sensibilidad de cortocircuito varía además, dependiendo de la longitud del CDV.

c) Detección de riel quebrado

Esta es muy importante en la seguridad de la operación y prevención de fallas peligrosas por detecciones

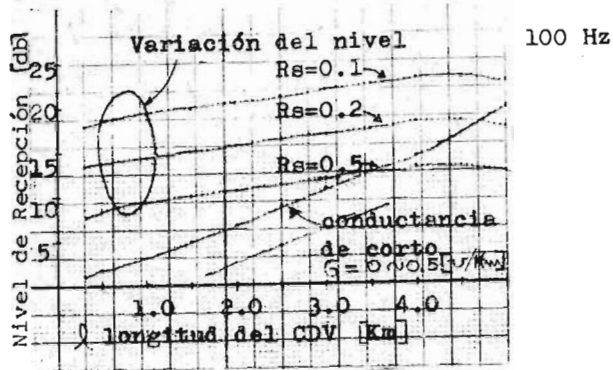


Fig. 2-7 Variación del nivel de recepción una vez efectuado el cortocircuito (100 Hz)

Hz	100	2000
R =	0.25 Ω/Km	1.9 Ω/Km
L =	2 mH/Km	0.5 mH/Km
C =	9 $\mu F/Km$	0.37 $\mu F/Km$
$Z_a = Z_e$	1.6 Ω	5.8 Ω
R_s =resistencia de corto circuito		

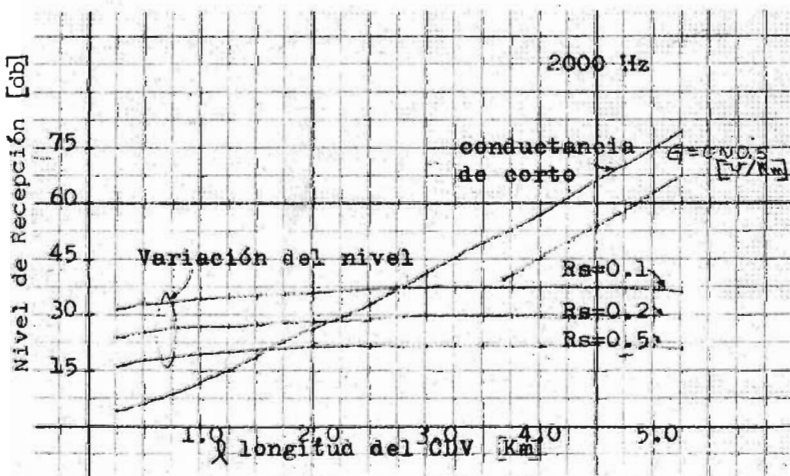
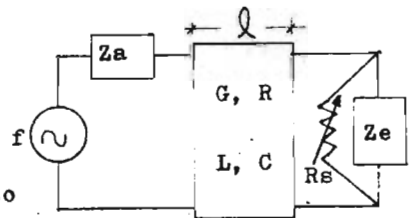


Fig. 2-8 Variación del nivel de recepción una vez efectuado el cortocircuito (2000 Hz)

anormales en el CDV. Por lo tanto, independientemente de que haya un tren en operación o no, es necesario que el relevador de vía se "salga" cuando ocurre un rompimiento de riel. Para este propósito, se debe cumplir que $L_0 \geq L_C$ donde L_0 es la variación del nivel de recepción mínimo - cuando se rompe el riel y L_C representa el nivel de recepción compensado o normal.

Con respecto a la transmisión en el CDV cuando se rompe el riel, se requiere un cálculo complicado como el multicircuito que fundamente la transmisión y que consiste de la corriente de alimentación al circuito y del CDV adjunto. Como referencia, el cálculo del CDV codificado en 80 Hz se muestra en la fig. 2-9.

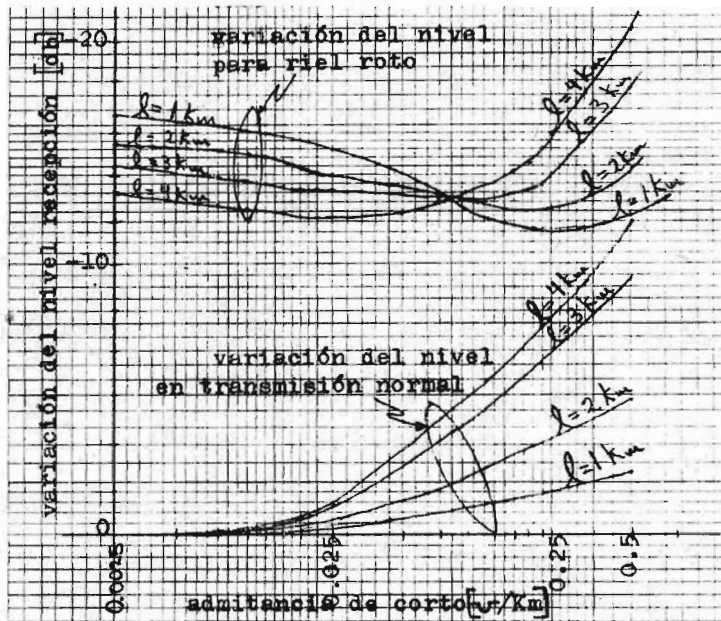


Fig. 2-9 Características de la detección de rompimiento para variaciones de la longitud del CDV.

En esta figura, la admitancia de corto es $G \leq 0.5$ $[\sqrt{\text{Km}}]$ y la longitud del CDV " λ " = 4 $[\text{Km}]$, el nivel mínimo de recepción L_B cuando se rompe el riel es de 12.5 $[\text{db}]$. Entonces la diferencia es 0.4 $[\text{db}]$ y la detección de riel roto es posible.

Entre más corta es la longitud del CDV, más fácil es la detección de los rieles rotos. Y los casos en que la distancia entre dispositivos varía se muestra en la tabla 2-4.

Detección de riel roto	dist. entre disp.	longitud del CDV $[\text{m}]$			
		1000	2000	3000	4000
Diferencia entre la variación del nivel de recepción mínimo cuando se rompe el riel y la variación del nivel de recepción máximo en riel normal $L_B - L_C$	$[\text{Km}]$				
10	8.5	6.6	3.6	0.4	
15	9.8	7.0	3.9	1.1	

Tabla 2-4 Cambios en la detección de riel roto cuando varía la distancia entre los dispositivos de detección de rieles rotos y quemados.

d) Estándares para diseño

Para el diseño del CDV aplicado a una línea eléctrica en corriente alterna con anti-interferencia, - sensibilidad al cortocircuito originado por el tren y a la ejecución de la detección de rieles rotos debe dársele especial atención. Ellos son las funciones que deben estar aseguradas como mínimo para la efectiva operación - del sistema. Además, es una condición básica del diseño

CONCEPTO	ESTANDARES PARA DISEÑO	POSIBLES FENOMENOS CUANDO NO SE CUMPLEN LOS ESTANDARES
1.- Sensitividad al corto y al tren	Cuando $L = \text{máx}$, $0 < G \leq 0.5 \text{ } \Omega/\text{Km}$ el siguiente valor es recomendable : más de $0.3 \text{ } \Omega$	Acción inestable del relevador de vía cuando un tren está circulando.
2.- Anti-interferencia	<p>(1) CDV de corriente directa, vía sencilla (en vías de estación).</p> <p>(a) Cuando $L = \text{máx}$, $G = \text{min} (=0)$, se aplica la siguiente fórmula: $I_{RE} > I_R$ donde I_{RE} = corriente de descarga del relevador de vía e I_R = corriente continua de interferencia derivada al relevador de vía.</p> <p>(b) Para prevenir la polarización -- cuando $L = \text{máx}$, $G = 0.5 \text{ } \Omega/\text{Km}$ se recomienda que la corriente normal al término de la recepción sea incrementada.</p> <p>(2) CDV en baja y audio frecuencia. cuando $L = \text{máx}$, $G = 0.5 \text{ } \Omega/\text{Km}$, -- $I_p = 400 \text{ A}$, $V_B = 10 \%$ se debe cumplir que:</p> <p>(a) Operación estable contra corriente de retorno desbalanceada 40 A (incluyendo las armónicas más grandes). En este caso se recomienda que el nivel de recepción sea mayor e igual a 6 db.</p> <p>(b) Sin fallas contra corriente de interferencia mezclada en la banda de frecuencia de señalización.</p> <p>Nota: especialmente en los CDV del tipo no-modulación, cuando una gran corriente de interferencia está mezclada dentro de la banda de frecuencia de las señales, provoca fallas peligrosas al sistema.</p>	<p>(a-1) Cuando la corriente de interferencia está en fase, se desestabiliza el relevador de vía cuando el tren está circulando.</p> <p>(a-2) Cuando la corriente de interferencia está defasada, el relevador de vía se desconecta cuando no hay tren circulando.</p> <p>(b) debido al tiempo de operación y descarga del relevador de vía que la hace más grande, regresando a su posición normal después de que es retrazada la salida del relevador.</p> <p>(a) Cuando no hay tren circulando el relevador de vía se desconecta.</p> <p>(b) Cuando un tren está circulando se desestabiliza el relevador de vía.</p>
3.- Detección de riel roto	Cuando $L = \text{máx}$, $0 < G \leq 0.5 \text{ } \Omega/\text{Km}$ se debe cumplir que $L_B \geq L_C$ donde L_B = variación del nivel mínimo de recepción cuando se rompe el riel y L_C = variación del nivel máximo de recepción en transmisión normal. (nivel voltaje compensado)	<p>- Cuando no hay tren circulando el relevador de vía no se desconecta.</p> <p>- en algunos casos cuando un tren está circulando, algunas veces el relevador de vía no se desconecta dependiendo de la posición de la ruptura del riel.</p>

L : longitud de control del CDV

G : conductancia de corto entre rieles

I_p : corriente de tracción de retorno

V_B : desbalance del CDV

Tabla 2 - 5 estándares de diseño para los CDV.

que cada una esté en un nivel estándar determinado. La tabla 2-5 resume las posibles opciones y/o casos cuando dichos estándares no se cumplen.

Más aún, como criterio de diseño, deben considerarse la distancia de control, la confiabilidad, la economía el mantenimiento, etc.

2.4.2 Funcionamiento del circuito de vía

Como se ha indicado a lo largo de este capítulo, los circuitos de vía permiten detectar la presencia del tren mediante la transmisión de una señal a impulsos eléctricos y conducida a través de los rieles aislados entre sí y de cualquier otro objeto que pudiera interferir con la transmisión de dicha señal.

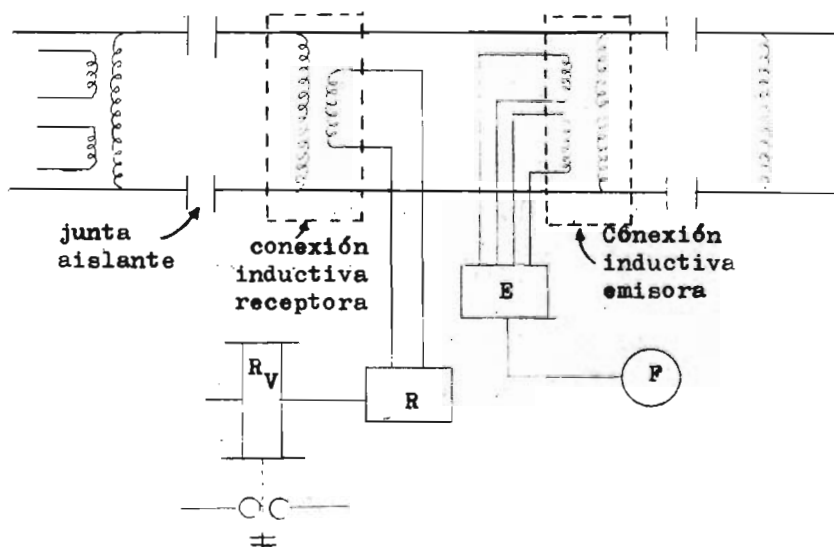


Fig. 2-10 Esquema general de un CDV.

La junta aislante posibilita que los CDV's estén separados eléctricamente unos de otros, los que a su vez tienen en cada extremidad, conexiones inductivas que sirven de transformadores destinados a la alimentación del CDV. Los impulsos eléctricos se obtienen de un emisor colocado en un extremo y son captados por un receptor que los modifica, selecciona y amplifica en el otro extremo, para excitar un relevador de vía.

Al entrar el tren en un CDV, provoca un cortocircuito entre los rieles a través de sus ruedas, lo que hace disminuir la corriente captada por el receptor, ocasionando que el relevador de vía se desexcite.

La frecuencia de emisión de los impulsos debe asegurar un energizado del relevador de vía entre dos impulsos garantizando un tiempo corto de respuesta; esta frecuencia debe ser baja para limitar la energía necesaria para la emisión: 180, 120 o 75 ppm de acuerdo con lo indicado en la tabla 2.1

Dichos CDV tendrán una portadora de 100 Hz para la transmisión de informaciones ya que asegura una buena compatibilidad e inmunización contra las interferencias de las corrientes producidas por el sistema de alimentación. (25 KV, 60 Hz). En el apéndice al final del libro, se dan las características y funcionamiento de algunos CDV usados más comúnmente.

Como se indicaba al final del inciso 2.2, en el sistema de block automático tenemos 3 subsistemas que conforman a éste, el sistema de continuidad en los CDV ya

que controla al dispositivo de señal que detecta la existencia de los trenes. Por este motivo se ha recalcado la importancia del buen funcionamiento del sistema de continuidad para lo cual cuenta con tres funciones esenciales. La sensibilidad al corto circuito originado tanto por el tren como por algún objeto extraño, la detección de rieles rotos y la anti-interferencia. Sin embargo, otro factor que es muy importante considerar, es el aislamiento que se tenga con relación al suelo (I_s).

Los siguientes valores son las diferentes categorías para un kilómetro de vía:

$I_s < 0.5 \Omega$	malo
$0.5 < I_s < 2 \Omega$	mediocre
$2 < I_s < 4 \Omega$	medio
$4 < I_s < 35 \Omega$	bueno
$35 < I_s$	excelente

Por lo tanto, estos valores son muy variables en función del tipo y del estado de los durmientes, balasto, suelo adyacente y humedad.

Consideremos un tramo de vía AB, con una longitud L, equipado con juntas aislantes en A y B (lo cual no es un caso dentro de la realidad). En A se encuentra una subestación y en B una locomotora absorbiendo una corriente I, fig 2-11.

La resistencia del circuito de retorno es igual a $R \times L$. La baja de tensión entre A y un punto P cualquiera

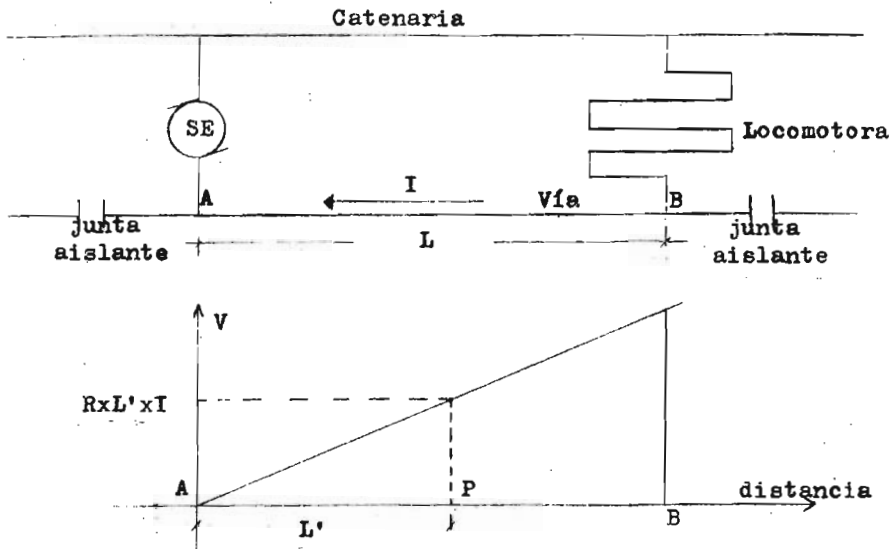


Fig. 2-11 Caída de tensión en las vías
y diferencia de potencial entre las
vías y el suelo.

distante L' Km de A es $R \times L' \times I$. Esta baja de tensión se puede representar gráficamente en función de L' en la fig 2-11.

Se ve que si los rieles en el punto A están al mismo potencial que el suelo, por ejemplo en razón de la presencia de una toma de tierra de resistencia nula, todos los otros puntos de la vía estarán a un potencial positivo con relación al suelo, con un valor equivalente a

$$V = R \times L' \times I.$$

En razón del aislamiento límite de las vías y de las diferencias de potencial, nace una corriente eléctrica

ca que va de las vías hacia el suelo (corriente vagabunda). Esta corriente regresa al polo negativo de la subestación mediante la toma de tierra situada en el punto A, fig. 2-12.

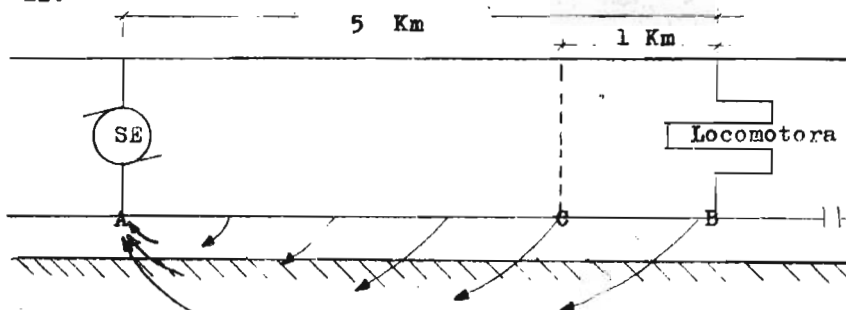


Fig. 2-12 Retorno de corriente a la subestación (SE) con toma a tierra en A.

Estas corrientes vagabundas circulan en el suelo - provocando corrosiones de las estructuras metálicas enterradas y con el tiempo pueden llegar a deteriorarlas.

Aplicación:

$$L = 5 \text{ Km}, \quad R = 0.01 \Omega / \text{Km} \text{ (2 vías)}, \quad I = 2000 \text{ A}$$

1. La baja de tensión en las vías entre A y B es de :

$$0.01 \times 5 \times 2000 = 100 \text{ V}$$

2. La tensión riel/suelo en el punto B es igual a 100 V

3. La tensión media de la zona CB de 1 Km de largo es de 90 V

Si el aislamiento medio I_s de las dos vías es de $2 \Omega / \text{Km}$ el tramo CB provoca corrientes vagabundas (dentro

del sentido de las vías al suelo) cuya intensidad se eleva a $\frac{90A}{2} = 45 A$

De hecho, las tomas de tierra directas o indirectas sobre los rieles están prohibidas y en los siguientes casos admitiremos que el aislamiento medio de las vías es uniforme.

Volvamos a tomar el ejemplo anterior en el que suprimimos la toma de tierra situada en A, fig. 2-13.

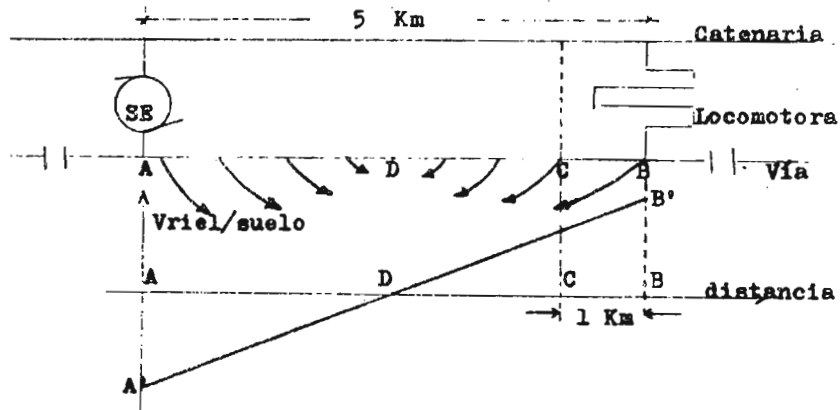


Fig. 2-13 Retorno de corriente a la subestación sin toma de tierra en A.

Las bajas de tensión en la vía permanecen igual pero varían las diferencias de potencial con el suelo. En el punto D, en medio de AB, la tensión riel/suelo es nula. En los puntos equidistantes de D y situados en una y otra parte de las tensiones riel/suelo son iguales en valor absoluto, pero de signo contrario.

La suma de corrientes vagabundas que van al suelo, procedentes del tramo DB, es igual a la suma de las corrientes vagabundas que van del suelo a los rieles en el tramo AD. Estas sumas son respectivamente proporcionales para las superficies de los triángulos DBB' y DAA'.

Estas corrientes son iguales puesto que las corrientes vagabundas proceden de la vía, regresando obligatoriamente para volver a entrar a la subestación y así cerrar el circuito eléctrico.

Aplicación:

$$L=5\text{Km}, R=0.01\ \Omega/\text{Km}, I=2000\text{A}, I_g=2\ \Omega/\text{Km}$$

1. La baja de tensión entre A Y B siempre es de 100 V
2. La tensión riel/suelo en el punto B no es mayor a 50 V
3. La tensión riel/suelo en el punto A es de -50 V
4. La tensión riel/suelo en el punto C es de 30 V
5. La tensión media de la zona CB es de 40 V
6. Las corrientes vagabundas procedentes de la zona CB se elevan a $\frac{40\text{A}}{2} = 20\text{A}$

La comparación de estos resultados y de los de la aplicación anterior pone notablemente en evidencia el aumento sensible de las corrientes vagabundas que resultan de un defecto de aislamiento de las mismas vías localizadas.

La fig. 2-14 se refiere al caso de un tren situado entre dos subestaciones que suministran la mitad de la corriente absorbida por el tren y la fig 2-15 corresponde aproximadamente a las conducciones reales donde las vías

no tienen juntas aislantes.

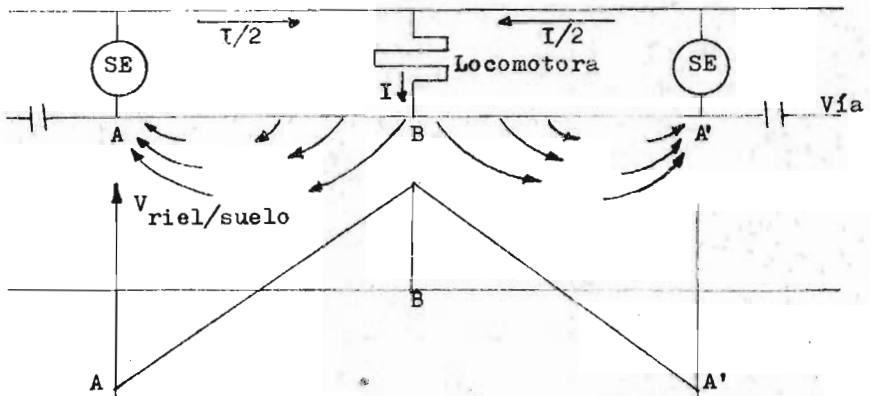


Fig. 2-14 Retorno de corriente en el caso de un tren situado entre dos subestaciones dividiendo cada una la mitad de corriente absorbida por el tren.

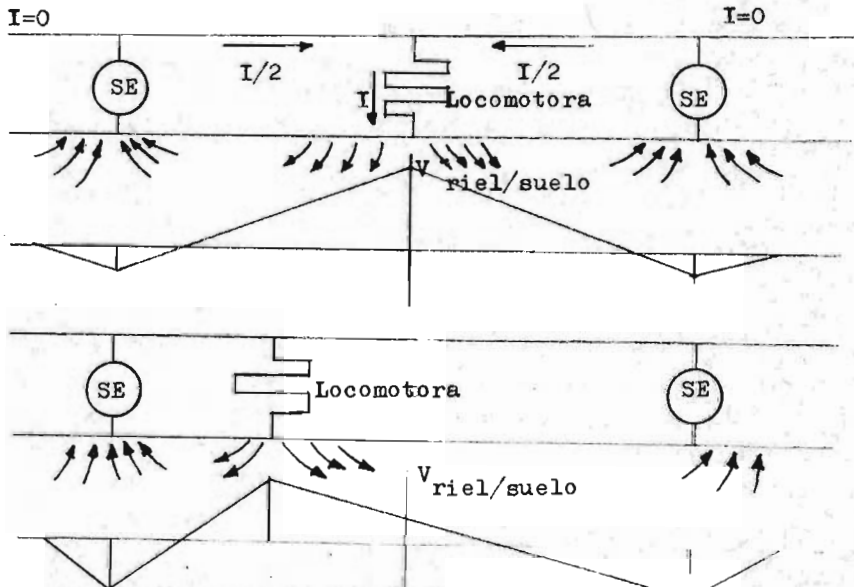


Fig. 2-15 Retorno de corriente en el caso real de vías que no tienen juntas aislantes.

Las superficies positivas y negativas delimitadas por las curvas de tensión riel/suelo siempre son iguales. Vemos que en general, los rieles son negativos con relación al suelo de las subestaciones cercanas. Por otra parte, con frecuencia son las más positivas.

A menudo las corrientes vagabundas alcanzan aproximadamente un 20% de la corriente total de tracción para las instalaciones en buen estado. El estudio anterior muestra que son proporcionales a la resistencia del circuito de retorno e inversas al aislamiento de vía.

Por esta razón, la conductancia de las vías debe ser perfectamente mantenida. La ausencia o el mal estado de un porcentaje más bajo que las conexiones de riel a riel produce menos aumentos sensibles de las tensiones riel/suelo y por consecuencia de las corrientes vagabundas. Estas tensiones corren el riesgo de estar particularmente elevadas sobre las vías únicas, en razón de la limitación a dos filas de rieles del circuito de retorno.

El aislamiento de las vías electrificadas con relación al suelo debe ser tan elevado como sea posible.

Por otro lado, este aislamiento lo podemos tener en un solo riel o bien, en ambos y así tenemos:

2.4.2.1 Circuito de vía monoriel

Solamente una fila de rieles se encuentra aislada del circuito de retorno de acuerdo con el esquema de principio de la fig. 2-16. La otra fila sirve simultáneamente al CDV y al retorno de corriente de tracción.

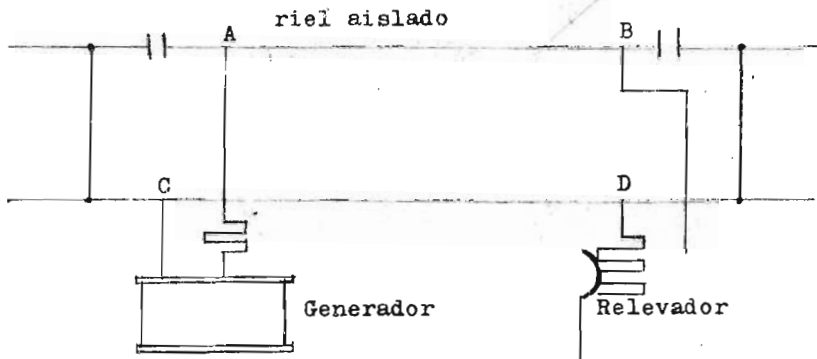


Fig. 2-16 CDV monorriel.

Este montaje está reservado sobre todo para los circuitos de poca longitud. En principio está reservado para las vías o la reducción de la conductancia de la arteria de retorno que resulta del empleo de una sola fila de rieles que no es muy importante (vías secundarias, estación de parada general, obras de trabajo franqueado a velocidad reducida).

Esta instalación puede funcionar en corriente continua y en corriente alterna. Sin embargo, está abandonado su uso en corriente continua en razón de las influencias peligrosas de las diferencias de potencial entre C y D que resultan de las corrientes de tracción. Estas tensiones se añaden o se suprimen según su polaridad a la tensión de la fuente de alimentación del circuito.

En la fig. 2-16, la fila AB no está conectada al retorno general de corriente de tracción más que por los conductores de pequeña sección y a través del releveador

y del generador. Por lo tanto, formalmente está prohibido conectar sobre una fila como ésta, las conexiones provisionales de la puesta a riel de las catenarias. Con este fin, estas filas aisladas están marcadas por anillos (fig. 2-17) alrededor de las conexiones soldadas que conectan los rieles entre sí.

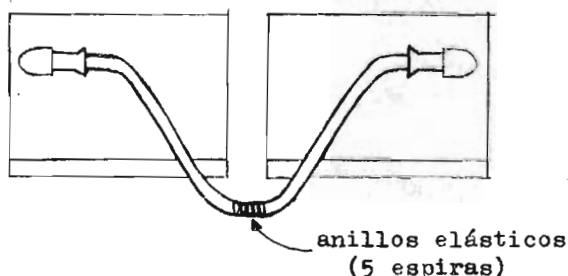


Fig. 2-17 Uniones de filas de riel aislado.

En los casos donde las uniones de riel a riel están constituidas por conexiones mecánicas, la marca se obtiene por medio del uso de cable de aislamiento ligero de 185 mm^2 de sección.

2.4.2.2 Circuito de vía de dos filas aisladas

El restablecimiento de la continuidad se efectúa por medio de una conexión "inductiva" donde el esquema de principio está representado en la fig. 2-18. Estos circuitos no son utilizados más que por los circuitos de vía alimentados por corrientes alternas sinusoidales o pulsa-

das a exclusión del de corriente continua.

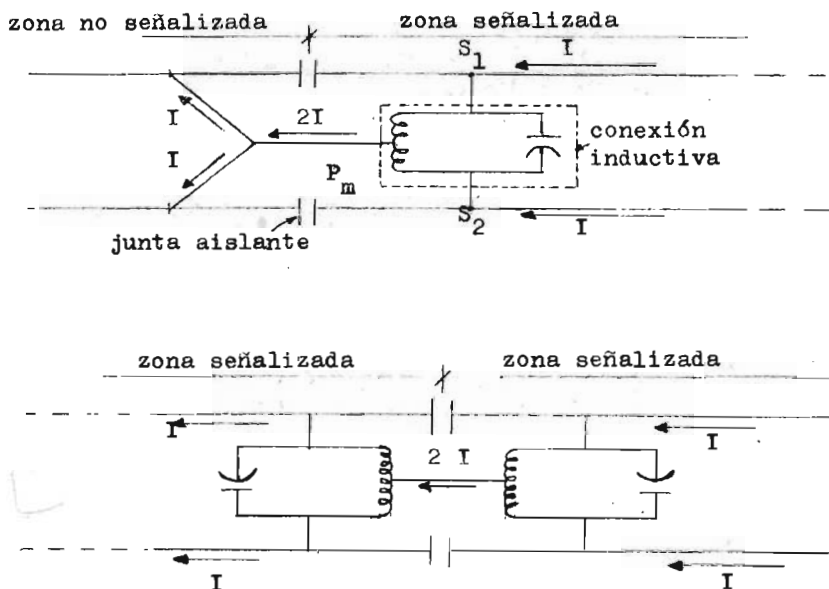


Fig. 2-18 CDV birriel aislado

Esta conexión consiste esencialmente en una autoinducción que comporta algunas espiras de cobre de gran sección que pueden soportar sin calentamiento exagerado, - las corrientes de retorno de tracción,

-- Gracias al condensador montado paralelamente, el conjunto presenta entre los puntos S_1 y S_2 una impedancia elevada (resonancia en paralelo) para la frecuencia - del circuito.

- La alimentación del circuito y la recepción de las corrientes de señalización se producen por medio de bobinas que no están representadas en la fig. 2-18 y que comportan un número elevado de espiras de "enrollado fino" conectadas magnéticamente con las bobinas de "enrollado grueso" como las mostradas en la fig. 2-10
- Las corrientes de retorno I circulan entre S_1 y Pm (punto medio) en 2-18 por una parte y S_2 y Pm por otra parte. Estas se desarrollan dentro de un conjunto de circuitos de los campos magnéticos opuestos y sensiblemente iguales que se anulan y no perturban el comportamiento de la autoinducción.

Sobre las vías equipadas de esta manera, todas las uniones que van a otras vías, hacia las subestaciones, etc, deben estar obligatoriamente conectadas al "punto medio" y no sobre una fila de rieles, que desequilibrarían las corrientes dentro de cada fila, saturando el circuito magnético y corriendo el riesgo de provocar la caída del relevador.

2.5 Señalización en cabina y control continuo de sobrevelocidad.

Hasta este punto hemos desarrollado todas las características y funciones del sistema de continuidad en los diversos circuitos de vía, restándonos por tanto, describir el funcionamiento del sistema de señalización en

en cabina así como los loops de entrada y salida a las zonas señalizadas, dando por terminado de este modo el sistema de señalización.

Aunque la seguridad en la operación del tren depende de las precauciones tomadas por el conductor, con el avance de la alta velocidad y la alta densidad de operaciones debidas a la electrificación es recomendable que un dispositivo de paro automático al tren sea instalado para incrementar la seguridad.

El dispositivo mencionado deberá ser un sistema en el que el freno sea automáticamente operado cuando el tren vaya recorriendo una zona a una velocidad por encima del límite, por medio del control que operará con la indicación de la señal en cabina.

Los equipos que integran este sistema están compuestos de una parte fija y otra embarcada. La parte fija la constituyen los códigos presentes en los CDV e indicados en la tabla 2-1 y que materializan la información proveniente de los armarios que se ubican en cada caseta y que están en concordancia con la lógica de la señalización lateral y las órdenes generadas desde el centro de control. Esta información inscrita en la vía es común para los dos tipos de material rodante (carga y pasajeros).

La parte abordó del tren a través de unos captadores magnéticos recibe los códigos de los CDV, los interpreta y los traduce en órdenes que transmite a los equipos propios del material rodante manteniendo un control continuo de sobrevelocidad y una señalización en cabina de acuerdo

de acuerdo a las rutas y aspectos de las señales laterales. Debido a que los parámetros de velocidad son diferentes para los dos tipos de tren (ver tabla 2-1) y que la información proveniente de la vía es la misma, en ambos casos, se han diseñado dos tipos de equipo embarcado, uno para cada tipo de tren que interpretarán de manera distinta los códigos mencionados. Además de los captosres magnéticos, el equipo a bordo del tren está compuesto por los tableros de cabina y el cofre de lógica.

El equipo de señalización en cabina es un sistema capaz de hacer cumplir los límites de velocidad específica como se reciben desde los códigos existentes en la vía (CDV). Este sistema presenta al maquinista alguna de las siguientes condiciones:

- 1.- El tren está excediendo la máxima velocidad permitida como lo muestran los aspectos indicadores de velocidad
- 2.- El tren está recibiendo un código más lento.
- 3.- El tren está moviéndose de zona señalizada a no señalizada.

Cualquier falla del maquinista conserva el tren dentro de límites de seguridad por un período de tiempo específico, lo que provocará una acción automática de frenado. Para el sistema en particular, el tiempo permitido al maquinista para prevenir un frenado es de 4 a 6 segundos. Cualquier acción de frenado puede ser prevista poniendo el freno del tren en supresión.

Una vez que la sanción inicia, hay necesidad de -

restablecer el sistema de frenado automático dentro del - equipo de señalización en cabina. Esto ocurre automáticamente una vez que el tren para, dado que el motivo de la sanción ha sido corregido.

5.2.1 Descripción mecánica del sistema de señalización en cabina.

Este sistema se encuentra funcionalmente, en unidades separadas como se muestra en la fig. 2-19.

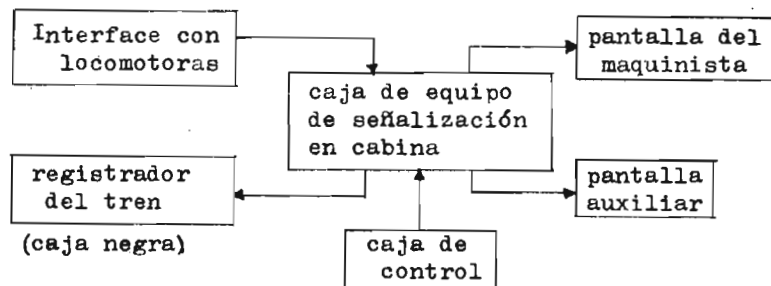


Fig. 2-19 Diagrama a bloques del sistema de señalización en cabina y control continuo de sobrevelocidad.

La interface es en general, todas las conexiones - externas que la locomotora suministra al equipo de señali- zación en cabina; estas conexiones van a la caja de equipo del sistema.

La pantalla del maquinista tiene las mismas funciones que la pantalla auxiliar más las indicaciones e interruptores siguientes:

- Indicaciones
 - + Velocidad cero (luz azul)
 - + Control automático del tren (luz blanca)
 - + Sobrevelocidad (luz roja)
 - + LED de prueba
 - + Luz de reconocimiento (localizada en el pulsador)
- Interruptores
 - + Interruptor de señalización en cabina
 - + Interruptor de prueba
- Pulsador
 - + Pulsador de reconocimiento

El registrador del tren (caja negra) indica los aspectos del tren y las señales de sobrevelocidad.

La caja de equipo localizada en la locomotora contiene todos los relevadores y circuitos de estado sólido necesarios para la operación de la señalización en cabina. Estos a su vez, están contenidos en un estante (bastidor) montado dentro de la caja y soportado arriba y abajo por un total de cinco montajes de hule de tipo de compresión, lo que permite ofrecer máxima protección al estante contra vibración y choque de la locomotora.

El estante contiene tres relevadores vitales, 8 relevadores no vitales, una fuente de poder de corriente directa aislada y una tarjeta expediente de circuito impreso. El equipo electrónico en el estante está conectado in

cluyendo las tarjetas de circuito impreso entre si mismos

La tarjeta-expediente tiene un retenedor usado no solamente para agarrar las tarjetas de circuito impreso, sino que además, contiene una etiqueta retenedora que provee información de cada tarjeta. Esta etiqueta especifica que señales van a ser encontradas en los diversos puntos de prueba localizados en cada tarjeta y la función de cada LED.

La interface con locomotoras comprende una serie - de dispositivos de la locomotora que sirven de interface con el sistema de señalización en cabina. Ellos son:

1) Receptores de vía

Consistirá de dos bobinas montadas sobre una barra de hierro, la cual a su vez, deberá ser instalada en la - parte inferior frontal de la locomotora y adelante del primer par de ruedas. El largo de escantillón estándar es de 1.435 m, la altura aproximada entre cada bobina y el - tope del riel será entre 16.5 y 24 cm. Cada bobina será - provista con un conductor que debe ser conectado a la caja de equipo cuya función esté asociada el receptor de la vía. Las bobinas son los medios por los que las señales codificadas son transmitidas desde las vías a los aparatos en el tren.

2) Sensor de velocidad

Es un transductor magnético localizado en el eje - delantero de la locomotora que se utiliza para determi- - nar la velocidad del tren para fines de control continuo de sobrevelocidad. El cambio de frecuencia de la señal -

refleja en un cambio en la velocidad del tren, puesto que la señal generada que es proporcional a la velocidad del tren es enviada a los elementos de control en la caja de equipos y estos elementos son los que imponen el límite de velocidad correspondiente a cada uno de los códigos de las señales de cabina captados por el receptor de vía.

3) Interruptor de señalización en cabina

Es puesto en la posición de corte cuando no se utiliza la señalización en cabina, es decir, en zona no señalizada. Está localizado en la pantalla del maquinista.

4) Alarma acústica.

Es una alarma audible localizada en la pantalla de del maquinista. Esta alarma suena durante una condición de sobrevelocidad y está asociada al dispositivo de conocimiento y desligamiento. Este último dispositivo se utiliza para permitir al maquinista dar conocimiento de estar alerta y haber recibido e interpretado las indicaciones de las señales de cabina, así como para desligar las señales de cabina y de control continuo de sobrevelocidad cuando el tren sale del tramo señalizado.

Este dispositivo tiene tres posiciones: normal, restringido y fuera de servicio. La posición normal es en la cual este dispositivo se encuentra comúnmente.

En caso de que la velocidad detectada por el sensor de velocidad sobrepase el límite admitido por el código de señales de cabina, la alarma acústica se activará. El maquinista debe dar conocimiento de esto, moviendo el

el dispositivo a la posición de restringido e iniciando la aplicación del sistema de frenos. Al poner el dispositivo en la posición de restringido, la alarma acústica se desactivará. Esta acción que parte del maquinista se debe de tomar dentro de un período de aproximadamente seis segundos. La aplicación del sistema de frenos por el maquinista debe ser mantenida hasta que la velocidad del tren se reduzca a un valor abajo del límite de velocidad admitido por la señal de cabina.

En caso de que el maquinista no haga lo anterior dentro del período de tiempo de 6 segundos aproximado, se iniciará la aplicación automática de los frenos.

La posición fuera de servicio se utiliza sólo en los puntos en que el tren sale del territorio señalado y solamente en estos lugares ocasiona el fuera de servicio del equipo de abordó. Esto se proporciona para no restringir la velocidad del tren fuera del territorio señalado.

La intermitencia del tono en la alarma es de 2900 Hz y va desde 2 hasta 9 pulsaciones por segundo.

5) Temporizador

Es el elemento de interface entre el equipo de abordó de señales en cabina y de control continuo de sobrelvelocidad y el sistema de frenos de aire. El temporizador proporciona el período aproximado de seis segundos mencionado anteriormente.

6) Interruptor y LED de prueba del sistema de señalización en cabina

Estos están localizados en la pantalla del maquinista. El interruptor es puesto ya sea en alto o en bajo para iniciar una sección de prueba. El diodo destellará de acuerdo con el código generado por la serie de prueba.

7) Sobrevelocidad (luz roja)

También está localizada en la pantalla del maquinista. Esta luz roja indicadora de sobrevelocidad se enciende cuando hay una condición de sobrevelocidad y destella en la iniciación de una sanción de la aplicación automática del freno.

8) Freno independiente

Para iniciar una prueba en una sección de la señalización en cabina, el tren debe estar parado y el freno independiente aplicado (mínimo a 40 psi)

9) Supresión (de suprimir)

Un par de contactos están provistos al equipo de señalización en cabina que cierran durante una supresión del tren. Esta información es usada en la lógica de la caja de control localizada dentro de las tarjetas-expediente.

10) Velocidad cero (luz azul)

Este indicador también está localizado en la pantalla del maquinista. Esta luz se apagará cuando el tren vaya a una velocidad superior de 5 Km/hr.

La fig. 2-29 muestra un diagrama a bloques del sistema de señalización en cabina de acuerdo con lo indicado

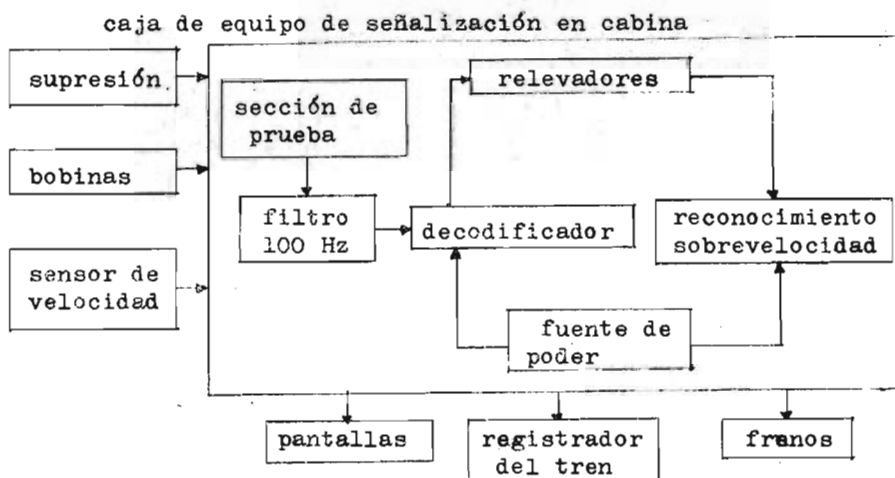


Figura 2-20. Diagrama a bloques del sistema de señalización en cabina.

La fig 2-21 presenta un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de señalización en cabina y control continuo de sobrevelocidad.

Si no hay código en el CDV, se recurre a una velocidad restringida (75ppm) posicionando el selector en velocidad restringida y manteniendo este código así hasta una zona donde el código proveniente de la vía esté alimentado.

Cuando los captores del tren reciben nuevamente -

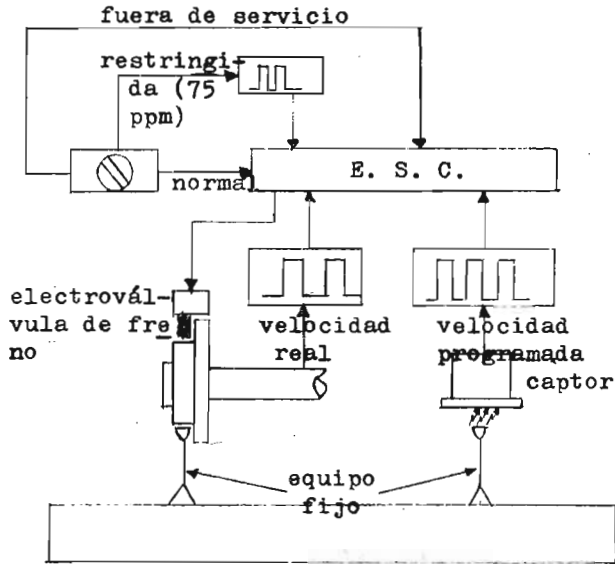


Figura 2-21. Funcionamiento del sistema de señalización en cabina.

una señal codificada de la vía, éstos detendrán al tren y se notificará al conductor a través de la pantalla del maquinista que debe pasar a la conducción normal.

En caso de falla del equipo de abordó, el selector tendrá una tercera posición para poner fuera de servicio a todo el sistema.

En cuanto a los loops de entrada-salida de zona -- señalizada y observando la fig 2-18 en donde se presenta el cambio de una zona no señalizada a una señalizada puede

mos decir que estos loops sirven para activar/desactivar el equipo de señales en cabina con control continuo de so brevelocidad que va abordo de la locomotora.

Al salir un tren del territorio señalizado y pasar sobre dicho loop, éste provocará un dispositivo de desactivación que operará en el equipo instalado abordo de la locomotora, dejándolo fuera de servicio; de esta manera - el tren seguirá circulando sin las restricciones que impo ne normalmente el sistema de señales en cabina con con-- trol continuo de sobrevelocidad.

Cuando un tren entre al territorio señalizado, el equipo instalado en la locomotora se activará automáticamente, cuando el tren ocupe el primer CDV.

Al iniciar este capítulo, se destacaron dos funcio nes fundamentales del sistema de señalización (ver inciso 2.1). Con respecto a la primera de ellas, con lo escrito hasta aquí hemos cumplido con el objetivo propuesto. En - cuanto a la segunda función, ésta es competencia del Centro de Control de Tráfico y que en el capítulo # 3, des-- crito a continuación, se dan sus principales característi cas de funcionamiento.

C A P I T U L O

III

CONTROL DE TRAFICO CENTRALIZADO

3.1 Introducción.

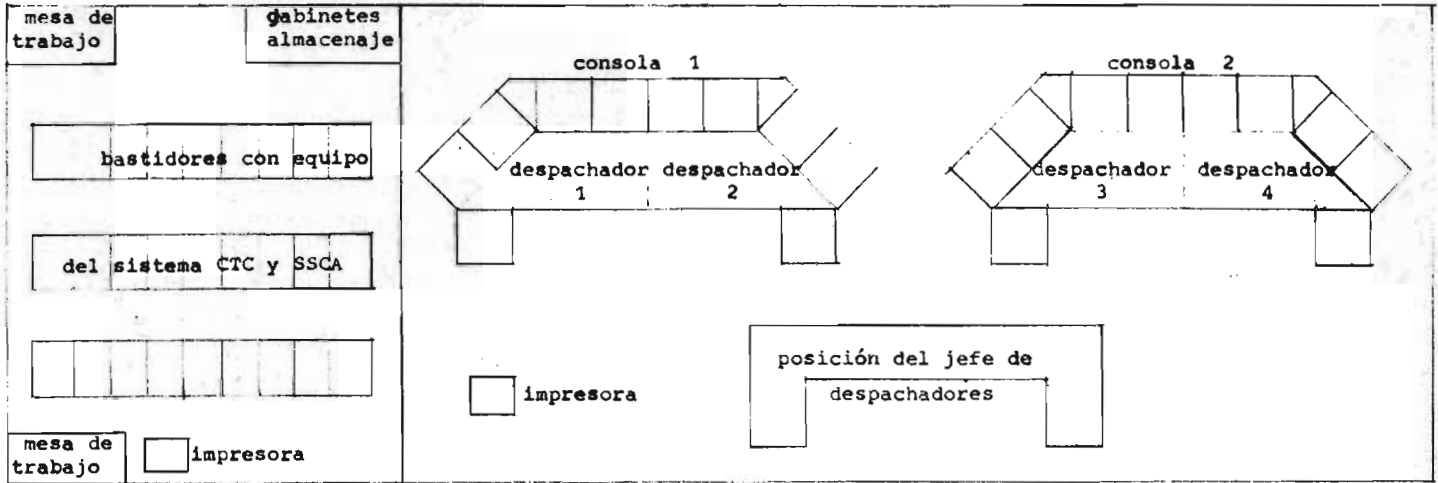
El sistema de Control de Tráfico Centralizado (CTC) que para efectos de este libro designaremos por CTC, proporciona la supervisión y el control del movimiento de -- trenes de una zona dada incluyendo los subsistemas de reporte de operaciones y de descripción de trenes.

Para el tren eléctrico México-Querétaro vamos a - tener dos puestos de control, uno ubicado en Buenavista y otro en Querétaro. Cada puesto tendrá el siguiente equipo para cumplir con sus funciones:

- 2 consolas de control que integran un gabinete panorámico formado por 20 pantallas de video a color y teclado
- 2 computadoras (una en operación y otra en stand-by) con su respectivo equipo periférico
- 2 impresoras de línea
- 2 equipos de código completo con modems de datos
- 1 bastidor con equipo de alimentación y distribu--ción

CUARTO DE EQUIPO

CUARTO DE CONTROL CTC



SSCA = Sistema de Supervisión y Control de Alimentación

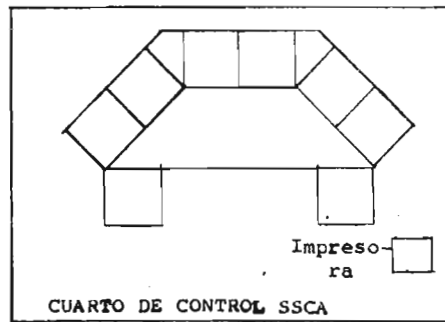


Figura 3-1. Distribución de equipo en el cuarto de control

- 1 equipo UPS (Uninterruptible Power System)
- 5 equipos para el sistema de reporte de operaciones (SRO)
- 1 terminal para mantenimiento

Cada una de las consolas de control tendrá la facilidad de operar con dos despachadores (operadores), dividiendo de este modo, en dos partes iguales la zona por - controlar por la consola. Esto se hace con el fin de que los despachadores realicen un trabajo más sencillo y por tanto, más seguro. Sin embargo, se ha previsto que en cada una de estas dos consolas se tenga la facilidad para que un despachador pueda operar el tramo asignado al otro en caso de que sea necesario; facilidades para operar el territorio de una consola por la otra no son proporcionadas. Además existe un jefe de despachadores que coordina a los demás (ver fig 3-1).

Adicionalmente a las 4 terminales del SRO para los 4 despachadores se proporcionará una terminal del SRO para la posición del jefe de despachadores.

En las consolas de control se tendrán las facilidades para transferir la computadora normal a la de reserva por medio de la operación de una tecla o botón. El subsistema de transferencia de falla detecta cuando la computadora normal no está operando correctamente y a través de la operación de la tecla mencionada, se transferirán todas las entradas y salida de la computadora normal a la de reserva.

El sistema CTC contará con sistemas redundantes (en duplicado) consistiendo de unidad de código y modems - de datos asociados, con facilidad de transferir en caso - de falla de la unidad normal a la de reserva, tanto en - las unidades de código como en los modems de datos. La -- transferencia se hará por medio de la operación de una te - cla en la consola del despachador.

La concepción de redundancia aumenta la confiabili - dad del sistema y da por resultado un alto valor de tiem - po promedio entre fallas del sistema. Asimismo aumenta la facilidad del mantenimiento, permitiendo el servicio al - equipo dañado mientras que el equipo de soporte permanece opefando. Todos los componentes principales del sistema - serán de conexión tipo enchufable para facilidad del man - tenimiento.

Una falla de la computadora normal o del sistema - de transmisión de datos será presentada automáticamente - en forma visual y audible para el despachador, asimismo, se obtendrá esta información en forma impresa a través de una de las terminales asociadas.

3.2 Funciones del sistema de control

3.2.1 Filosofía del manual de control

El despachador tendrá control completo de su tramo asignado por medio del teclado de su consola. Los contro - les serán enviados a cada localidad controlada, pero an - tes del envío de las órdenes de control, el despachador -

deberá seleccionar la localidad que se quiere controlar. Dentro de los controles asignados para cada puesto de enclavamiento, el despachador podrá enviar cualquier cantidad de ellos, los cuales deberán ser registrados para la localidad seleccionada, antes que sean enviados al equipo de campo del puesto de enclavamiento seleccionado. El despachador podrá verificar a través de la pantalla de video a color, cada uno de los controles que desea enviar a la localidad seleccionada.

3.22 Descripción de los controles del CTC

3.2.2.1 Diálogo de control

Después que el despachador ha seleccionado la localidad a controlar podrá iniciar las órdenes de control, al término de los cuales deberá operar la tecla transmitir lo que ocasionará el envío de control o controles a la localidad seleccionada. En caso de que el despachador decida no enviar el control o controles, deberá entonces operar la tecla cancelar .

Se define como diálogo la secuencia de operaciones que se efectúan desde el momento de la selección de una localidad hasta que la orden de control o controles son enviados o cancelados.

Hasta en cuanto el diálogo con una localidad no se termine, el número de la localidad seleccionada se mantendrá en la pantalla de video más cercana al despachador - con el fin de garantizar un mejor funcionamiento del sistema.

3.2.2.2 Cambios

La indicación de la posición del cambio será presentada en la pantalla de video a color por una línea continua como parte del trazo de la vía y en la misma posición que la del cambio. Esta indicación se mostrará en forma independiente del color del trazo de la vía.

Una modificación de la posición del cambio, o en caso de que el mismo deje de corresponder con su posición provocará una posición destellante del cambio sobre la pantalla de video a color.

Cuando se envía un control para modificar la posición de un cambio, ninguna indicación de posición del mismo será presentada sobre la pantalla de video a color. La posición pedida destellará hasta que una indicación sea recibida, confirmando que el cambio está en la posición ordenada; en ese momento la parte de vía (del cambio) terminará de destellar y se presentará como trazo continuo, haciendo parte de la vía.

3.2.2.3 Señales

La situación de las ordenes de control e indicación para cada señal, serán mostradas por símbolos en el diagrama de la vía y por coloración del trazo de la vía, se indicarán las rutas que son controladas por las señales. Señales presentando la indicación "parada absoluta" son iluminadas en rojo fijo con la vía, presentada en blanco fijo.

Cuando la señal altera su indicación y pasa al de "proseguir" el símbolo de la señal cambia también de color y se convierte en verde fijo, asimismo, la vía desde esta señal hasta la próxima señal controlada en la misma dirección aparecerá en verde fijo. Este trazo verde será terminado con una flecha, indicando el sentido de circulación del tren, autorizado sobre la ruta establecida.

Cuando una señal es puesta a "parada absoluta" por el despachador y la temporización no ha terminado, el símbolo de la señal en el diagrama de vía será exhibido en rojo destellante y la ruta para la cual la señal fue ordenada se mostrará en amarillo fijo con una flecha indicando la dirección en la cual el enclavamiento se efectúa. Al término de la temporización la flecha desaparece y el trazo de vía se vuelve al color blanco fijo y la señal a rojo fijo.

Una petición de cambio de aspecto de señal a "proseguir" provocará que el símbolo de la señal se convierta en verde destellante sobre la pantalla de video. Después que el despachador accione la tecla "transmitir" el trazo de vía asociado a la señal se convertirá al color amarillo con una flecha indicando el sentido del itinerario solicitado.

3.2.2.4 Identificación de una sección de vía

Las secciones de vía serán identificadas por números en color azul fijo, abajo de la sección de vía asociada. Estos números se utilizarán para fines de bloqueo de

vía y para el sistema de identificación de trenes.

3.2.2.5 Bloqueos

Se proporcionarán facilidades en el centro de control para el bloqueo de vías, el bloqueo de cambios y el bloqueo de señales. Estos bloqueos restringirán el movimiento de trenes inhibiendo el establecimiento de rutas - en el área bloqueada.

Estos bloqueos son presentados sobre las pantallas de video en color azul. Las secciones de vías bloqueadas y ocupadas serán presentadas en color magenta. El bloqueo de vías y de cambios será obtenido a través del sistema de reporte de operaciones (SRO).

La función de bloqueo de una señal provocará una orden de control interno, que inhibe cualquier otra solicitud para esta señal, hasta el momento de desbloqueo de la misma. La señal deberá presentar la indicación "parada absoluta" antes de que un bloqueo pueda ser ordenado.

La función de un desbloqueo de señal provocará una orden interna de control que anulará el bloqueo, permitiendo así que el sistema de CTC acepte otra vez todas las -- nuevas ordenes asociadas a dicha señal.

3.2.2.6 Llamada al personal de mantenimiento

Un símbolo "LM" en color naranja destellante será presentado en la pantalla de video a color abajo del nombre de la localidad donde el personal de mantenimiento ha sido llamado por medio del sistema de transmisión de datos.

La operación de la tecla "LM" "llamada al personal de mantenimiento", provocará en la localidad de campo seleccionada la activación de un dispositivo de llamada visual (lámpara instalada afuera de la caseta o edificios para los enclavamientos).

La operación de la tecla "CLM" "cancelación de llamada al personal de mantenimiento", generará un control - que causará la anulación de la señal visual, en la localidad seleccionada.

3.2.2.7 Falla del sistema de código

La falla del sistema de código será anunciada con un símbolo "FC" en rojo destellante en la pantalla de video, abajo del nombre de la localidad que falla. Después de corregirse la falla, el símbolo "FC" desaparecerá y si el despachador desea checar la situación actual de la localidad a donde se produjo la falla utilizará la función "rellamada". Esta función genera una solicitud denominada "modo maestro" a dicha localidad y ocasiona el envío al centro de control de las condiciones actuales que prevalecen en esa localidad.

3.2.2.8 Pantallas de video a color

El teclado del despachador contendrá todas las funciones para la operación de las pantallas de video a color. A cada pantalla se le asignarán un número específico el cual mostrará en la parte inferior derecha de la misma.

Entre las teclas de funciones que se tendrán en el teclado, estarán las siguientes:

- La función "prueba de pantalla" que se utilizará para producir patrones de prueba para propósito de mantenimiento sobre la pantalla que esté de reserva. Esta función se puede utilizar solamente cuando un diálogo ha sido terminado.
- La función de mando "borrado de patrones de prueba" se utilizará para volver a la pantalla a su operación normal.
- En caso de irregularidades en lo indicado sobre la pantalla existirá la función "reconstrucción" con la cual se reproducirá la imagen. Esta función será utilizada más comunmente durante el período inicial de pruebas "debugging".
- La función "cambio de pantalla" se utilizará para transferir la información de una pantalla a la que esté de reserva.

3.2.3 Seguimiento de trenes

3.2.3.1 Sistema de Descripción de Trenes (SDT)

El sistema de seguimiento de trenes permitirá al despachador observar los movimientos de trenes en el territorio bajo su control.

Para iniciar el seguimiento automático de un tren que esté listo para entrar en el territorio bajo su control, el despachador debe informar a la computadora la lo

calización del mismo a través de su teclado. Una vez que el tren ha entrado en el territorio controlado, las indicaciones de campo son continuamente monitoreadas para determinar la posición del mismo. Cada vez que el tren ocupa otro CDV, la identificación del mismo es asociada al área donde se introduce. El algoritmo de seguimiento determina el movimiento de los trenes basado en la posición de los cambios y dirección en la cual el tren está preparado para circular de acuerdo a las indicaciones exhibida por las señales. El tren será seguido de esta manera hasta que llegue a su destino o hasta que abandone el territorio controlado. La identificación del tren se cancelará cuando deje el territorio controlado y deberá ser reidentificado si el tren retorna al mismo.

En el caso que el SDT no pueda determinar que un tren se ha desplazado de un área a otra ya sea debido a una falla del circuito de transmisión de código, a una indicación errónea del campo, a una falla del CDV, a falta de correspondencia de posición de los cambios, etc., el despachador deberá corregir esta situación a través de la función denominada "mover tren", del sistema de reporte de operaciones.

La dirección del movimiento de trenes en cada CDV, será mostrada por una flecha en el sentido del movimiento determinado por el SDT.

3.2.3.2 Identificación de trenes (ID)

La identificación de cada tren podrá estar constituida de hasta seis caracteres (dígitos, letras o combinación de ambos). La identificación de cada será presentada en color amarillo, adyacente al trazo de la vía. Si hay dos trenes en una sección de vía (CDV) se mostrarán las identificaciones de ambos. En caso de haber más de dos trenes en el CDV, la primera y la última identificación serán mostradas y complementadas por un asterisco para indicar la presencia de más de dos trenes. Las identificaciones serán mostradas en forma vertical, correspondiendo a la más alta (parte superior) al último tren que ha entrado en el CDV y la más baja (parte inferior) al primer tren.

En caso de que el despachador desee conocer la identificación de los trenes adicionales en una sección de vía, a través del sistema de reporte de operaciones (SRO), podrá solicitar el reporte impreso "OS" (del SRO) de los puestos de enclavamiento adyacentes y comparando las identificaciones de los trenes que han pasado el punto de enclavamiento de entrada, con los del punto de enclavamiento de salida mostrados en el "OS", el despachador podrá determinar la identificación de los trenes que en dicho CDV no han pasado, según el "OS" del punto de enclavamiento de salida.

3.2.4 Sistema de Pantallas de Video a Color

Este sistema dará al despachador una visión unifilar continua del trazo de vía bajo su control, el cual es continuamente actualizado según las indicaciones recibidas desde el campo y los controles enviados por el despachador. El trazo de la vía sobre las pantallas de video a color será representado por una línea.

La situación de los controles e indicaciones asociadas con el movimiento de trenes serán presentados gráficamente sobre las pantallas de video por medio de distintos colores, fijos o destellantes, sobre el trazo unifilar de la vía, normalmente indicado en color blanco. En general, los controles seleccionados se presentarán en forma destellante y las indicaciones recibidas desde el campo se presentarán en forma fija. Los controles e indicaciones no directamente relacionados con el movimiento de trenes se presentarán por símbolos mnemónicos iluminados arriba del diagrama del trazo de vía.

3.2.5 Alarmas y mensajes de diagnóstico

El sistema CTC proporcionará dos categorías de alarma, las cuales son:

- Crítica
- Informativa

Las alarmas críticas serán presentadas sobre la primera línea de alarmas de la pantalla de video a color más cercana al despachador; esta alarma exige del despa--

chador una contestación antes de ser removida. Las alarmas críticas serán complementadas por una alarma acústica y requerirán la contestación por parte del despachador, - lo cual se realizará por medio de la tecla de "conocimiento de alarma" (CA), del teclado de control.

Las alarmas informativas serán presentadas sobre la segunda línea de alarmas de la pantalla arriba mencionada y no requerirán de una acción por parte del despachador ni serán complementadas con una alarma acústica. Una alarma informativa será anulada al arribar la siguiente, después de transcurrido un período mínimo de 20 segundos.

Los mensajes de diagnóstico serán presentados en forma impresa y servirán al personal de mantenimiento del sistema para el monitoreo del funcionamiento del mismo.

3.3 Sistema de Reporte de Operaciones (SRO)

3.3.1 Uso de pantallas de video en el SRO

El SRO se utiliza para generar diversos tipos de reportes, por medio de un teclado alfanumérico de la consola del despachador asociado a una pantalla de video en blanco y negro y una impresora.

Las primeras tres líneas de la pantalla antes mencionada son dedicadas a la entrada de funciones de control y de respuestas. La línea 1 y 2 son para las entradas de datos preformados y la línea 3 es para las respuestas. Las otras líneas de la pantalla son usadas para la presentación de reportes, los cuales son actualizados au-

tomáticamente en forma continua.

El teclado contendrá todas las funciones para la selección y presentación de controles en la forma antes establecida. Una vez hecha la selección, el despachador puede introducir los datos a través del teclado en los campos de entrada (los campos de entrada serán designados por paréntesis). Terminada la introducción de datos, el despachador accionará la tecla "entrada" y si no hay errores en el mando, la línea 3 mostrará la respuesta del mando; si fueran encontrados errores, los campos en error se presentarán destellando y la línea 3 mostrará un mensaje indicando la razón del error, En este momento el despachador podrá corregir el error y reintroducir los datos correctos.

Las líneas de control creadas para la pantalla, consisten de un texto protegido y de campos de introducción de datos no protegidos. Los campos de introducción de datos son los únicos lugares donde las informaciones o datos son introducidos o cambiados por medio del teclado.

A continuación se define el tipo de mensajes de respuesta general:

- a) Entrada rechazada-solicitud no autorizada = se presenta como consecuencia de una solicitud no autorizada hecha sobre el teclado de la consola del despachador.

- b) Entrada procesada-sin error = se presenta como resultado de una solicitud autorizada, es decir, sin errores.
- c) Entrada rechazada-texto = se presenta como un error particular que ocurre durante la interacción a una función que aparentemente no contiene errores de mensajes anteriores.

3.3.2 Entrada de mandos

La entrada de mandos será usada por el despachador para adicionar trenes al sistema o reidentificar, mover, cancelar, retirar trenes del sistema cuando sea necesario así como para el monitoreo de datos acumulados necesarios para las funciones mencionadas.

3.3.2.1 Identificación del despachador

Antes de iniciar su turno, el despachador deberá reidentificarse con el sistema a través de la función "registro de entrada" y presentar su autorización. De esta manera se le autorizará para tener acceso a las funciones y reportes. Al término de su turno, el despachador deberá accionar la función "registro de salida", para permitir que otro despachador lo sustituya.

3.3.2.2. Identificación de trenes

El despachador podrá asignar una identificación particular a cada tren sobre su territorio de control. Es

ta identificación estará compuesta de hasta seis caracteres (digitales, letras o combinación de ambos). El despachador podrá también asociar la identificación del tren - con la ocupación de secciones de vía, usando los números de áreas presentados en la pantalla de video a color. Estos números de área identificarán las secciones de vía y serán usados para la introducción de mandos.

Los mandos citados se utilizarán como sigue:

- ') El mando de control "adición tren", sirve para dar una identificación a todos los nuevos trenes que entren al sistema controlado. El sistema automáticamente asignará una identificación de tren, si el despachador no se la proporciona.
- ') El mando "reidentificación de tren", permitirá cambiar la identificación de trenes.
- ') El mando "cancelar tren" cancela las identificaciones de trenes del sistema SDT, pero guarda los datos registrados del tren cancelado en la memoria de la computadora para reportes futuros.
- ') El mando "mover tren" transfiere la identificación de un tren de una sección de vía actual a otra.
- ') El mando "retirar tren", retira un tren del sistema SDT y cancela todos los datos sobre el mismo. Una vez retirado el tren será completamente desconocido en el sistema.

3.3.2.3 Identificación de bloqueo de cambio

El mando "bloqueo de cambio" se usará para el bloqueo de cualquier cambio específico. Los datos y el tiempo podrán ser proporcionados a cada momento, pero esto no significará que el cambio sea automáticamente desbloqueado. Para desbloquear el cambio el despachador deberá operar el mando "desbloqueo de cambio".

3.3.2.4 Identificación de bloqueo de vía

El mando "bloqueo de vía" será usado para el bloqueo de cualquier sección específica de vía. Los datos y el tiempo podrán ser identificados a cada momento, pero esto no significa que la sección de vía sea automáticamente desbloqueada. Para desbloquear la sección de vía es necesario operar el mando "desbloqueo de vía".

3.3.3 Presentación de reportes

Como se ha dicho anteriormente, las líneas 1 a 3 inclusive de la pantalla son usadas para las entradas de datos y respuestas. Las líneas 4 a 24 inclusive serán -- usadas simultáneamente para la presentación de reportes del SRO. Las presentaciones de reportes no serán directamente alteradas por las entradas en las líneas de mando. Por otro lado, los reportes presentados no pueden ser alterados por el teclado. Estos reportes son usados solamente para presentación. Los datos de acontecimientos de

la circulación de trenes son constantemente acumulados y registrados para futuros reportes y presentaciones.

3.3.3.1 Reporte "OS" de operación de trenes

El reporte "OS" de trenes contendrá todos los acontecimientos "OS" registrados por tren. Los datos de acontecimientos "OS" se obtienen cuando el tren pasa a través del territorio CTC y son transferidos para el SRO. El reporte "OS" de operación de trenes será presentado solamente a solicitud y será individual para cada tren. La información obtenida en cada reporte estará constituida por la identificación del tren, las localidades que el tren recorrió hasta el momento de la presentación del reporte y los tiempos asociados registrados para los acontecimientos "OS".

3.3.3.2 Reporte de bloqueo de cambio

El reporte de bloqueo de cambio contendrá una lista de todos los cambios que son controlados por un despachador y que fueron bloqueados. La información contenida sobre la pantalla consistirá de la identificación de la localización del cambio, del número de cambio, del tiempo de bloqueo, del tiempo del fin del bloqueo, de la identificación del despachador, del tiempo real del desbloqueo y de otros comentarios adicionales.

3.3.3.3 Reporte de bloqueo de vía

El reporte de bloqueo de vía contiene una lista de todos los tramos de vía controlados por un despachador y que fueron bloqueados. La información contenida sobre la pantalla consistirá del número de autorización (asignado automáticamente por el sistema), de la identificación del despachador, de la identificación del tren, de la identificación de la persona a quien se le autorizó el bloqueo de vía, de los límites del bloqueo, de la sección de vía, del tiempo de inicio, del tiempo de fin de bloqueo, del tiempo real de fin de bloqueo y de comentarios diversos.

3.3.3.4 Reporte de localidad

El reporte de localidad contiene todos los acontecimientos operacionales referentes a trenes por localidad. Estos consisten de: órdenes de movimientos de cambio, órdenes de libramiento de señales, tiempo en que estos mandos fueron mandados, así como los tiempos reales en que el "OS" fue ocupado y desocupado por un tren que aceptó la señal.

3.3.3.5 Autorizaciones

Despachador:

- Puede solicitar todos los reportes al SRO
- Puede ejecutar todas las funciones de mando del SRO
- Puede solicitar todas las presentaciones para controles de pantallas de video

- No puede controlar los equipos de vía de una sección que no está asignada a su territorio
- No puede modificar datos de un tren que se encuentre sobre una sección de vía que no esté asignada a su territorio.

Despachador jefe:

- Puede solicitar todos los reportes del SRO
- Puede solicitar operar los mandos "registro de entrada" y "registro de salida"
- No puede modificar datos de ningún tren en ningún momento.

3.3.3.6 Impresiones de reportes

Todos los reportes serán impresos automáticamente cada 24 horas y después de esta impresión, la información será borrada del sistema. Algunos tipos de reportes pueden ser impresos automáticamente por el sistema conforme a los requerimientos de operación; a solicitud del despachador el sistema proporcionará en forma impresa los reportes que requiera.

3.4 Hardware del Sistema de Cómputo (CTC)

El sistema de cómputo está formado por dos computadoras PDP 11/44, subsistemas redundantes de comunicación y digitales de entrada/salida. Cada máquina reporta su estado a un subsistema de fallas común a ambas; si el equipo en operación se daña al notificar la lógica de fallas

de sus condiciones de operación, la misma lógica notifica al despachador para que éste haga la transferencia a la computadora de reserva.

3.4.1 Procesador

La computadora PDP 11/44 propuesta es una computadora de objetivo general de rango medio diseñada para operar en medios tanto de tiempo real como multiusuario.

La PDP 11/44 fue escogida porque tiene la potencia y capacidad para manejar diversas aplicaciones. Usa palabras de 16 bits (2 bytes de 8 bits) con direccionamiento directo de 32 Kpalabras o 64 Kbytes. Más de 400 potentes instrucciones incluyendo operandos sencillos y dobles. -- Protección a programas y datos y direccionamiento expandido hasta 1 Mbyte de memoria son proporcionados por una -- unidad auxiliar de memoria. Tiene vectores hardware que -- interrumpen en cualquiera de los 4 niveles de hardware. -- Ocho registros de objetivo general además están incluidos. Se incluye equipo adicional con el sistema como:

- *) Ocho Kbyte de paridad bipolar de memoria de repuesto- interfaz con memoria principal organizadas para proporcionar ejecución de programas muy rápida y de muy alta velocidad (532 nanosegundos en ciclo de tiempo efectivo)
- *) Terminal impresora
- *) Consola de interfaces de comunicaciones serie
- *) Reloj de frecuencia (generador)
- *) Protección al byte de paridad en todos los direccionamientos y datos.

- ') Capacidad de auto-reinicio y alimentación en fallas
- ') Diagnóstico del sistema en operación
- ') Consola del operador
- ') 128 Kpalabras (256 Kbytes) de memoria MOS con código corrector de errores, detección y corrección lógica y - baterías de respaldo.

3.4.1.1 Disco

Cada sistema estará proporcionado con un controlador que maneje dos canales de disco, removibles, de almacenaje medio, de 28 Mbyte. Tal configuración suministra - 56 Mbyte de almacenaje en disco por procesador en operac-- ción. El controlador tiene la capacidad de manejar hasta 8 canales, permitiendo para futuras expansiones hasta 224 Mbytes de almacenaje en disco. El tiempo de acceso total (rotación y búsqueda) es de 49 ms, seguido por un radio - de transferencia de 465 Kbytes por segundo en un modo de acceso directo a la memoria.

3.4.1.2 Consola teleimpresora

Una teleimpresora con capacidad de 180 caracteres por segundo, estará dedicada a cada de las consolas CPU. Será utilizada para las entradas de mandos operacionales salidas de alarmas operacioneales y comunicaciones con el sistema de operación. Estará interconectada con el siste- ma por medio de un interfaz serie-asíncrono a través del módulo multifunciones.

3.4.1.3 Comunicaciones

Comunicaciones serie entrada-salida son suministradas por un puerto de 16 bits y por un interfaz asíncrona con 20 mA de corriente de carga. Un dispositivo usa 20 mA de corriente en los loops de señalización debido a su capacidad de conducción e inmunidad al ruido mientras que el otro usa corriente de señalización compatible con los estándares industriales. Una unidad se interconecta a las unidades de video y teclados del CTC y la otra unidad se interconecta a la unidad de código (transmisión de datos).

3.4.1.4 Teclados

El teclado permitirá acceder al sistema CTC y al sistema SRO. Las teclas serán agrupadas en colores de acuerdo con sus funciones lo que mejora grandemente la interfaz hombre-máquina. Toda la lógica de control está contenida en una tarjeta de circuito impreso que utiliza circuitos integrados TTL que van montados en bases para facilitar el mantenimiento. Este teclado permite estar manejando velocidades de 300, 1200 o 2400 bauds.

Existe un procesador (ordenador) auxiliar que se usa en los sistemas de cómputo que se basan en la PDP 11/44. Este opera en paralelo con la CPU principal y tiene una arquitectura particularmente arreglada para el movimiento de datos, procesamiento de caracteres, dirección aritmética y otras funciones necesarias para controlar los dispositivos E/S, formato de datos y procesamiento de las comunicaciones de protocolo. Este dispositivo elimina el control sobre las salidas a las pantallas.

3.4.1.5 Subsistema de pantallas de video a color

Generadores de video con sus respectivos monitores en color serán proporcionados para presentación general - de los diagramas de vía listados en el tablero. El generador de video es un subsistema electrónico que procesa señales digitales para el monitor de video en color. Este generador se conecta directamente a la PDP 11/44 a través de un controlador de acceso directo a memoria que permite la recepción y/o transmisión de datos y controles en paralelo, además, tiene capacidad para manejar hasta ocho monitores. Cada monitor está conectado a su respectivo canal establecido en el generador a través de 3 cables coaxiales, cada uno de los cuales conduce el haz rojo, verde y azul.

3.4.1.6 Reloj programable

Un reloj será utilizado en el sistema para proporcionar interrupciones programadas en intervalos de tiempo real y en intervalos temporizados. Este reloj se va a poder programar para que seleccione una de las cuatro frecuencias de trabajo. Un cristal a 100 Khz suministra un intervalo de tiempo básico (señal patrón).

3.4.1.7 Cinta magnética

Una cinta magnética para transporte y control será proporcionada a cada procesador y ambas trabajarán inde--

pendientemente. El subsistema de cinta está controlado - por microprocesador y por un diseño mecánico que resulta en un nivel verdaderamente excepcional de confiabilidad, integridad de datos y mantenimiento. Esta cinta tiene una capacidad de 1600 bits por pulgada con una velocidad de - 75 pulgadas por segundo. Cada controlador manejará una -- cinta.

3.4.1.8 Impresoras

Dos unidades impresoras y de control serán suministradas. Dichas impresoras manejan 600 líneas por minuto, 132 columnas y 96 caracteres, además, tienen una gran velocidad de copiado. Las impresoras estarán conectadas al procesador central apropiado mediante el bastidor de transferencia de comunicación. Una impresora estará localizada en el cuarto de computadoras (cuarto de equipo) y facilitará el desarrollo del software y el respaldo para la - segunda impresora, la cual, estará localizada cerca del - despachador (ver fig 3-1) y se utilizará para los reportes del SRO.

3.4.1.9 Pantallas de video

Se contará con terminales de video para listar los reportes del SRO, además serán usadas como una función de entrada y un dispositivo de repaso (inspección). Las terminales utilizadas serán programables conteniendo un microprocesador de objetivo general y mapeo de memoria pro-

porcionando los atributos necesarios para la efectiva operación del sistema. La terminal opera sobre una línea de comunicaciones serie asíncrona por un interruptor-selecc--terde la relación de bauds, de 110 a 19,200 b.p.s., los --cuales serán determinados por la localización y el uso --respectivo. La terminal provee listados con 24 líneas de 80 caracteres con un número de atributos especiales como: protección de datos y formato de control, regresión del --video, video de salida compuesto, etc. Las terminales se--rán conectadas al procesador central a través de multiple--xor y controlador de la línea serie asíncrona.

3.4.2 Subsistema digital de entrada-salida.

Para mantener un alto grado de confianza y flexibi--lidad, se utiliza un sistema periférico de tiempo real. --El sistema es capaz de manejar sistemas analógicos y digi--tales y provee capacidades de control y monitoreo. Los mó--dulos de salida digital proporcionan una salida basada en palabras de 16 bits con una gran variedad de condiciones en la señal de salida y opciones de aislamiento disponi--bles. Estas opciones proporcionan algunas combinaciones --de "1" lógicos altos y bajos, estado fijo, pulsado, nivel lógico, interruptor electrónico, colector abierto, fusi--bles para fuentes internas y externas y diodos de supre--sión para las salidas como se requiere para proporcionar el nivel propio de conversión y aislamiento. Los módulos de entrada digital suministran una variedad de circuitos

sensitivos a las diversas formas de las señales de entrada asociadas con los parámetros binarios encontrados en las diferentes interfaces del equipo en todo el sistema. Algunas combinaciones de nivel lógico, fuentes de voltaje y corriente, "1"s lógicos altos y bajos, interrupciones, filtrado de los rebotes de la entrada y aislamiento óptico pueden especificarse para proveer los niveles de conversión y aislamiento requeridos. Todos los módulos soportan cables a la entrada y salida del tipo par trenzado, lo que proporciona una gran inmunidad al ruido y por tanto, una gran integridad de datos. Los módulos individuales son enchufables, en grupos de hasta 16, a un controlador de datos a través del bus de datos en paralelo. El controlador de datos y los sucesivos controladores están acoplados e interconectados por medio del bus en paralelo de E/S a la tarjeta interfaz de expansión a la PDP-11. La tarjeta de expansión de E/S provee los datos, control y estado de conversión entre el bus de la PDP-11 y el bus periférico de tiempo real. Un sistema redundante de E/S digital será proporcionado para máxima disponibilidad del sistema. El subsistema de E/S digital, además provee conexiones al subsistema de fallas, diversas funciones de entrada y a circuitos de indicación.

3.4.3 Consola del despachador

Esta consola fue diseñada para satisfacer las necesidades específicas de un despachador de tren. Ella pro-

vee estaciones para monitores de video gráficos en color o estaciones de montaje de bastidores de 19" para otras aplicaciones. Una gran área superior del pupitre es para hojas de trenes, espacio para archivo y un lugar para el teclado y para la unidad de video en blanco y negro. La consola del despachador estará ubicada en el cuarto de control dispuesta de tal manera que proporcione la máxima eficiencia al sistema de operación y la máxima facilidad para mantenimiento. Las estructuras entre las pantallas de color serán negras, lo que reducirá la brillantez y la distracción del despachador.

3.4.4. Fallas y cambios

Para implementar la doble arquitectura propuesta; un camino efectivo de todas las entradas y/a salidas desde las computadoras debe estar disponible para cuando el sistema falle. Este medio es provisto por el subsistema de control de fallas. Cuando la máquina en funcionamiento falla al informar convenientemente a la unidad de fallas de su correcto funcionamiento y la máquina de reserva es puesta para seguir con las funciones del sistema, el subsistema de fallas, por medio del toque de un botón, transferirá todas las entradas y salidas del sistema en falla al sistema de reserva. La conmutación actual está acompañada por tres distintos tipos de subsistemas de cambios, puesto que hay tres tipos de conexiones entre la computadora misma y el mundo real: comunicaciones de E/S digital y señales gráficas en color. El cambio de E/S digital es proporcionado por paquetes de palabras de 8 bits median-

te módulos de transferencia hechos usando relevadores de gran confiabilidad e inmunes al medio ambiente (sellados) La transferencia de comunicaciones es provista por módulos similares. El cambio de las gráficas a color es proporcionado en módulos de video con puertos de 8 bits y usando relevadores con las características anteriores. El sistema está diseñado para cambiar todas las líneas de entrada y salida en caso de que una computadora falle pero las líneas de video y de detección en campo pueden ser cambiadas a un puerto una vez que se haya desarrollado y probado el sistema de reserva.

Por otro lado, la sala de equipo, como se muestra en la figura 3-1, contendrá principalmente, lo siguiente:

- Gabinetes de computadoras
- Equipos periféricos
- Bastidores con equipos de código y de ondas portadoras.
- Bastidores de distribución de alimentación
- Superficie de trabajo y almacén

3.4.5 Medio ambiente

Las condiciones del medio ambiente (propiedades del aire) son muy importantes para garantizar un funcionamiento y tiempo de vida satisfactorio para las computadoras y el equipo periférico. Las condiciones del medio ambiente de las salas deberán ser las siguientes: variación de humedad relativa de 40 a 60%; variación de temperatura entre 18° y 24°C; presión positiva diferencial entre las sa

las y el exterior 0.1 a 0.2 pulgadas de agua (a 4°C) o un equivalente de 0.2458×10^{-3} a 0.4916×10^{-3} atmósferas. Como información se indica que las condiciones óptimas de operación del equipo son entre 21° y 22°C y $50\% \pm 3\%$ de humedad relativa.

Además un adecuado filtrado y un mantenimiento preventivo regular planeado en el limpiado de los filtros - ayudará a conservar baja la generación de partículas en - el medio. Adición de aire fresco, volumen y proporción en el cambio y la temperatura diferencial deben ser tomadas en cuenta para el diseño del sistema. La cantidad de aire requerido depende del total de carga sensible al calor - que se disponga, calculada mediante la suma de la computadora y equipo periférico, luces, personal, disipación de calor en el cuarto, ubicación geográfica, etc, y la temperatura diferencial que pueda ser tolerada y que permanezca dentro de las especificaciones. Se recomienda el uso - de controles que modulen la temperatura para el sistema - de aire acondicionado, así como un método conveniente que desconecte la alimentación en caso de emergencia y sensores de fuego.

3.4.6 Cableado

Los diversos cables y alambres que interconectan - los bastidores del cuarto de equipo, el cuarto de control y las comunicaciones, se instalarán bajo el piso falso. Los cables y alambres estarán agrupados y dirigidos de -

tal manera que minimizarán el cruce de conversaciones y evitarán fuentes generadoras de ruido. Todas las acometidas se harán proporcionando una separación entre los diferentes cables agrupados en líneas de alimentación, líneas de código, líneas de señal y líneas de datos. Esta separación será de dos pies mínimo entre los cables de alimentación y los demás cables. Cuando sea necesario cruzar los cables de alimentación tendrá que hacerse de tal manera que sea perpendicular para evitar la inducción y/o interferencia. Además, como ya se indicó, es necesario mantener un grado suficiente de humedad dentro del cuarto, lo que minimiza las posibilidades de que exista electricidad estática, la que provoca ruido en los cables. Un par trenzado (telefónico) o un cable coaxial son adecuados para limitar el ruido en los cables de datos y de señal. Por último, todos los cables de datos del sistema de cómputo serán del tipo enchufable para facilitar el mantenimiento y las posibilidades de expansión del sistema .

3.4.7 Alimentación

El sistema de alimentación para el sistema CTC deberá ser de $127 V_{CA} \pm 10\%$ monofásica y $220 V_{CA} \pm 10\%$ trifásica, en conexión estrella con tierra neutra y todo a 60 Hz, ± 1 Hz.

Para garantizar una alimentación confiable, las 24 horas se contará con un sistema de alimentación no interrumpible (UPS, cap 5) con un conmutador estático de re-

versión y un grupo generador diesel.

Las acometidas de las líneas de energía industrial deberán ser protegidas por apartarrayos en el lado primario del transformador reductor y proporcionado por otros. Toda la red de distribución de energía alterna deberá ser a través de los bastidores de alimentación, esto con el fin de tener un control de la alimentación. La distribución de la energía trifásica se pasará por cinco hilos que llevarán las tres fases, una tierra neutra y una tierra separada para los equipos. Las derivaciones de fase única serán a tres hilos.

Se hará todo lo posible por mantener el equilibrio del sistema dentro del 10%, lo que incrementará la eficiencia, reducirá el consumo de alimentación y costos de operación. También se recomienda el empleo de un interruptor que pueda cortar todas las fuentes de alimentación de los sistemas de computadoras y aire acondicionado en caso de emergencia.

3.4.8 Piso falso

Para las salas de equipo y de control se recomienda piso falso con una elevación de 30 cm (12 pulgadas) para facilitar el acceso de cables a las mismas. Este piso falso puede estar constituido por cubiertas removibles de acero sostenidas por pedestales. En la selección del piso deben considerarse factores tales como la conductividad en la superficie, facilidad de mantenimiento, durabilidad aspecto y cantidad de carga soportada.

3.4.9 Iluminación

El valor de la luminiscencia deberá ser aproximadamente de 650 lumens/m^2 , medido a 70 cm del nivel del piso. Además, la sala de control deberá estar iluminada de un modo que garantice reflejos mínimos, aparte de que deberá existir una iluminación mínima detrás del despachador para evitar brillos sobre las pantallas de video y por último, la consola del despachador deberá estar equipada con una lámpara orientable.

Ahora que ya se han descrito las funciones principales del sistema CTC así como las secundarias, podemos señalar que la concentración de toda la información generada por la señalización, tanto en campo como en cabina, y la de telecomunicaciones se logra en el CTC, el cual se encarga de la regulación de la operación de la red ferroviaria, como se indicaba al principio de este capítulo.

Para centralizar el mando y el control de todos los sistemas es indispensable contar con la teletransmisión que está incorporada en el sistema de base y debiendo tener por tanto, un porcentaje de disponibilidad elevado. Este sistema de teletransmisión así como las comunicaciones existentes en la línea electrificada son descritos en el capítulo siguiente.

C A P I T U L O

IV

T E L E C O M U N I C A C I O N E S

4.1 Introducción

En materia de telecomunicaciones necesarias para controlar el movimiento de los trenes en el sistema, así como para manejar la información requerida para el control del personal, servicio de pasajeros, servicio de carga, utilización de fuerza motriz, equipo de transportes, servicio de mantenimiento y administrativos en general, - además de un incremento de la eficiencia en la operación, lo que trae consigo mayor seguridad, confiabilidad, rapidez, capacidad de transporte y economía, se dispone de los siguientes sistemas de comunicación en la red:

- a) Comunicación automática de discado directo, entre las diferentes dependencias, como estaciones, oficinas administrativas, talleres, oficinas de tráfico, de mantenimiento, etc.
- b) Comunicación telefónica selectiva entre la oficina de despacho de trenes y las diferentes estaciones a lo largo del trayecto controlado por la propia oficina de despacho (CTC).
- c) Comunicación de radio-móvil entre la oficina de despacho y las tripulaciones de los trenes dentro del área -

- de control de la misma, así como comunicación entre las tripulaciones de un mismo tren y los demás trenes moviéndose en la zona de despacho.
- d) Comunicación telegráfica y de teleimpresión entre las estaciones, los centros de despacho y las diversas dependencias que requieren este tipo de comunicación, tanto para la operación del servicio de trenes como para el manejo de mensajes de carácter administrativo.
 - e) Comunicación de radio móvil para el mejor control de operación en terminales e igualmente para auxiliar en el servicio de mantenimiento.
 - f) Comunicación para manejo de datos que permita centralizar la información en un centro de cómputo.

Para llevar a cabo las comunicaciones citadas se dispone de diversos medios o métodos, los que a continuación se describen.

4.2 Composición de las líneas de transmisión

Las telecomunicaciones se encargan de las líneas de transmisión. Estas se pueden dividir en dos grupos: sistemas alámbricos e inalámbricos. Ambos sistemas están unidos entre sí y se integran para formar una red de comunicaciones, la cual, depende del grado de confiabilidad, distancia, número de líneas, etc.

En los días en que las líneas telegráficas y telefónicas jugaban el papel principal, los alambres aéreos -

constitúan la mayoría de las líneas de transmisión para las comunicaciones ferroviarias. En años recientes, sin embargo, ha resultado indispensable transmitir, procesar y controlar la información en orden para garantizar el manejo fluido y el incremento de seguridad de las empresas ferroviarias. Los alambres desnudos tienen defectos intrínsecos tales como capacidad de línea limitada, riesgo de inducción en las comunicaciones por la electrificación en corriente alterna e inestabilidad provocada por desastres, condiciones meteorológicas, etc, por esto es que han sido reemplazados por los sistemas de radio SHF y portadora en cable coaxial para líneas de transmisión a gran distancia. Debido a una improvisación de la calidad de transmisión y comunicación de datos, se han desarrollado sistemas como el CTC y el SSCA, los cuales están directamente enlazados a las diversas computadoras, para la transmisión, proceso y control de la información.

La tabla 4-1 proporciona los rangos de frecuencia utilizados en los distintos sistemas de comunicación.

4.2.1 Cable

El sistema de transporte férreo está asentado en rieles, a lo largo de los cuales están instalados una serie de enclavamientos por lo que surge la necesidad de garantizar un flujo de información y de enlace entre ellos. Para esto, es necesario instalar líneas alámbricas a lo largo de la vía (rieles). En los albores, alambres desnudos o pelones se usaron para este propósito. Este tipo de

Tipo de onda	Frecuencia	Aplicación
SHF	3000 MHz a 30 GHz	Microondas (7.5GHz)
UHF	300 MHz a 3000 MHz	Teléfono de tren, radio teléfono para tripulación (400MHz)
VHF	30 MHz a 300 MHz	Diversos tipos de enlaces (150 MHz)
HF	3 MHz a 30 MHz	
MF	300 KHz a 3 MHz	Para mantenimiento de líneas de alta tensión y barcos (2 MHz)
LF	30 KHz a 300 KHz	Líneas de transmisión por cable
VLF	3 KHz a 30 KHz	Portadora (alambres desnudos y telégrafo)
ULF	300 Hz a 3 KHz	Alambres telefónicos

Tabla 4.1 Banda de frecuencia utilizada en las diversas comunicaciones.

alambres es de una estructura tal que sus características eléctricas tienden a cambiar grandemente bajo la influencia de las condiciones meteorológicas y a ser afectados por tormentas, nevadas, rayos y otros desastres naturales y por cosas hechas por el hombre, como el robo. Además, como su capacidad es limitada, virtualmente cada alambre desnudo ha sido reemplazado por un cable en los modernos ferrocarriles.

Normalmente, el cable es un paquete en la forma de un cordón en el cual, un gran número de delgados alambres concéntricos, conocidos por alambres interiores, están aislados, trenzados y forrados. Para los cables de comunicación, los alambres interiores están estandarizados en 0.4 0.65 y 0.9 mm de diámetro; otros diámetros incluyen 0.32 mm, 1.2 mm, etc. Para los cables de señalización, algunos están trenzados con siete alambres de cobre y otros usan alambres de cobre como su centro.

Para el aislamiento del alambre interior, se usó por resultar muy práctico, la aplicación de papel seco o vinilo, pero actualmente, el polietileno o el polietileno espumado es usado. Para éste último, finas burbujas de aire están contenidas dentro del polietileno y las características de transmisión han sido mejoradas. El polietileno espumado es usado como cable conductor en los sistemas con portadora.

Para la cubierta protectora de los alambres interiores, se usó por resultar muy práctico, el plomo, pero -- desde 1955 ha resultado práctico el uso de polietileno en muchos casos y vinilo en otros. Hoy día, son usados además forros de aluminio y de otros materiales con determinadas especificaciones. Cuando un cable va a ser enterrado en el suelo, es forrado con una capa de acero, vinil, polietileno o algún otro material contra la corrosión y -- la prevención de daños externos. Para cables de comunicación, dos alambres o cuatro alambres interiores son trenzados igualmente en un arreglo adecuado y son ensamblados en capas; o cables sin forro son suspendidos de los ca--

bles de catenaria con ganchos. En secciones electrificadas con corriente alterna, el método de suspensión aérea no es usado cuando se utilizan cables forrados con aluminio. En años recientes, cables de aluminio corrugado se han desarrollado, permitiendo así, usar el método de suspensión aérea.

4.2.2 Comunicación por portadora.

Un cable de comunicación es la línea de transmisión más básica pero en términos generales, el cable está compuesto solamente por dos alambres interiores (par telefónico) para un circuito simple. Consecuentemente, en caso de que haya un incremento en el volumen de las comunicaciones telefónicas, habrá necesidad de incrementar el logaritmo a un punto donde la demanda pueda ser satisfecha, pero costaría una cantidad enorme de dinero incrementar el número de líneas de mediana y gran distancia. Sería extremadamente económico si existiera un método con el cual una pluralidad de comunicaciones pudiera hacerse simultáneamente con un solo circuito. Para satisfacer esto, técnicas como comunicación por portadora y transmisión múltiple han sido desarrolladas.

4.2.2.1 Transmisión múltiple y portadora.

En la emisión de radio, las ondas de sonido son convertidas en ondas eléctricas por medio de microfónos - en los estudios de cada emisora, pero éstas no pueden ra-

diarse. Para esto, cada emisora porta (transmite) ondas eléctricas en una frecuencia específica a un receptor en cada familia. Con el receptor, un canal es seleccionado y las voces son reproducidas.

Por lo tanto, en comunicación por portadora, la onda electromagnética a alta frecuencia (onda portadora), la cual se encarga de la transmisión (llevada) es convertida en una señal de voz u otra onda (o modulada) y transmitida; las componentes de la señal provistas para la onda portadora son quitadas en el receptor (o recuperadas) y reproducidas en voces y otros.

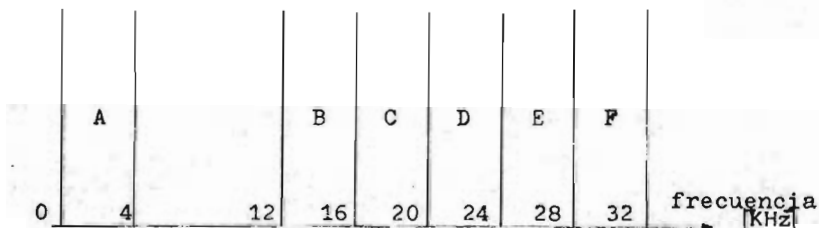


Figura 4.1 Principios de la transmisión por división de frecuencia.

Como se indica en la figura 4.1, A representa el rango de frecuencia (banda de audio) y su uso es común para los cables. Los otros rangos están normalmente abiertos. Si se está usando una pluralidad de señales, éstas podrían transmitirse por una sola línea, por ejemplo, la señal cuyos componentes de comunicación son puestos en los rangos de frecuencia B, C y D de una manera ordenada sin que se mezclen con las señales adjuntas.

El sistema en el cual una pluralidad de señales in dependientes están acumuladas en una línea portadora y a la vez, un gran número de señales son transmitidas, es - llamado un sistema de comunicación múltiple. De los siste- mas de comunicación múltiple, el sistema en que las seña- les independientes están arregladas es términos de fre- - cuencia y muchas señales son transmitidas, es llamado sis- tema con división de frecuencia.

Lo que se pretende es transmitir senales eficiente- mente en líneas portadoras en rangos de alta frecuencia. Como resultado de esto, se han desarrollado cables porta- dores, cables coaxiales y comunicaciones por microondas - teniendo por base sistemas telefónicos de corta distancia con portadora de cable, sistemas telefónicos con portado- ra coaxial, sistemas SHF, etc.

4.2.2.2 Telefonía por portadora

El teléfono portador múltiple y su instalación es el más popular de los sistemas antes mencionados. Este - sistema usa cables de 0.9 mm de diámetro y está formado - por 12 canales en un rango de frecuencia de 12 a 120KHz. Además, este sistema está totalmente transistorizado. Con un alambre interior del cable de 0.9 mm. de diámetro, hay mucha pérdida para tales frecuencias, así que un repeti- - dor es instalado cada 12 Km, aproximadamente. Cuando la - distancia excede los 100 Kms, la distorsión del patrón de ondas resulta grande y disminuye la recepción así que el modelo está limitado por la distancia, La figura 4.2 indi

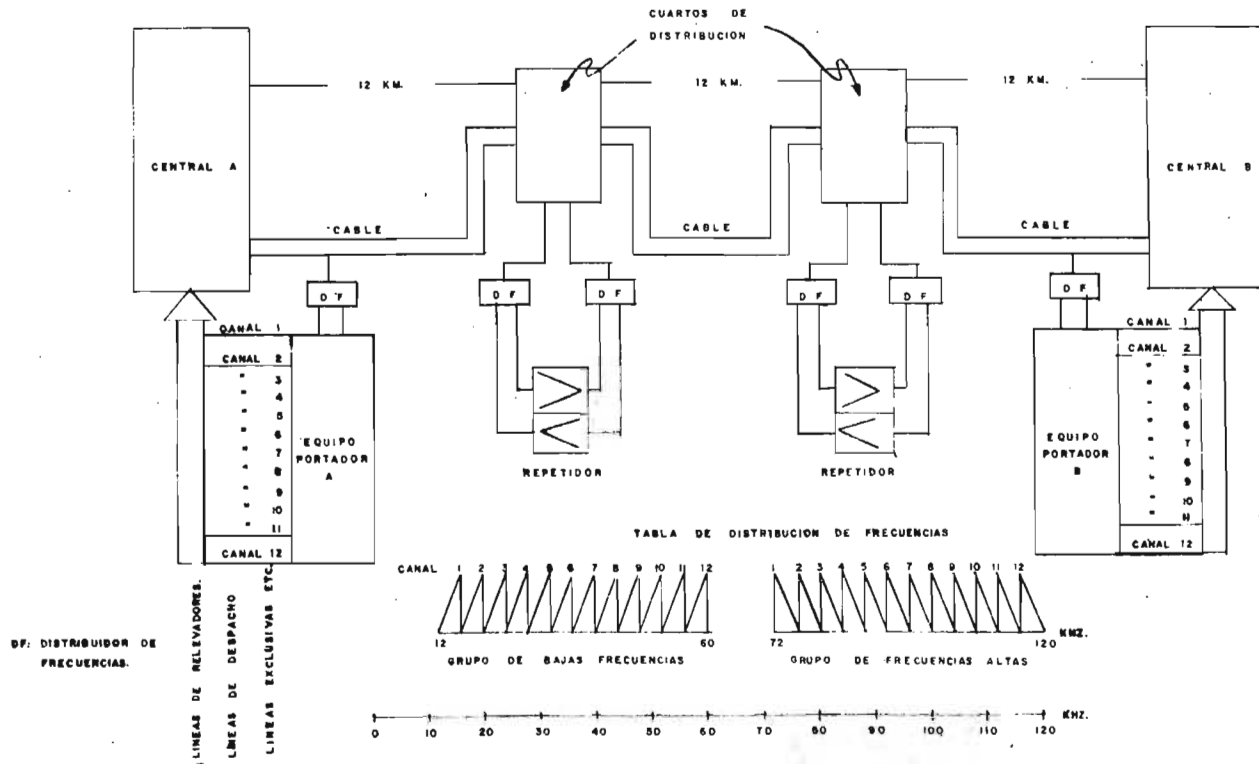


Figura 4-2. Composición del sistema portadora (DF) y arreglo de frecuencias.

ca la composición del sistema y el arreglo de frecuencias.

En adición a esto, hay un sistema con portadora - coaxial con una gran capacidad de circuitos portadores, - haciendo posible ordenar 960 canales en un rango portador de 60 a 4000 KHz y estableciendo la distancia de relevo e en cerca de 3.8 Km.

4.2.2.3 Telegrafía por portadora

Como un medio para transmitir señales telegráficas un cable es cargado directamente con la corriente directa para transmisión a distancias pequeñas. Como el patrón de señal se distorsiona en el caso de transmisión a gran distancia, una onda portadora con una frecuencia adecuada es modulada con las señales telegráficas y enviadas. La parte receptora recupera y reproduce las señales telegráficas. Este sistema de telegrafía por portadora está en uso.

Hay una variedad de sistemas telegráficos portadores pero los principales incluyen un sistema de modulación en amplitud (AM) en el cual la onda portadora es alternada con las señales telegráficas y un sistema de variación de frecuencia (FM) en el que la frecuencia de la onda portadora está variando por el espacio marcado de la señal telegráfica. La figura 4.3 muestra esto.

Este sistema FM es usado principalmente para transmisiones a baja velocidad en el que la distorsión es provocada por el ruido o por el nivel de vibración. Para la transmisión de datos de más de 2400 bits/s, se utiliza un sistema de modulación en fase.

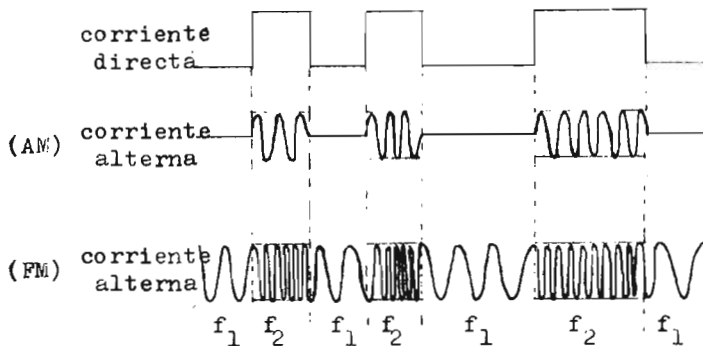


Figura 4-3. Sistema de transmisión por corriente codificada.

Los sistemas FM vienen en dos tipos: un sistema para frecuencias de audio en el que las frecuencias dentro del rango 300 a 3000 Hz son usadas como ondas portadoras y un sistema para frecuencias de superaudio que son usadas como frecuencias portadoras. Para el primero, un circuito telefónico SHF o portador y 6 o 12 canales telegráficos con una velocidad de 200 bits/s son usados. En el segundo sistema, hasta 6 canales podrían acumularse en un par de cables pero hay dificultades en la calidad de los canales. Prácticamente, en todos los casos, el primer sistema de frecuencias de audio es el utilizado. Cabe hacer notar que hablamos de FM a nivel de comunicaciones ferroviarias y no en términos generales.

4.2.3 SHF

Como la modernización del transporte está en pro--

greso, ha resultado indispensable que las líneas de transmisión fueran desarrolladas para hacer frente a la información masiva y reponder a las llamadas para el reparto instantáneo de información.

SHF es la línea de transmisión más altamente confiable y estable por la que un número adecuado de canales puede presentarse con una gran variedad y calidad de transmisión y protección contra desastres.

4.2.3.1 Características de las comunicaciones por SHF.

1) Ancho de banda de transmisión - comunicación múltiple

El sistema SHF usa frecuencias altas de 3000 a -- 30,000 MHz. Para transmisión con 1200 canales puestos en el sistema, se necesitan anchos de banda de 5 MHz aproximadamente.

2) Buena directividad de antena - sin interferencia

Cuando la frecuencia es alta, es posible captarla con una antena con directividad bien definida (viaje de la onda eléctrica en una dirección específica) como las antenas parabólicas.

3) Gran ganancia de antena - con un pequeño rendimiento de transmisión

Las ondas eléctricas son proyectadas desde una antena parabólica irradiadas en un espacio angosto, así que las ganancias son más grandes que las de una antena estándar. Por tanto, el rendimiento de los transmisores podría ser relativamente pequeño para comunicaciones a grandes distancias.

- ') Proyección recta de ondas eléctricas - transmisión con gran confiabilidad y estabilidad

En la banda SHF, las ondas eléctricas se irradian rectas, así que están limitadas por la distancia de obstrucción de vista. Como la transmisión es estable y altamente confiable, es posible a grandes y medias distancias con reflectores y repetidores.

- ') Ruido leve - excelente calidad de canal

En la banda SHF, las ondas eléctricas son afectadas levemente por ruido natural y artificial pero la buena calidad de los circuitos asegura una buena transmisión.

- ') Invulnerable a desastres

En las líneas alámbricas, los alambres son tendidos en grandes distancias con todo lo que esto implica, - pero para el sistema SHF el medio de viaje es el espacio. Además, las medidas tomadas contra fuego, tornados, avalanchas, terremotos, tormentas, etc, para las subestaciones y reflectores de relevo bajo el sistema SHF son mucho menores.

- ') Costos bajos en construcción y mantenimiento

Un sistema SHF está formado por un gran número de canales así que el costo por circuito es bajo, haciendo - este sistema económico. Las únicas construcciones requeridas para este sistema son las estaciones de repetidores,

4.3 Comunicación por fibra óptica

Diez años o más han pasado desde que se iniciara la investigación y el desarrollo de la comunicación óptica usando la luz como medio de conducción.

En este sistema es posible formar circuitos de comunicación sacando ventaja de las características de las fibras ópticas tales como el ancho de banda, pérdidas pequeñas, no inducible, diámetro reducido y la ligereza de las mismas. Por esta razón, las comunicaciones por fibra óptica han llegado a un punto donde sería práctico usarlas no solamente en las comunicaciones públicas sino también en las comunicaciones ferroviarias.

El uso de los sistemas de comunicación de fibra óptica hace posible transmitir imágenes y datos con muy buena calidad. Es posible además en una manera flexible, la comunicación múltiple, ya sea mucha o poca por lo que la transmisión puede ser hecha a bajo costo.

Se espera que las comunicaciones ópticas juegen un papel muy importante en la formación de las redes de comunicación digital en el futuro.

4.3.1 Desarrollo del láser y de la fibra óptica

La luz es una clase de onda electromagnética. La luz que está disponible en la naturaleza es una combinación de ondas electromagnéticas cuya banda es muy ancha y que se extingue por oscilación (fig. 4-4). En 1960 sin embargo, Mainman de los Estados Unidos experimentado descubrió las características del láser color rubí. Este lá-

ser difiere de la luz natural en que es luz coherente en términos de espacio y tiempo con una banda de frecuencia angosta tal como las microondas usadas en radiocomunicación. En 1962, se triunfa en el desarrollo del semiconductor láser, el cual funcionaba en pulsos infrarrojos. Muchas improvisaciones se han efectuado y el semiconductor láser opera continuamente a temperatura ambiente con un promedio de vida de más de 10^5 horas. El semiconductor láser tiene muchas características. Compacto y ligero puede trabajar con pequeñas corrientes eléctricas y si esta corriente eléctrica es modulada por señales, la salida es modulada directamente. El semiconductor láser se ha convertido en la principal fuente óptica para las comunicaciones por fibra óptica.

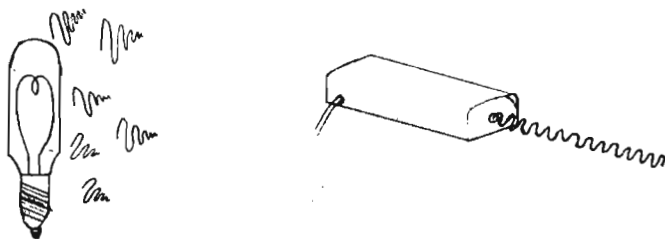


Figura 4-4. Diferencias entre luz incoherente, tal como la luz natural y el láser.

La luz láser tiene una frecuencia de varios cientos de miles de GHz, esto es, más de 10^4 veces tan grande como la frecuencia máxima de varias decenas de GHz de la onda eléctrica usada en comunicación actualmente y tiene

el potencial de transportar información de más 10^4 veces de la que es acarreada en la onda eléctrica.

4.3.2 Desarrollo de la fibra óptica

La luz láser que tiene las características anteriores está sujeta a dispersión y degradación en la atmósfera y no puede ser transmitida a tan grandes distancias como la onda eléctrica. Las líneas de la onda fotoconduktiva con lentes han estado bajo estudio pero no fueron puestas en práctica porque hay muchas dificultades.

En 1970, Coning Company de los Estados Unidos desarrolló una fibra óptica de cuarzo con una pérdida de 20 db/Km y desde entonces las fibras ópticas de poca pérdida han progresado rápidamente. En Japón, se ha desarrollado una fibra óptica con 0.22 db/Km, cercana al límite teórico, con una longitud de onda de $1.55 \mu\text{m}$, resultando una línea de transmisión segura para las comunicaciones ópticas.

La fibra óptica que tiene la construcción más simple es la de índice por paso (SI- step index) con un alto índice de refracción " n_1 " en el centro y muy baja refracción en la cubierta. En esto, la luz es transmitida con una repetición de reflexiones en los límites entre el centro y la cubierta. El problema para la fibra óptica del tipo SI es que las ondas transmitidas caen aparte durante el curso de su transmisión, porque la velocidad de transmisión varía entre los rayos de luz con diferentes ángulos de proyección en la superficie limitadora o en los di

versos modos de transmisión (modo de dispersión).

En contraste, la fibra óptica de índice graduado - (GI) provee la refracción con distribución cuadrada, la velocidad de transmisión es ecualizada para cada modo reduciendo el modo de dispersión (figura 4-5 b). Actualmente, la fibra óptica del tipo GI es usada para las comunicaciones ópticas.

Por añadidura, el diámetro del centro de la fibra óptica de modo único es muy pequeño (varios μm) y únicamente puede transmitir en un modo de los que han sido desarrollados.

Las fibras ópticas de pérdidas pequeñas son hechas de cuarzo.

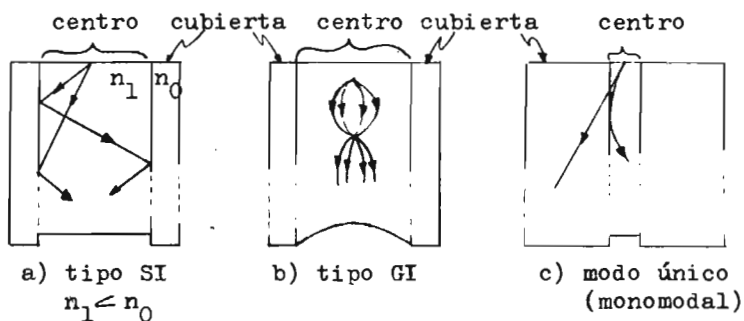


Figura 4-5. Fibra óptica de cada tipo. Las flechas indican el concepto de transmisión.

El diámetro de cubierta es 100 a 200 μm

El diámetro del centro es 50 a 100 μm para tipo SI y GI y varios μm para el modo sencillo.

4.3.3 Méritos y aplicaciones de las comunicaciones por fibra óptica.

') Un mérito de las comunicaciones por fibra óptica es su gran capacidad de transmisión.

Destaca en las comunicaciones por fibra óptica su capacidad mayor y sus pérdidas menores que en las comunicaciones convencionales por cable coaxial. Esto está aún bajo estudio, pero si un sistema óptico múltiple es usado a la vez, será posible incrementar la capacidad. La especificación de la comunicación por cable coaxial convencional y la comunicación por fibra óptica son comparados en la siguiente tabla:

	distancia de relevo	ancho de banda
cable coaxial	5 Kms	12 MHz
Fibra modo único 1.55 μm de longitud de onda	100 Kms	32 Mb/s
Fibra óptica tipo GI, 0.8 a 0.9 μm de longitud de onda	10 Kms	100 Mb/s

Tabla 4.2 Comparación de la comunicación por cable coaxial y por fibra óptica.

Estas características podrían describirse como razón fundamental del por qué hay grandes esperanzas en el futuro de la comunicación por fibra óptica. Esta es usada para comunicaciones de gran capacidad en distancias cortas y medias, tales como la telefonía, las señales de te-

levisión y la transmisión de datos.

- ') Los cables de fibra óptica son pequeños en diámetro y ligeros.

Las fibras ópticas son extremadamente delgadas 100 a 200 μm , lo que las hace más delgadas y ligeras que los cables coaxiales. Esta característica permite diseñar y/o construir con facilidad y de una manera económica además de que las fibras ópticas son usadas para alambrado interno de maquinaria que debe ser ligera y para la cual, el - ahorro de espacio es primordial como en los aviones y en los barcos.

- ') No hay ruido por inducción electromagnética.

Para el cableado a lo largo de las líneas de alta tensión y las líneas del tren eléctrico así como para el interior de plantas industriales, las fibras ópticas tienen la ventaja de que no son afectadas por la inducción. Particularmente, para comunicaciones ferroviarias, disminuye el costo ya que para el sistema óptico no hay necesidad de aislarlo inductivamente.

- ') No hay cruce de líneas.

Con luz usada como medio de transmisión, no hay - cruces eléctricos como el caso de las líneas de comunicación metálicas.

- ') Ahorro de recursos.

Los materiales están disponibles siempre y no hay

peligro de que se vayan a secar, permitiendo producir fibras ópticas de bajo costo en el futuro.

') Protección contra agua, humedad y calor.

Los cables de fibra óptica pueden ser usados en medios tan desfavorables en los que los alambres de cobre - convencionales no podrían utilizarse.

La comunicación por fibra óptica con una variedad de características tiene por tanto, una variedad de aplicaciones. Para formar sistemas óptimos y económicos en cada campo, hay necesidad de escoger luminarias adecuadas, transmisión de luz y dispositivos receptores.

Como elementos luminosos son utilizados diodos emisores de luz (LED) añadidos al semiconductor láser. El LED es un semiconductor que emite luz incoherente pero de bajo costo y una gran vida útil, siendo usado para comunicación de capacidad media y pequeña en distancias medias y cortas.

Estructuralmente, las fibras ópticas vienen en los modos SI, GI y único y el costo aumenta de acuerdo con este orden. Las fibras de modo único superan en bandas y las fibras tipo GI en transmisión sin repetidor. Para tratar de mejorar esto, actualmente se está llevando a cabo aceleradamente, el desarrollo de dispositivos con nuevos materiales, como los fotodiodos de silicio y germanio.

4.4 Servicios de telecomunicaciones de la nueva red férrea electrificada

Una vez descritos los medios y técnicas de transmisión del sistema procederemos a describir los servicios de telecomunicaciones con que cuenta la línea:

- a) Comunicación automática de discado directo, entre las diferentes dependencias tales como estaciones, oficinas administrativas, talleres, oficinas de tráfico, de mantenimiento, etc.
- b) Comunicación telefónica selectiva, entre el CTC y las diversas estaciones a lo largo del trayecto controlado por el centro de control.
- c) Comunicación de radio móvil, entre CTC y las tripulaciones de los trenes dentro del área de control así como comunicación entre las tripulaciones de un mismo tren y los demás trenes moviéndose en la zona de despacho.
- d) Comunicación telegráfica y de teleimpresión entre las estaciones, los CTC y las diversas dependencias que requieran este tipo de comunicación, tanto para la operación del servicio de trenes como para el manejo de mensajes de carácter administrativo.
- e) Comunicación de radio móvil para el mejor control de operación en terminales e igualmente para auxiliar en el servicio de mantenimiento.

f) Comunicación para manejo de datos que permita centralizar la información en un centro de cómputo.

a) Comunicación automática de discado directo

Este servicio proporciona comunicación en forma automática discando el usuario directamente el número de -- larga distancia correspondiente a la población a donde requiere llamar seguido del número correspondiente a la extensión telefónica que solicita.

La red cubre todas las dependencias con necesidad de comunicación telefónica como son estaciones, oficinas, talleres, CTC, etc. Básicamente, la red de servicio telefónico consta de:

- ') Canales telefónicos de larga distancia entre los centros de conmutación ubicados en las poblaciones donde -- por la configuración de la red resulta conveniente hacer la distribución de rutas.
- ') Centrales telefónicas de larga distancia para la conmutación automática según lo arriba indicado.
- ') Centrales telefónicas locales para el servicio de conmutación interno como en CTC.
- ') Red telefónica local que proporciona las líneas a cada una de las extensiones telefónicas.

b) Comunicación telefónica selectiva

Para el manejo del despacho de trenes en CTC, resultan muy adecuadas las características del sistema de telefonía selectiva, en el cual existe comunicación en --

forma permanente entre el despachador y todas las estaciones a lo largo del territorio a su cargo, lo que permite que las órdenes manejadas a través de este sistema puedan ser escuchadas y corroboradas por dos o más personas en forma simultánea.

Este sistema cuenta con facilidad de llamada selectiva de donde deriva su nombre, lo que consiste en la posibilidad que el despachador tiene de llamar la atención mediante una alarma a cualquiera de las estaciones para entablar comunicación con ella.

Para lograr la comunicación de voz y de llamada en el teléfono selectivo, se utilizará un canal de comunicación de la red básica conectado en forma compartida para todos los teléfonos dentro del circuito de despacho.

c) Comunicación de radio móvil

En adición al servicio de teléfono selectivo, el despachador de trenes puede contar con un servicio de comunicación de radio móvil VHF, mediante el cual se establece comunicación directa desde el centro de despacho con cualquiera de los trenes que se encuentran dentro del territorio. En igual forma, las tripulaciones de los trenes pueden comunicarse con el despachador y entre sí.

Este servicio agiliza en forma muy importante el movimiento de trenes además de que aumenta el factor de seguridad ya que permite a través de la comunicación cons

tante, un conocimiento de todo el personal involucrado en el movimiento de trenes sobre la situación del tráfico en cada momento.

Para lograr este servicio se utilizan estaciones - fijas de radio con una cobertura aproximada de 40 Km dependiendo de las condiciones topográficas. Para cubrir un territorio de despacho completo, se utilizan varias estaciones fijas distribuidas a lo largo del mismo a una distancia aproximada de 80 Km conectadas al centro de despacho a través de canales de comunicación proporcionados por la red de microrondas UHF. Estas estaciones fijas establecen la comunicación a los equipos de radio VHF instalados en locomotoras y aún con algunos equipos portátiles - de mano.

d) Comunicación telegráfica y de teleimpresión

Para el manejo de los servicios de mensajes se utiliza el sistema de comunicación telegráfica y de teleimpresores entre las estaciones, los centros de despacho y las diversas dependencias que requieren este tipo de comunicación.

La red telegráfica está constituida en forma general por canales para este servicio que pueden implementarse utilizando canales telefónicos de voz pudiendo tener - hasta 12 canales telegráficos por cada canal de voz disponible.

La conmutación para interconectar los diferentes -

canales se logra mediante equipos conmutativos manuales o automáticos localizados en los centros de tráfico estratégicamente distribuidos dentro de la red telegráfica.

En todos los lugares donde el volumen de tráfico - lo justifica, se utilizan equipos teleimpresores en lugar de llaves telegráficas, lo que permite una operación más eficiente.

e) Comunicación de radio móvil en terminales

Con el objeto de facilitar la operación en terminales se cuenta en éstas con servicio de radio móvil de comunicación que facilita las labores de patio y operación en general, igualmente se cuenta con este servicio para las labores de mantenimiento dentro del área de la terminal.

f) Comunicación para manejo de datos y teleproceso

La red de telecomunicaciones que se está implementando proporciona los canales de comunicación necesarios para el manejo de información de y entre el computador - central a las distintas terminales de cómputo distribuidas a lo largo de la red férrea así como del equipo de - campo en la zona de control.

4.5 Sistema de Transmisión de Datos (STD)

Para concluir el sistema de telecomunicaciones describí la forma mediante la cual el CTC se enlaza a los

diversos equipos de campo.

El sistema de transmisión de datos será de alta velocidad con barrido continuo para mandos e indicaciones - operando en medio dúplex. La transmisión de datos entre - el puesto de control y las unidades de código en el campo y viceversa se hará a través de modems que operarán en dos frecuencias de voz en base a cambio de frecuencia.

Este es un moderno sistema que utiliza microprocesadores, CMOS y TTL, circuitos integrados montados en circuitos impresos y su diseño proporciona una alta confiabilidad y facilidad de mantenimiento además de que el equipo es redundante como ya se mencionó

4.5.1 Modos de operación

a) Rastreo

La unidad de código del puesto central permanentemente rastreará las unidades en el campo para actualizar la información.

b) Control

En caso de que un código de control sea ordenado, se interrumpirá la señal de rastreo (presente siempre en la línea) al campo. La recepción del mensaje de control hará que el equipo conteste con una información de indicación.

c) Maestro

En intervalos fijos así como durante condiciones - de error, un mando maestro es transmitido para solicitar

a la unidad seleccionada en el campo, una contestación con todas las indicaciones actualizadas.

d) Prioridad

Una parte de los bits de indicación será almacenado en la unidad de código de campo hasta que la indicación sea restablecida por el mensaje del centro de control. Esta característica asegura que todas las vías ocupadas - estén bien identificadas en el centro de control.

4.5.2 Seguridad del código

La seguridad de codificaciones se hará a través del formato de código BCH que utiliza veintiún (21) bits de información y diez (10) bits de control, lo que proporciona la seguridad siguiente:

- 100 % de detección hasta cuatro (4) errores de bits aleatorios (salteados)
- 100% de detección hasta nueve (9) errores de bits sucesivos
- 96% de detección de cualquier otro tipo de error de bits.

Además de lo mencionado se efectuarán: diferentes controles de prefijo de información, de dirección de estación, de tiempo de retardo y de bits fijos propios a una información.

4.5.3 Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión es variable y se encuentra entre 75 y 2400 bits/s. La velocidad de transmisión - estará en función del tiempo óptimo de actualización de las informaciones.

4.5.4 Formato de una palabra del código

La información entre el puesto de control y las unidades en el campo y viceversa, será hecha sobre la base de palabra por palabra. Estas palabras serán agrupadas en tres categorías, las cuales son dirección, control e indicación. Cada categoría de palabra contiene 31 bits de datos de los cuales 21 contienen la información y 10 son parte de la verificación de la seguridad del código; el formato de las palabras es como sigue:

') Dirección

-- Número de estación	7 bits
-- Parte fija	6 bits
-- Instrucción (selección de modo)	3 bits
-- Dirección de palabra	4 bits
-- Palabra adicional	1 bit
-- Control de seguridad	10 bits

') Control o indicación

-- Dirección de palabra	4 bits
-- Palabra adicional	1 bit
-- Control de seguridad	10 bits
-- Información (datos)	16 bits

4.5.5 Unidad de código en el puesto de control

La unidad de código en el puesto de control será manejada por computadora. La unidad acepta la información enviada por la computadora para transmisión a la unidad de campo y elaborará dicha información en forma apropiada para su transmisión con la sincronización necesaria y adicionando los bits de verificación de error.

Todas las informaciones enviadas incluyen la dirección de estación así como un código para cada uno de los modos de operación. Estas informaciones son mandadas a las localidades de campo usando un modem de datos (portadora).

Después que cada transmisión es terminada, las unidades del puesto de control se ponen a recepción y esperan las contestaciones que tienen que arribar de la localidad seleccionada. Una vez que esta indicación de campo es recibida se verifica para tener la sincronización propia y para el correcto patrón de bits de seguridad, después de esto es enviada a la computadora para su almacenaje y uso.

4.5.6 Unidad de código en el campo

La unidad de código en el campo proporciona la interface de recepción y transmisión para el enlace de comunicación entre cada unidad en el campo y en el puesto de control.

La unidad en el campo está normalmente en modo de operación a recepción, en este caso, las informaciones son recibidas del puesto de control son analizadas en la unidad de campo para las siguientes condiciones principalmente:

- Sincronización exacta
- Paridad de bits exacta
- Dirección de localidad correcta
- Formato de bits exacto

Si las condiciones anteriores son exactas, la unidad en el campo aceptará el mensaje y procederá conforme al modo de operación ordenado.

En caso de que una transmisión particular del puesto de control no contenga controles a ejecutar, una sola palabra será recibida y el equipo de campo procederá a enviar sus indicaciones de retorno al puesto de control.

En caso de que un mensaje de control esté siendo enviado desde el puesto de control a una unidad en el campo, dos palabras serán recibidas. La primera palabra contendrá la dirección de la localidad y los bits que indican a la unidad de campo el modo de operación para recibir controles. La segunda palabra contendrá los controles que son recibidos y ejecutados. Si no hay errores detectados, los controles serán transmitidos a los circuitos de campo y comenzará la transmisión de indicaciones para el puesto de control.

4.5.7 Comunicación entre las dos unidades de código

La transmisión del código entre el puesto de control y las unidades de código en el campo, se hará a través de un circuito de comunicación equivalente a un circuito a cuatro conductores, con puntos de derivación tipo línea compartida en cada una de las localidades con unidad de código de campo.

La transmisión entre las unidades de código contará con lo siguiente:

- a) Dos canales de operación dúplex en cada uno de los cuales se utilizará un sentido para el envío de controles (puesto de control a unidades de campo) y el otro sentido para el envío de indicaciones (de las unidades de código de campo al centro de control). Los dos canales dúplex representan cuatro canales de voz cada uno con ancho de banda de 0.3 a 3.4KHz.
- b) El circuito de comunicación a cuatro hilos derivado en línea compartida en cada una de las localidades de código de campo y en el puesto de control

La conexión de derivación en el puesto de control y/o en las unidades de código en el campo se hará por medio de cuatro hilos a 600 o 150 ohms; es decir, un par para transmisión y un par para recepción.

Como se presenta en la figura 4-6, la portadora está presente (To-origen de la transmisión y T₁- fin de

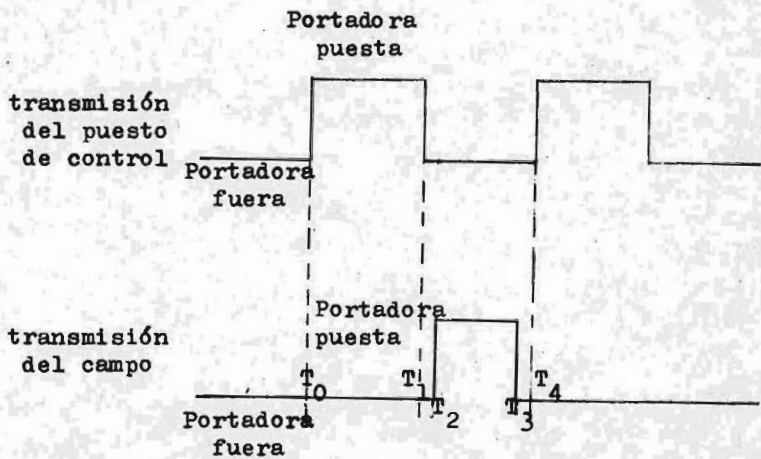


Figura 4-6. Comunicación entre las unidades de código

transmisión) durante cada transmisión hacia las unidades de campo. Igualmente en contestación a la transmisión del puesto de control, la unidad apropiada en el campo originará su transmisión en el momento T_2 y terminará en el momento T_3 . Es imperativo que las unidades de transmisión en el puesto de control y en el campo estén sincronizadas apropiadamente.

Como conclusión a este capítulo se puede decir que debido a las condiciones de inmunidad a la interferencia que requieren llenar los sistemas de telecomunicaciones - se utilizarán cables coaxiales debidamente protegidos, los cuales serán instalados en forma subterránea a lo largo de las vías.

Igualmente con el objeto de proporcionar facilidades de comunicación a lo largo de la línea electrificada y sin riesgo de problemas de interferencia, se instalará un cable de fibra óptica que vendrá a ser en México, el primero que se utilizará en este tipo de distancia y para uso ferroviario.

C A P I T U L O



SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL DE LA ALIMENTACION

5.1 Función

El sistema de supervisión y control de la alimentación (SSCA) tiene a su cargo el óptimo funcionamiento de la alimentación al sistema ferroviario electrificado, por lo que cuenta con un tablero panorámico formado por pantallas de video a color que permite la operación remota de cierre y apertura de interruptores, el control de la corriente de tracción así como alumbrado y fuerza del sistema. Gracias a esto, es posible detectar y en su caso, señalar las fallas que pueden existir en el sistema de alimentación tales como caída de cables, corte de la alimentación, corto circuitos en la línea, subestaciones fuera de servicio.

El equipo que dispone este sistema para efectuar sus labores de control y supervisión es el siguiente:

- ') Pantallas de video a color
- ') Terminal con teclado
- ') Microprocesador con su respectivo equipo periférico
- ') Impresora de línea

- ') Unidades de código con modems asociados
- ') Bastidor con equipos de alimentación y distribución
- ') Panel de alarmas

Las pantallas de video proporcionan una imagen panorámica del sistema y mediante la terminal se puede obtener un acercamiento así como un reporte de estado de la imagen representada en la pantalla. Por otro lado los microprocesadores con que cuenta el sistema (tanto en activo como en hot-stand-by) se encargan de mantener actualizadas las imágenes así como los registros necesarios para el control de la alimentación. Las unidades de código, los modems y el bastidor con sus componentes es equipo inherente al sistema. En cuanto al panel de alarmas, indica tanto de manera visual como acústica, las anomalías que se presentan en el sistema proporcionando el origen y categoría de las mismas.

Los mandos de los aparatos se efectúan por medio de botones conmutadores localizados en el tablero citado en la sala de control del CTC. Los controles se obtienen por medio de indicaciones luminosas y tienen 3 diferentes formas de señalizarse:

- Apagando cuando el aparato a controlar está cerrado
- Encendido cuando el aparato a controlar está abierto.
- Intermitente cuando existe discordancia entre el aparato a controlar y la posición del botón conmutador.

5.2 Grupo electrógeno

Sin embargo, lo más importante del SSCA no son las funciones descritas hasta ahora sino que dicha importancia estriba en el respaldo y/o apoyo que le pueda dar a la alimentación en caso de que ésta falle o no cumpla con los requerimientos mínimos del equipo.

Para lo anterior cuenta con el UPS (Uninterruptible Power System) mejor conocido por grupo electrógeno, el cual es un equipo cuya función consiste en la generación de energía eléctrica a niveles de voltaje, corriente y frecuencia adecuados para la alimentación de los diversos equipos que constituyen a los sistemas de señalización, CTC y telecomunicaciones. Dicho equipo aprovecha la energía mecánica proporcionada por una máquina de combustión interna para transformarla por medio de un generador en energía eléctrica. En la figura 5-1 se muestra el grupo electrógeno a nivel bloques.

5.2.1 Generadores

Un generador produce electricidad por la rotación de un grupo de conductores dentro de un campo magnético, por lo tanto, la energía que entrará a un generador es la energía mecánica necesaria para hacer que giren conductores. Esta energía puede provenir de motores de gasolina ó diesel o bien de turbinas de vapor, motores eléctricos, agua corriente y hasta de reactores atómicos. De hecho todo lo que puede hacer -

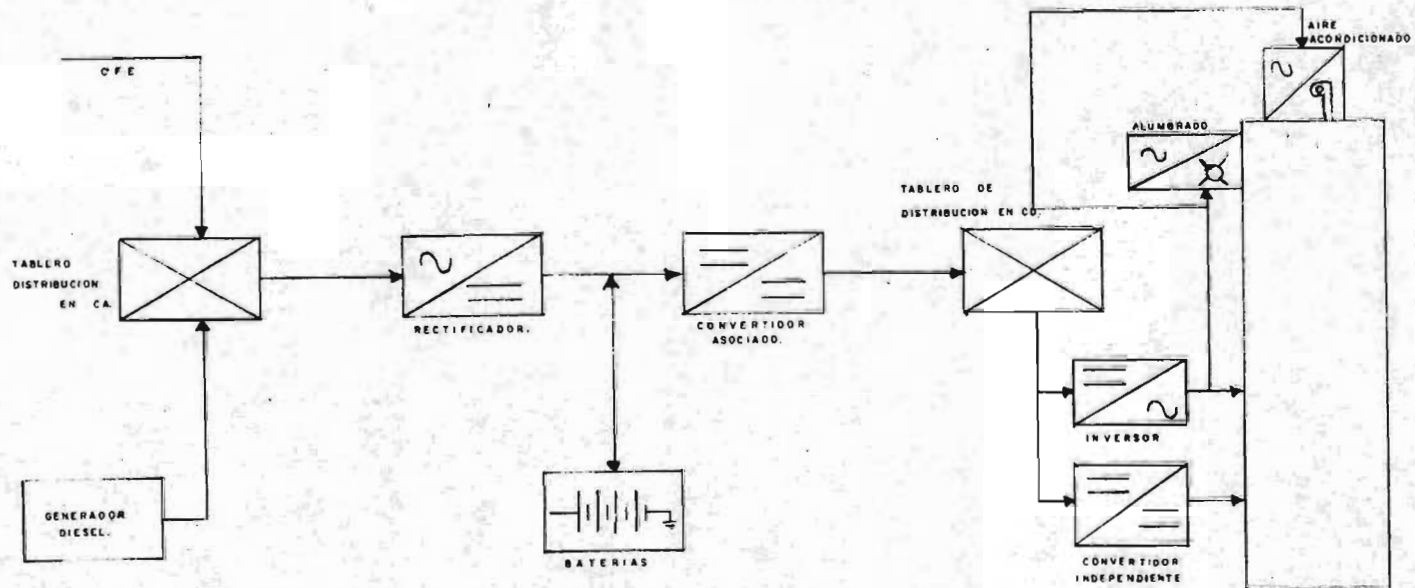


Figura 5-1. Diagrama a bloques de un grupo electrógeno.

girar a un eje puede ser la energía que entra a un generador eléctrico.

A la salida del generador se obtiene la fuerza electromotriz (fem) que se induce en los conductores cuando éstos se mueven a través de un campo magnético. Como un generador requiere del campo magnético para funcionar también podría definirse como un mecanismo que convierte energía mecánica en energía eléctrica.

Aunque se clasifican de muchas maneras existen sólo dos tipos básicos de generador: generadores de corriente continua que tienen un voltaje de salida continua y generadores de corriente alterna que tienen una salida de voltaje alterno y que será el que utilizemos.

5.2.2 Tableros de distribución

El tablero de distribución es la parte del sistema de alimentación en el cual se dividen por medio de interruptores y/o fusibles las diferentes cargas y se realizan las mediciones de voltaje, corriente, etc.

Según la naturaleza de la corriente manejada, los tableros pueden ser de dos clases:

5.2.2.1 Tableros de corriente alterna.

Como su nombre lo expresa, estos tableros son en los cuales por un lado se conecta el suministro de corriente alterna y por el otro las cargas de dicha corriente.

Un tablero de corriente alterna está constituido por:

- o) Conexiones al transformador
- o) Conexiones al grupo electrógeno (UPS)
- o) Instrumentos de medición (vóltímetros, amperímetros, frecuencímetros)
- o) Interruptores
- o) Gabinete

5.2.2.2 Tableros de corriente directa

Los tableros de distribución de corriente directa son parte integrante de las plantas rectificadoras y se dividen mediante fusibles independientes las diferentes cargas de corriente directa. En el mismo bastidor, generalmente se encuentran todos los instrumentos de medición (vóltímetros y amperímetros) y también se sitúan las funciones comunes de la planta (relevadores de alarma, sistema de carga de igualación, control de convertidores, etc.)

Al tablero de distribución de corriente directa se conectan por medio de las barras de distribución, por un lado los rectificadores y por otro las diferentes cargas.

En algunos tableros también se disponen conexiones para baterías, en cuyo caso se denomina como tablero de distribución y batería.

Cada sonorte de fusible (portafusible) está hecho de tal forma que emita una alarma y señalice el fusible fundido.

Además de éstos, existe un tablero de control, el -

cual se encarga del manejo del generador diesel y que se -- muestra a continuación:

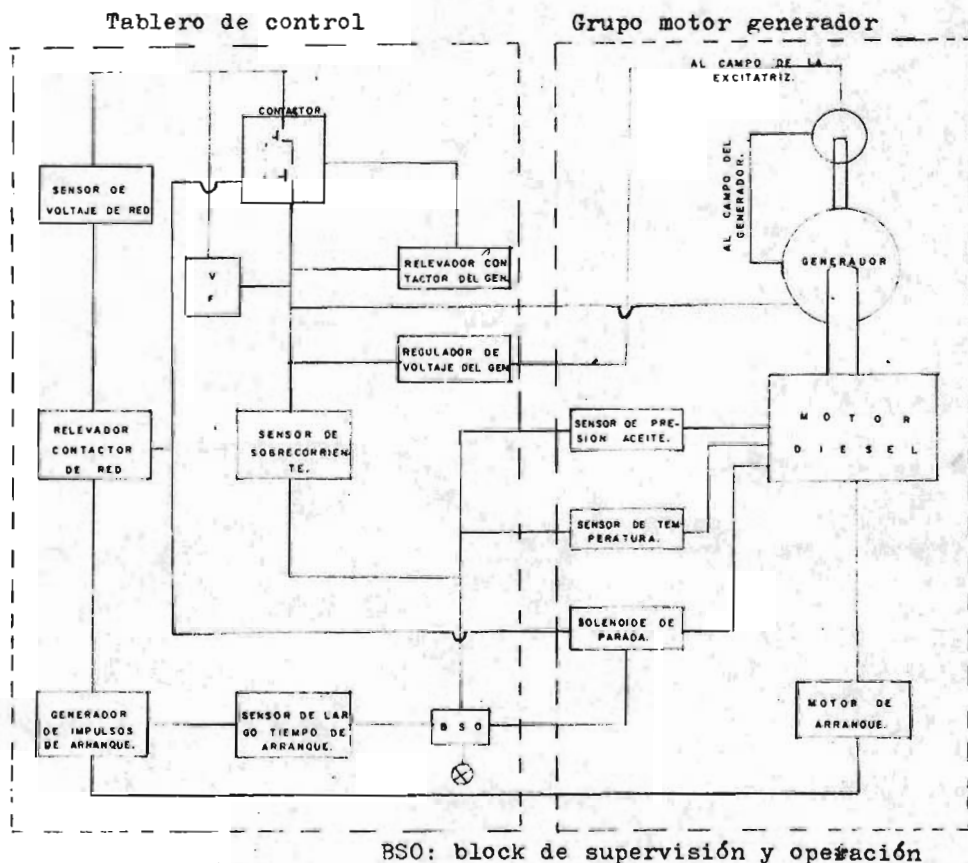


Figura 5-2. Diagrama a bloques del tablero de control.

Cuando por algún motivo, la red comercial presenta - desviaciones, ya sea en voltaje ó en frecuencia, el sensor - de voltaje lo detecta e instantáneamente la bobina del con- tactor de red se desenergiza. Entonces, el generador de impulsos envía la señal de arranque al motor diesel de la planta pasando el circuito por el sensor de tiempo de arranque y - por el contactor de arranque en BSO.

El arranque del motor diesel provoca que suba la presión de aceite la cual es medida por el sensor de presión de aceite originando así que el BSO interrumpa el circuito de - arranque.

Al regresar la red comercial, el sensor de voltaje de tectará la presencia de éste excitando la bobina del relevador de red y después de un tiempo determinado (3 ~ 30 min) se manda el pulso para interrumpir la planta y tomar la carga - de red.

Existen tres bloqueos que paran al generador diesel - mediante la supresión de combustible al motor:

- Bloqueo por sobrecorriente
- Bloqueo de temperatura
- Bloqueo por presión de aceite

5.2.3 Rectificadores

La función básica de los rectificadores es la conver- sión de corriente alterna en corriente directa necesaria para el equipo que así lo requiera y mantener además, cargadas las baterías.

El circuito de potencia fig. 5-3, es a través del -
cual fluye toda la energía desde la fuente de corriente al-
terna hasta la carga de corriente directa. En la fig. 5-3 se
observa que está formado por:

- o) Un contactor para la conexión y desconexión del -
circuito de potencia del rectificador.
- o) Transformador ó transformadores para la adecuación
del nivel de voltaje requerido.
- o) Circuito de rectificación para la transformación -
de la energía alterna en directa.
- o) Circuito de filtro para aplanar la señal rectifica
da a un nivel de rizo deseado.

También la fig. 5-3 nos muestra el circuito de con-
trol de los rectificadores y por medio del cual se gobierna
la operación del rectificador. Está compuesto de:

- o) Circuito de registro de voltaje: su función consis
te en mantener el voltaje de salida del rectifica
dor en un valor constante e independiente de las -
variaciones de voltaje de entrada (siempre que és-
te se mantenga dentro de cierto rango) y de las va
riaciones en la carga.
- o) Circuito de limitación de corriente: su función es
no permitir al rectificador entregar más corriente
de la que éste puede manejar.
- o) Circuito de protección y alarma: su función consis
te en proteger de desviaciones de su funcionamien
to normal que puedan afectar al propio rectifica-

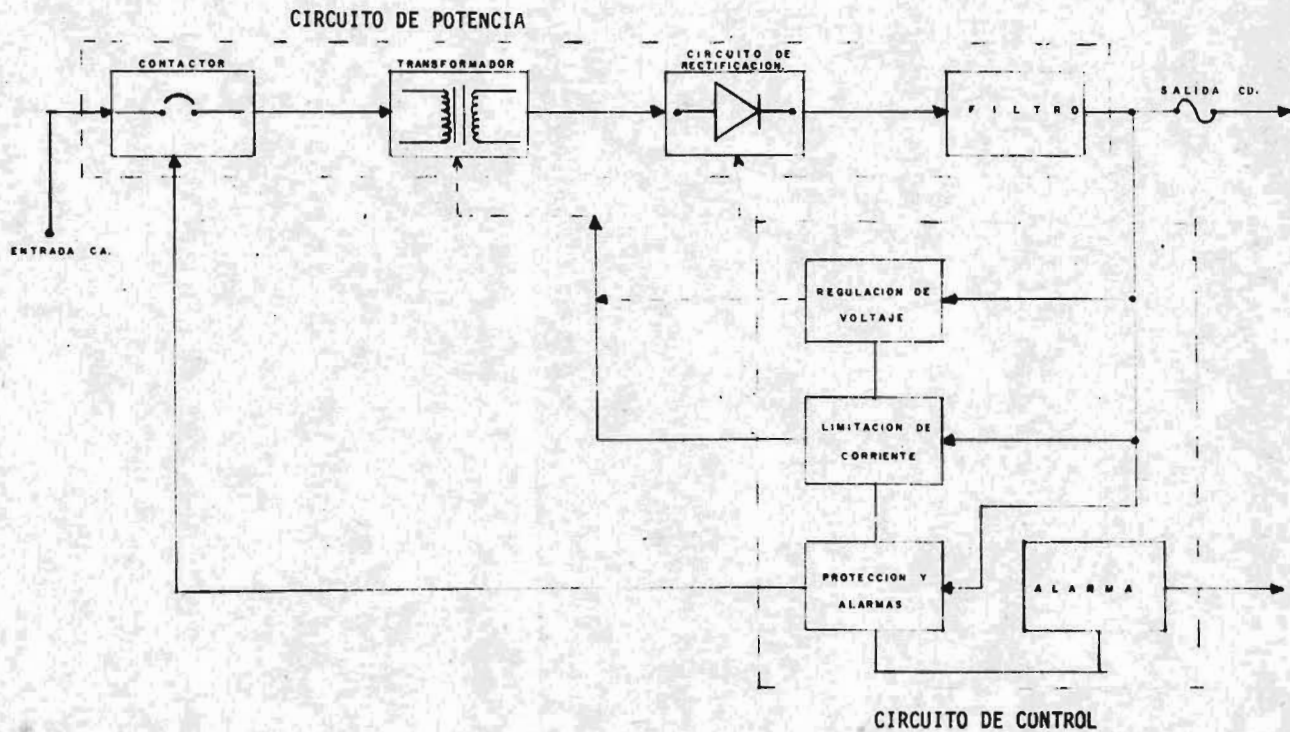


Figura 5-3 Constitución de un rectificador.

dor ó al equipo que alimenta. Este circuito también señala audible y/o visualmente cualquier daño del rectificador. Las protecciones más comunes son:

- Protección por alto ó bajo nivel.
- Protección por exceso de corriente de entrada.
- Protección por sobrecorriente.

Por otro lado, los rectificadores operan de dos maneras distintas:

a) Flotación.

En esta forma de funcionamiento el rectificador proporciona energía a la carga al mismo tiempo que proporciona a las baterías, la corriente suficiente para reponer sus pérdidas internas. Para este caso, se ajusta el voltaje (voltage de flotación) entre 2.15 y 2.17 volts por celda (Vps).

b) Igualación.

Cuando el rectificador funciona en igualación, éste proporciona energía a la carga al mismo tiempo que suministra la corriente necesaria para reponer las pérdidas de las baterías después de una descarga. Para este caso, el ajuste de voltaje se realiza a 2.33 Vpc.

5.2.4 Convertidores

Los convertidores son equipos cuya función consiste en transformar corriente continua a corriente continua a un nivel diferente de la tensión original.

5.2.4.1 Tipos de convertidores

Dependiendo de su aplicación se cuenta con dos tipos de convertidores: asociados e independientes.

- a) Convertidores independientes.- Se utilizan para proporcionar voltajes diferentes a los disponibles en la planta de corriente directa. Así por ejemplo en nuestro caso, se alimenta a los convertidores con $48 V_{CD}$ y se usan para proporcionar 24 y $130 V_{CD}$.
- b) Convertidores asociados.- Los convertidores asociados a los rectificadores pueden considerarse como celdas auxiliares, pues su función consiste en adicionar voltaje al de las baterías cuando éstas se encuentran en descarga alimentando al equipo, conectándose en serie entre las baterías y la carga (equipo conectado).

Los convertidores asociados se clasifican en dos grupos: regulados y no regulados.

Los regulados se caracterizan por agregar gradualmente a distribución (carga) la tensión¹ que la batería va perdiendo.

Los convertidores asociados no regulados tienen un voltaje de salida fijo, el cual se elige de tal manera que pueda mantener la tensión de distribución por encima de un valor permitido en caso de que la batería esté descargada, sin causar sobretensión no permitida en el equipo.

5.2.4.2 Constitución de los convertidores.

1. Tensión de Distribución: alimentación al equipo (voltaje)

Los convertidores están compuestos de un circuito - principal ó de potencia y un circuito de control ó maniobra.

a) Circuito principal.- A través de él fluye la potencia, - desde la alimentación hasta la salida. Se compone básicamente de un filtro de entrada que evita el paso de ruido - del convertidor a la batería, un oscilador de potencia que genera una tensión alterna, un puente rectificador y un - filtro de salida que aplanara la tensión de salida.

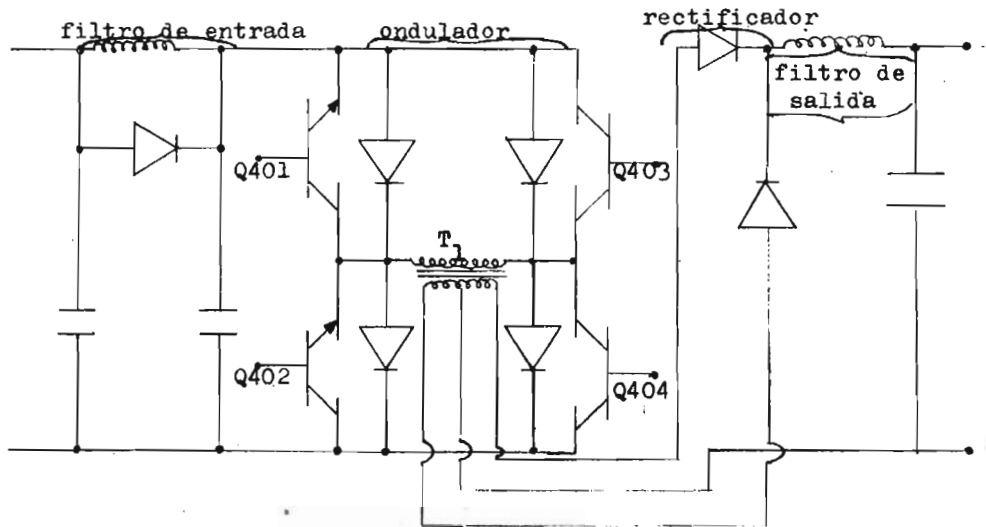


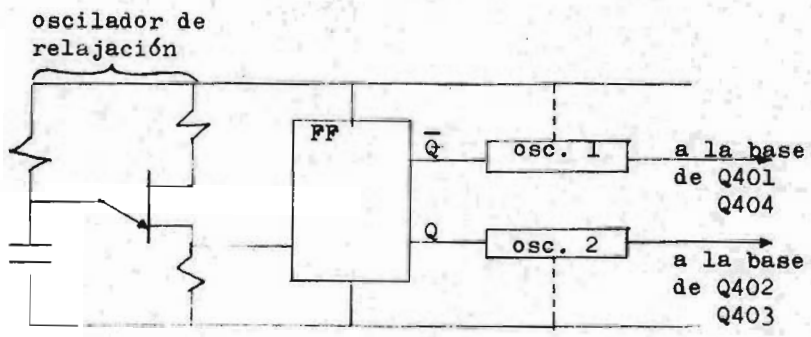
Figura 5-4. Constitución de un convertidor basado en transistores.

El circuito principal mostrado en la fig. 5-4 está formado por dos grupos de transistores colocados en configuración de puente-paralelo en el cual dichos grupos son alternadamente manejados de conducción a corte. Los transistores Q401 y Q404 forman un puente paralelo y los transistores Q402 y Q403 otro. Con la configuración formada por los cuatro transistores y el transformador T_1 se forma una onda cuadrada de la siguiente forma:

Suponiendo que todos los transistores están en corte, al momento de arrancar el convertidor se aplica, por ejemplo a los transistores Q401 y Q404 una onda cuadrada cambiando su estado a conducción y circulando corriente de colector a emisor de Q401, pasando por T_1 , emisor colector de Q404 y finalmente a tierra. En ese momento dichos transistores dejan de conducir, empezando ahora a hacerlo Q402 y Q403, circulando la corriente de emisor colector de Q403, transformador T_1 emisor colector Q402 y finalmente a tierra.

Como puede observarse se presenta un cambio de polaridad en el primario de T_1 , lo que induce una onda de señal alterna en el secundario del mismo.

En la fig. 5-4 resalta la necesidad de tener circuitos de encendido que proporcionen las polarizaciones de base requeridas para saturar los transistores, los cuales deben ser alternadamente conmutados de corte a saturación y viceversa. Esta conmutación es por medio de la aplicación, o no aplicación de un voltaje en la base de los transistores. Esta señal es obtenida de dos osciladores (maestro y esclavo) que proporcionen dos señales cuadradas y defasadas 180° ,



FF: Flip-Flop

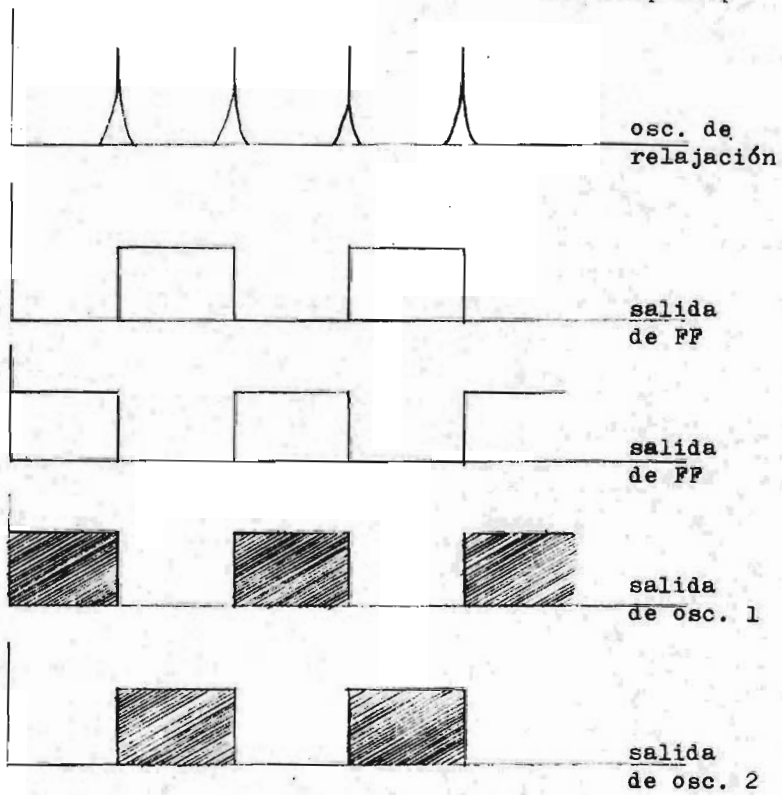


Figura 5-5. Circuito de encendido para el circuito de la figura 5-4.

fig. 5-5.

5.2.5 Inversores.

Es un equipo cuya función consiste en transformar la energía eléctrica de corriente directa en corriente alterna. Los inversores se utilizan para proporcionar energía eléctrica en corriente alterna a equipos que requieren de un voltaje regulado y sin interrupciones como son estudios de grabación, procesadoras de datos y ciertos equipos de radio.

5.2.5.1 Constitución de los inversores.

Los inversores están formados por un circuito de potencia, circuito de control de disparo y sincronía de línea, filtros de entrada y filtros armónicos, circuito de transferencia, señalización y alarmas y circuito de protección, como se puede apreciar en el diagrama a bloques siguiente:

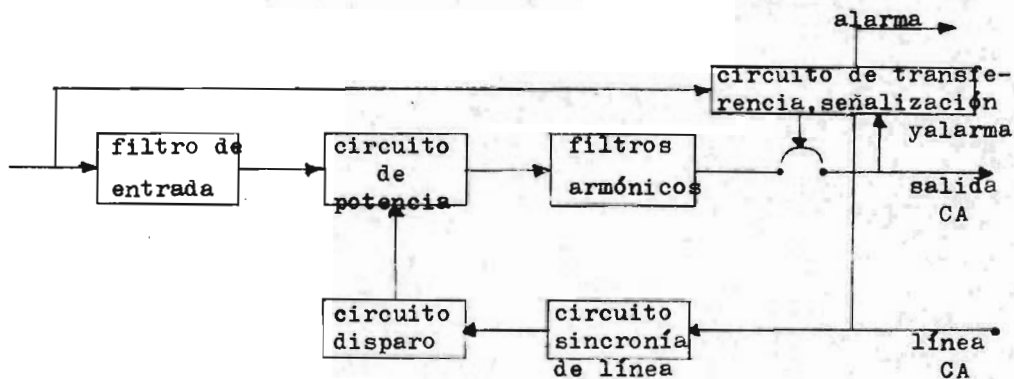


Figura 5-6. Constitución de un inversor.

a) Circuito de potencia.- Toma corriente directa y la conduce alternadamente a las derivaciones de un transformador - de tal manera que en dicho transformador se genera una onda cuadrada.

b) Circuito de control de disparo.- Tal circuito se compone de:

- Un generador de alta frecuencia (HF).
- Un generador de baja frecuencia (120 HZ).
- Un divisor de pulsos (defasador de 180 grados).
- Un amplificador y acoplador.

El oscilador de baja frecuencia genera pulsos a una frecuencia de 120 HZ; estos pulsos pueden ser generados por un oscilador de relajación, un oscilador o un multivibrador astable.

El defasador divide la señal del oscilador de 120 HZ en dos señales cuadradas, con frecuencia de cambio de 60 HZ defasadas 180 grados eléctricos una de la otra. Dicho defasador consiste en un multivibrador biestable. El generador de alta frecuencia consiste en un generador de bloqueo el cual es gobernado por la salida del biestable.

c) El inversor cuenta con dos filtros, uno de entrada y otro de salida o armónico.

c.1) Los filtros de entrada se disponen en el inversor con el fin de evitar que el ruido generado en el circuito de potencia sea transmitido a las baterías.

c.2) Los filtros armónicos son filtros tipo pasabanda y deben tener una selectividad tan alta como sea posible -

con tal de obtener a la salida del inversor una senoide con una distorsión armónica muy baja (aproximadamente $\pm 3\%$).

d) Circuito de transferencia.- Este circuito proporciona la señal requerida para el cambio de la carga a otro inversor o en su defecto, a la línea, en caso de daño del inversor de servicio normal.

El circuito de transferencia cuenta con monitores de alarma y fallas a base de relevadores que indican por medio de señales audibles y/o visuales.

e) Circuitos de protección.- Detectan cualquier anomalía ya sea en el inversor o en la tensión de alimentación (baterías), por medio de :

- Protección por bajo voltaje.
- protección por alto voltaje.

La operación del inversor se detiene cuando el circuito de protección detecta anomalías en el voltaje de alimentación.

5.2.6 Baterías

La batería es un equipo de emergencia capaz de almacenar energía en forma química para en un proceso reversible - suministrar energía eléctrica de corriente directa en forma instantánea, cuando resulte necesario.

5.2.6.1 Función

a) Una de las funciones primordiales de las baterías

es proporcionar, sin interrupción, en los casos de cese de la tensión de red, la energía suficiente durante el tiempo de duración del corte o hasta que el grupo electrógeno haya arrancado.

La batería siempre se encuentra conectada en paralelo con una planta rectificadora trabajando en carga-descarga y en flotación.

En la mayoría de las instalaciones, la planta rectificadora alimenta a la distribución y al mismo tiempo suministra una pequeña corriente a la batería con el objeto de compensar las pérdidas internas y mantenerla en óptimas condiciones de carga. De esta manera se cuenta con una reserva máxima de corriente directa que puede utilizarse cuando existe una interrupción de la energía eléctrica.

b) La segunda función de la batería es como filtro sofométrico, eliminando las variaciones de tensión " ruido " generadas por el convertidor asociado a la planta rectificadora. Ya que las baterías tienen propiedad de presentar una "impedancia muy baja" a su entrada con lo que se logran atenuar las tensiones inherentes precedentes de rectificadores u otros aparatos productores de interferencia.

5.2.6.2 Concepto de capacidad de una batería.

La capacidad de un acumulador se refiere a su habilidad de suministrar potencia, es decir, la cantidad de corriente que puede suministrar en un tiempo dado.

La capacidad de un acumulador depende del número y ta

maño de las placas usadas por celda, también como el peso del material de la placa y el volumen de ácido presente.

La clasificación de acumuladores se hace de acuerdo a su capacidad o corriente nominal en unidades de amper-hora y el tiempo que generalmente dura es de 20 horas. De esta manera, si el acumulador tiene una clasificación de 100 amper-hora significa que suministrará cinco amperes durante 20 horas antes que su "fem" disminuya al nivel de descarga - que es de 1.75 Vpc.

Sin embargo, esta cifra de 100 amper-hora tiene muy poco significado si no está respaldado por los numerosos factores que influyen en la capacidad de un acumulador y además por el uso a que se le destina normalmente. Los factores principales que afectan la capacidad de un acumulador son:

- Régimen de descarga
- Temperatura
- Densidad (gravedad específica)
- Voltaje final

*) Régimen de descarga

La capacidad de un acumulador varía con el régimen de descarga en amperes. Mientras mayor sea este régimen, mayor será la corriente total que suministre el acumulador en condiciones que por lo demás sean idénticas.

Otro resultado del aumento de los regímenes de descarga es que aumente la caída de voltaje dentro de la celda debido a su resistencia óhmica interna. Mientras mayor es la corriente, mayor es la caída de voltaje útil que satisfi

ce la demanda.

') Temperatura

A temperaturas elevadas es usual que se aceleren muchas reacciones químicas. En los acumuladores las altas temperaturas disminuyen la resistencia óhmica interna y la viscosidad del electrolito, con lo que se reduce la caída de voltaje dentro de la celda y se mantiene su voltaje terminal más alto. Estos factores se combinan para aumentar la capacidad de altas temperaturas y reducirlas a bajas temperaturas. Debido al efecto de la temperatura en la resistencia óhmica del electrolito, esta capacidad varía según sea el régimen de descarga.

') Densidad

El grado con el que la densidad afecta a la capacidad de la celda, varía considerablemente según el tipo y el diseño del acumulador, pero la regla empírica que se aplica generalmente es que una diferencia de 25 puntos en la densidad hará variar la capacidad entre 8 y 10%.

La selección de la densidad (gravedad específica) - con carga total es una función del diseño que depende de lograr un valor intermedio aceptable entre numerosos factores. Algunos de los efectos de la diferencia de densidad (en grado variable) con los demás factores sin variación son:

Densidad más alta	Densidad más baja
-- más capacidad	- menos capacidad
-- menor duración	- mayor duración
-- se requiere menos espacio	- se requiere más espacio
-- régimen de descarga momentánea más elevado	- régimen de descarga momentánea más reducido
-- menos adaptable para trabajo de flotación	- más adaptable para trabajo de flotación
-- más pérdidas cuando está inactivo	- menos pérdidas cuando está activo.

4) Voltaje final

Este término se utiliza para designar el voltaje mínimo aceptable y útil con diversos regímenes de descarga y es el valor al cual se puede lograr la máxima cantidad de amp-hora antes de que el voltaje de las celdas empiece su caída rápida conforme se va llegando al punto de agotamiento.

El voltaje final seleccionado para una celda determinada depende en gran parte de su aplicación. Por ejemplo, con un régimen de descarga muy moderado (régimen de 72 horas) este valor puede llegar a ser muy alto, por ejemplo, 1.85 Vpc o puede ser sumamente bajo, a razón de 1 Vpc en el caso de descargas fuertes como es el caso de arranque de motores. Sin embargo, existe una norma de uso de 1.75 Vpc que es la que se emplea comunmente para la mayoría de los tipos.

5.2.6.3 Operación de baterías

a) Flotación

La carga de flotación es un tipo de carga automática en la cual, la batería se encuentra conectada permanentemente a un sistema eléctrico que está constituido por una planta rectificadora y la carga (demanda de corriente). La planta rectificadora alimenta a la distribución y al mismo tiempo suministra una pequeña corriente a la batería con el objeto de compensar las pérdidas internas y mantenerla en óptimas condiciones de carga. Para la conservación y buen funcionamiento de la batería se requiere de un voltaje de operación específico denominado "voltaje de operación o reposo", el cual es de 2.15 a 2.17 Vpc. Este voltaje tiene como finalidad mantener el grado de carga de la batería durante largo tiempo sin sobrecarga. -- Ello significa que la batería no se "cargará" con el voltaje de carga de flotación, sino que el paso de carga a carga de flotación sólo tendrá lugar hasta que se alcance el 100% de carga. La batería se carga solamente después de interrupciones de la red y posibles cargas de igualación mientras que la carga de flotación es permanente.

b) Igualación

La carga de igualación tiene como objetivo principal mantener la batería a plena carga para evitar toda sobrecarga apreciable. Para lograr esto, es común eliminar las cargas diarias o frecuentes cuando la batería está a carga nominal, aunque no totalmente cargada y luego darle una carga de "igualación" periódica. Se trata simplemente

de una continuación de la carga normal hasta que se logre un estado de carga total. El voltaje de operación específico de igualación es de 2.33 Vpc que es aplicado durante un lapso que varía de 8 a 24 horas después de una descarga de apreciable duración.

La carga de igualación tiene el propósito de compensar las irregularidades que pudieran haber ocurrido al encontrarse la batería a un voltaje menor que el voltaje de flotación especificado.

La frecuencia con que se aplican estas cargas de igualación depende del trabajo de la batería y puede fluctuar de uno a varios meses cuando se encuentra en el servicio estacionario de flotación.

En el apéndice se describen las normas de instalación de un banco de baterías de acuerdo con las normas eléctricas.

Instalación y puesta en operación del sistema de Señalización.

6.1 Introducción

Existe una serie de variables que va a alterar el funcionamiento del equipo de señalización y telecomunicaciones debida al conjunto de los diversos sistemas que constituyen el tren eléctrico, tales como el sistema de catenaria el sistema de tracción (locomotoras eléctricas) y los descritos hasta el momento, sistema de señalización y sistema de telecomunicaciones.

Esta serie de variables, detalladas a continuación (a lo largo del capítulo) pretenden dar una idea de los diversos factores que se deben considerar para el tendido de cualquier línea férrea electrificada. Además se sugieren algunos métodos para contrarrestar los efectos provocados por estas variables de interferencia.

6.2 Inducción en cables de señalización y telecomunicaciones

Una cosa que no puede ser pasada por alto en cualquier intento por electrificar una línea férrea es la induc

ción. Esta se incrementa en relación a alambres descubiertos, cables y CDV.

La inducción es un fenómeno en el cual se genera voltaje y ruido que comprometen el funcionamiento de los circuitos de comunicaciones y que es transmitida como energía eléctrica a las líneas de comunicación cuando éstas están próximas a los rieles eléctricos (CDV) o a las líneas de distribución de la alimentación.

La inducción se presenta en dos tipos: electrostática y electromagnética.

6.2.1 Inducción Electroestática

En caso de un sistema de alimentación eléctrica con sus líneas suspendidas sobre la superficie terrestre y en paralelo con una línea de comunicaciones, el voltaje de la corriente electrostática inducido en la línea de comunicación está expresado por la ecuación

$$V_s = \frac{C_{12}}{C_{22} + C_{12}} V$$

donde V: potencial de contrapeso de la línea de alimentación

C_{22} : capacidad electrostática

C_{12} : capacidad entre ambas líneas.

Esta ecuación se puede reemplazar por la siguiente

$$V_s = \frac{\log \left[\frac{b^2 + (h_1 + h_2)^2}{b^2 + (h_1 - h_2)^2} \right]}{2 \log \left[\frac{2h_1}{r_1} \right]} V$$

donde r_1 : radio de la línea de alimentación
 b : distancia horizontal entre ambas líneas
 h_1 : altura de la línea de alimentación
 h_2 : altura de la línea de comunicación

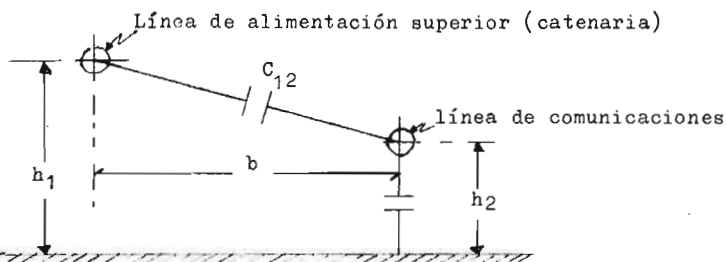


Figura 6-1. Inducción Electroestática.

Como se discierne de la ecuación, la magnitud del voltaje electrostático está determinado por el voltaje de la línea de alimentación y la correlación posicional entre la línea eléctrica y la de comunicación. La longitud paralela de la línea de comunicación no tiene nada que ver con la magnitud.

6.2.2 Inducción Electromagnética

Cuando la corriente fluye en una línea eléctrica con el aterrizamiento como su ruta de retorno, se genera una línea magnética como indica la línea punteada en la figura 6-2. Aquí si hay una línea de comunicación en paralelo con la línea eléctrica, se establece una inducción de voltaje en la línea de comunicación dependiendo del cambio en la línea magnética. El voltaje inductivo V_m está determinado -

por la siguiente ecuación:

$$V_m = -j\omega M I$$

donde ω : frecuencia angular

M : coeficiente de inducción mutua de la línea de alimentación

Q : longitud paralela de ambas líneas

I : corriente eléctrica en la línea

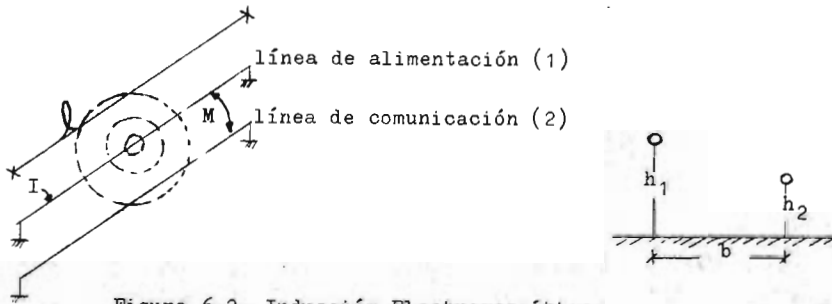


Figura 6-2. Inducción Electromagnética.

El coeficiente de inducción mutua M está determinado por la distancia entre la línea eléctrica y la de comunicaciones, el rango de conducción a tierra y la frecuencia. La ecuación para su cálculo ha sido introducida separadamente por Carson de USA y Pollaczek de Alemania y es conocida como la fórmula Carson-Pollaczek y está expresada como

$$M = 2 \log \frac{2}{k \sqrt{k^2 + (h_1 - h_2)^2}} + \frac{4}{3\sqrt{2}} k (h_1 + h_2) - 0.1544 - j \left[\frac{\pi}{2} - \frac{4}{3\sqrt{2}} k (h_1 + h_2) \right]$$

donde $k = 2\pi \sqrt{2\pi f}$ $\mu_0 \epsilon_0 = \text{constante de permeabilidad y permitividad}$

6.2.3 Características de inducción de los diversos sistemas de alimentación

A continuación se dan las características de cada sistema alimentador con especial referencia a las características de inducción.

6.2.3.1 Sistema alimentador directo

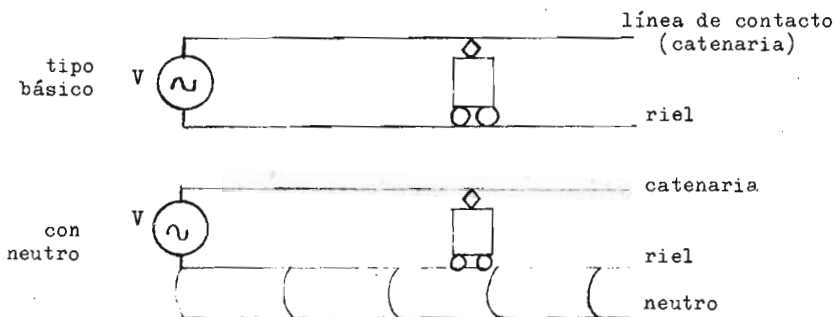


Figura 6-3. Sistema alimentador directo.

El sistema alimentador directo es el más básico de todos ellos, formado por la catenaria y las vías.

La ventaja del sistema alimentador directo está en el hecho de que la formación de su circuito es simple, tiene un costo bajo y es fácil de mantener, mientras que la desventaja está en que como las vías de una sección entera son cargadas con la corriente de retorno, los riesgos de inducción en la línea de comunicación son mayores y el potencial en la vía es más alto que en ningún otro sistema alimentador.

6.2.3.2 Sistema alimentador con transformador amplificador
(booster-transformer, BT)

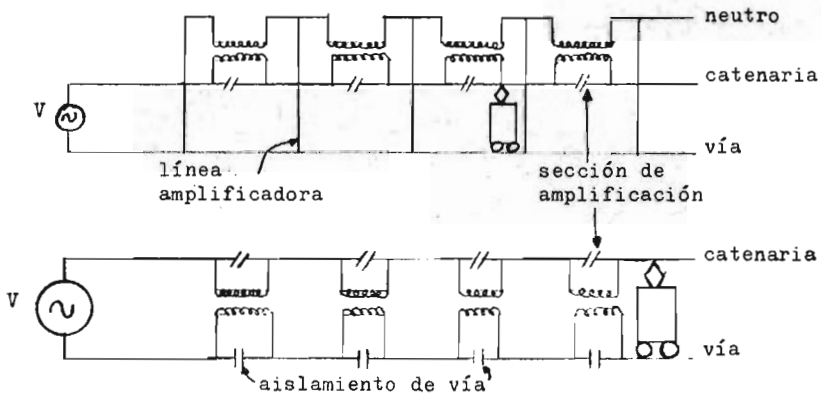


Figura 6-4. Sistema alimentador con transformador amplificador y sus características.

- Los riesgos de inducción son pequeños
- La inducción se incrementa debido a la saturación del transformador amplificador en un accidente
- La sección expuesta a inducción es confinada - virtualmente a la existente entre el transformador y la línea de amplificación
- La reducción de la inducción es mejor en el - circuito con neutro

En este sistema un transformador amplificador es instalado cada 4 Km o un poco más y los hilos de la catenaria son fijados a secciones amplificadoras para contener y absorber la corriente de retorno con la cual las vías son

cargadas, así que los efectos por inducción en una línea de comunicaciones son insignificantes.

El sistema alimentador con transformador amplificador viene en dos tipos: uno sencillo en el cual los transformadores de amplificación están colocados entre los hilos de la catenaria y las vías y un sistema en el que los neutros son instalados para absorber la corriente eléctrica. - El primer sistema es simple pero por mucho inferior al segundo en términos de efectos inductivos en la línea de comunicación y esto sin agregar que estos sistemas alimentadores son mejores que los sistemas alimentadores directos.

6.2.3.3 Sistema alimentador con autotransformadores (AT)

En el sistema de autotransformadores, el voltaje alimentador provisto desde una estación de transformadores (subestación) es hecho más grande que el de la línea catenaria y es bajado al voltaje necesario de ésta con autotransformadores instalados cada 10 Km a lo largo de las vías. Como ejemplo, el voltaje alimentador del sistema adoptado en Japón es dos veces más grande que el de la catenaria y sería posible como por rutina hacerlo más grande para cambiar el número de autotransformadores usados.

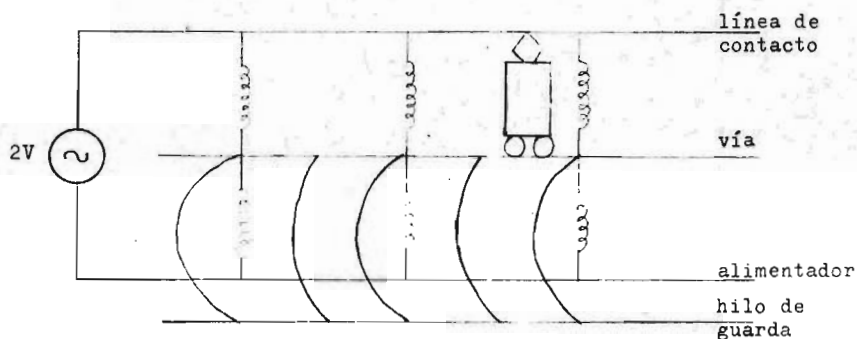


Figura 6-5. Sistema alimentador con autotransformadores y sus características.

- Los riesgos por inducción son pequeños
- La inducción es mayor en este sistema cuando la línea de comunicación es grande y viceversa
-

6.2.3.4 Sistema alimentador por cable coaxial

En éste, un cable coaxial con alimentación eléctrica es puesto a lo largo de la línea férrea en adición al circuito alimentador directo con neutro donde el conductor interno del cable coaxial es conectado con la catenaria y el conductor externo a las vías.

El sistema alimentador de cable coaxial tiene la desventaja de que los cables coaxiales son costosos y que es difícil restablecerlos cuando están fuera de orden (fallas) pero estos factores deben ser tomados en cuenta contra el costo total del sistema. Actualmente, los cables coaxiales son adoptados en los sistemas alimentadores de

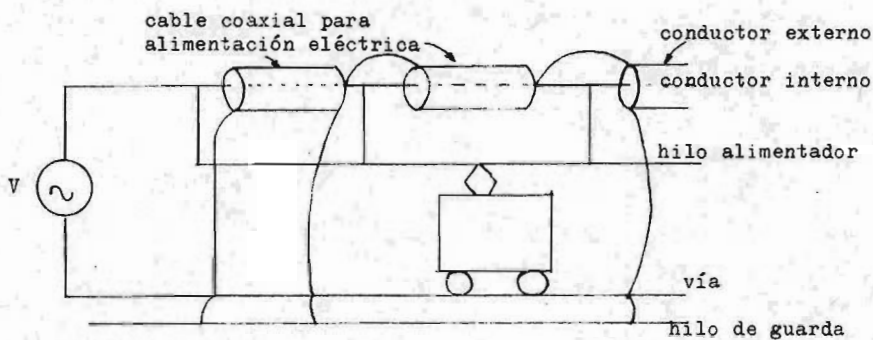


Figura 6-6. Sistema alimentador por cable coaxial y sus características.

- Los riesgos de inducción son pequeños
- Las características de inducción son similares a las del sistema alimentador con autotransformadores
- La inducción es un poco más pequeña que en el sistema con autotransformadores cuando la línea de comunicación es grande y viceversa

túneles de varios kilómetros; la razón, porque el costo total del sistema es menor que el costo de trabajos de Ingeniería para otros sistemas en los cuales se deben reservar mucho espacio para la composición de los circuitos aéreos.

6.2.4 Medidas contra riesgos de inducción

Cuando estas medidas van a ser tomadas, deben estudiarse

diarse desde el punto de vista de la diversificación tecnológica sin perder el propósito original del programa de -- electrificación. Por ejemplo, la densidad de líneas de comunicación pública en la actividad económica y social, valo-- res críticos de voltaje inductivo y las restricciones lega-- les en el país donde la electrificación va a ser hecha de-- ben estudiarse de una manera comprensiva para elaborar las medidas contra la inducción. Si se toma una decisión erró-- nea que fue hecha para una mejora del transporte ferrovial-- rio resultaría muy probablemente en una generación de indu-- cción.

La secuencia de medidas tomadas contra la inducción en circunstancias normales se muestra en el diagrama de flujo mostrado a continuación en la siguiente hoja. Como se indica, las medidas contra la inducción para una electrifica-- ción en corriente alterna pueden dividirse dentro de los siguientes tipos:

- medidas en el lado alimentador
- medidas en el lado de vehículos eléctricos
- medidas en el lado de rutas de comunicaciones

siendo los dos primeros en el lado inductivo y el último en el lado del inducido.

En lo que concierne a medidas inductivas, los ries-- gos de inducción podrían ser restringidos tanto como sea posible en el lado del inductivo, antes de que se tomen medi-- das en el lado del inducido. Así tenemos como medidas en el lado del alimentador los sistemas con autotransformadores y

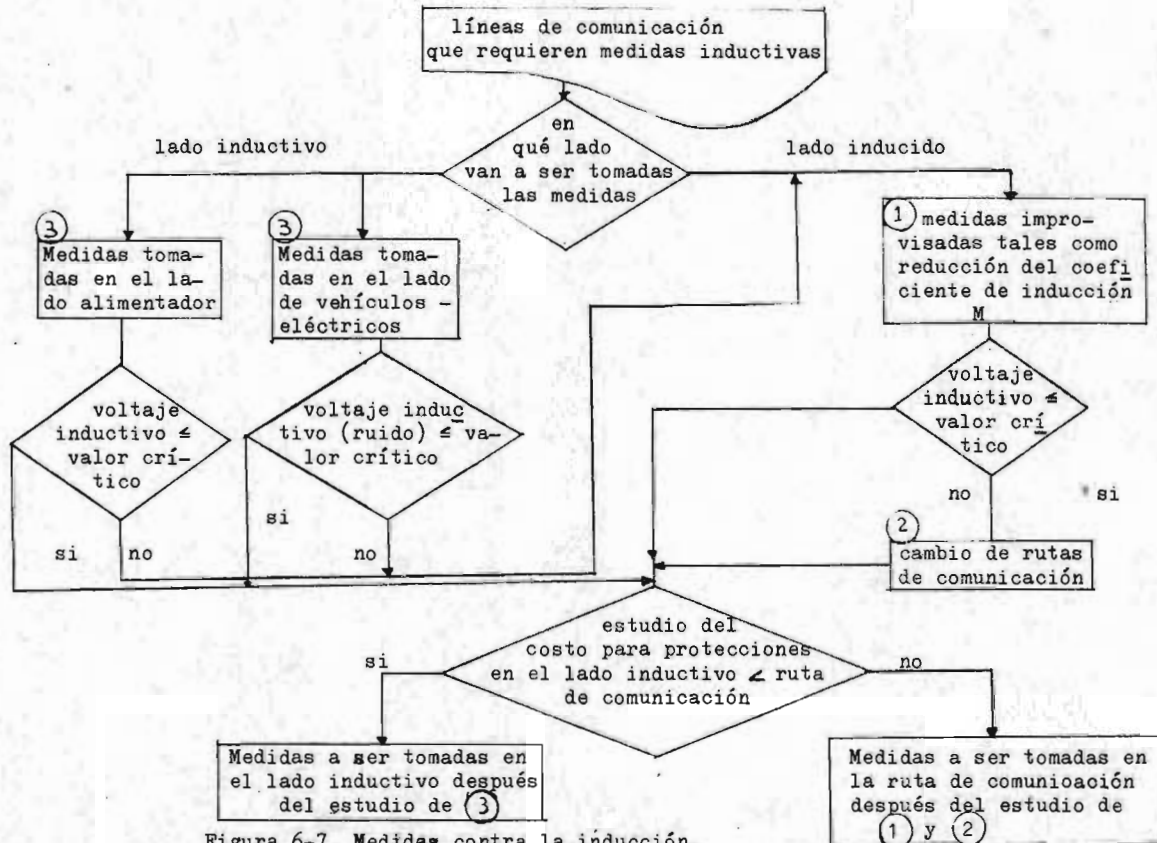


Figura 6-7. Medidas contra la inducci3n.

con transformadores amplificadores que son ampliamente usados; en cuanto a los vehículos eléctricos, la inducción es generada por el tiristor de control de fase por lo que ha convertido en una práctica llevar medidas de las ondas armónicas.

Aunque estas medidas son tomadas, los riesgos de inducción en el lado del inducido no pueden ser completamente eliminados. Dado este factor, es necesario tomar medidas contra la inducción en las rutas de comunicación.

La inducción en la electrificación con corriente alterna se presenta como inducción electrostática e inducción electromagnética.

El voltaje inductivo electromagnético es generado por la adición de voltaje de los vehículos eléctricos, dando origen a riesgos serios tales como ruido en la línea de comunicación, dificultad para escuchar conversaciones telefónicas y conexión errónea de terminales.

Normalmente, la ruta de comunicación está protegida por un cable adyacente al CDV, lo que produce un cambio en el sistema. En efecto, el CDV para electrificación usa para sí mismo un circuito alimentador y vías por lo que la corriente del hilo de contacto (catenaria) se mezcla provocando un impacto directo. Por esta razón, es necesario cambiar el sistema del CDV empleado.

A continuación se describen las medidas relacionadas con las precauciones contra inducción electromagnética.

6.2.4.1 Medidas en el lado alimentador

En el sistema alimentador con transformadores amplificadores, como se deduce de la figura 6-8, la corriente de retorno la cual ha sido mandada al riel es tomada por la línea amplificadora debido a los efectos de amplificación-reducción del transformador y el volumen de inducción a la salida varía dependiendo de la relación posicional entre el vehículo eléctrico y la línea amplificadora. El volumen de inducción es mayor cuando la localización del vehículo eléctrico coincide con la del transformador. El intervalo para la instalación de los transformadores puede ser determinado con el volumen de inducción al exterior comprendido en la consideración. Por lo general, la distancia es de 4Km en áreas suburbanas y 1.5 Km en áreas construidas.

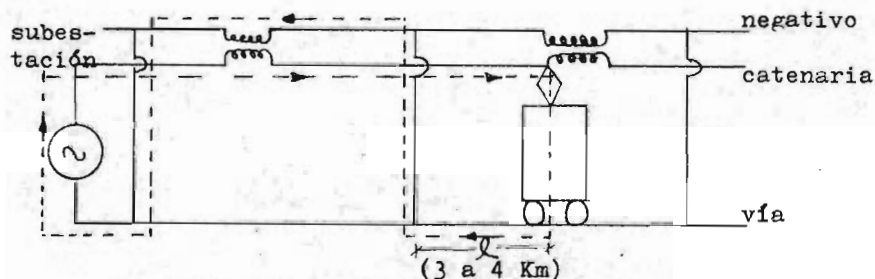


Figura 6-8. Sistema alimentador con transformador amplificador.

Nota: La distribución de la corriente de carga está determinada virtualmente por la sección entre el punto de carga y la línea amplificadora, si la carga se mueve, el voltaje inductivo permanece constante.

En el sistema alimentador con autotransformadores como se deduce de la figura 6-9, La corriente que ha sido enviada al riel fluye a los autotransformadores en ambos extremos del punto de carga, la dirección es opuesta y la distancia a la cual la inducción es dada al exterior coincide con la distancia entre un autotransformador y otro, -- siendo la corriente eléctrica menor que la mitad del sistema amplificador.

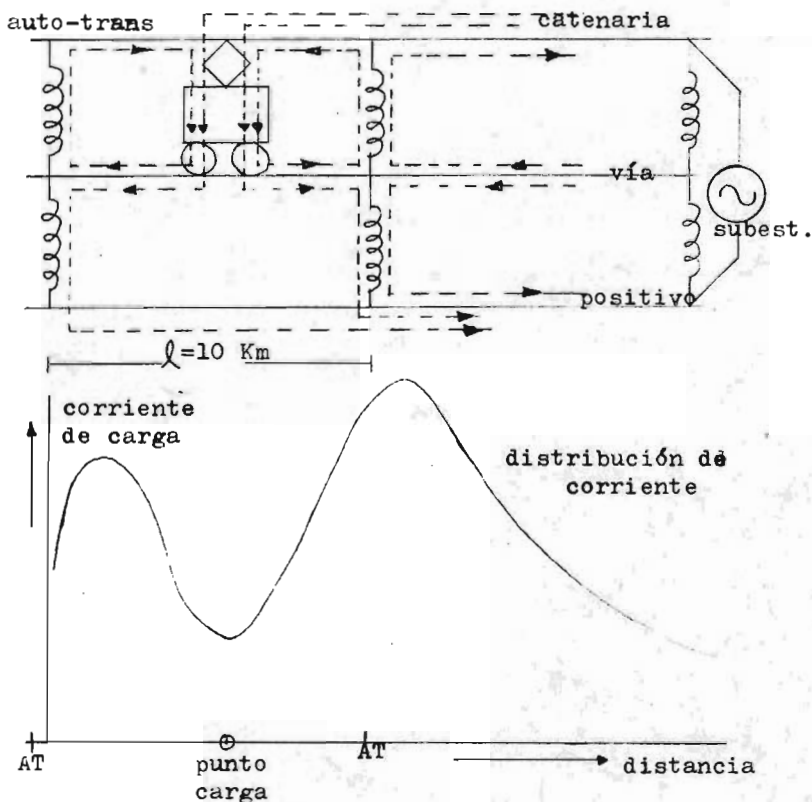


Figura 6-9. Sistema alimentador con autotransformadores.

La distribución de la corriente de carga en el sistema alimentador con autotransformadores no es tan simple - como en el sistema con transformadores amplificadores y no hay un camino para saber en que punto de carga resulta mayor el volumen de inducción. Consecuentemente este cálculo es difícil de hacer si no se usa una computadora, además la inducción es calculada después de definir Amp·Km.

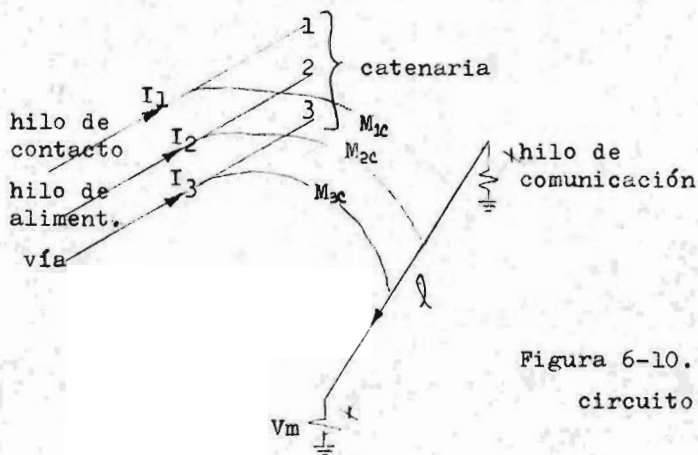


Figura 6-10. Amp·Km del circuito alimentador

$$V_m = -j\omega(M_{1c} I_1 + M_{2c} I_2 + M_{3c} I_3) l$$

donde l es la longitud de la línea de comunicaciones inducida.

En esta ecuación, como indica la figura 6-10, las corrientes eléctricas con las que la catenaria, línea alimentadora y vía son cargadas son expresadas como I_1 , I_2 e I_3 respectivamente y los coeficientes de inducción mutua en la línea de comunicación son expresadas como M_{1c} , M_{2c} y M_{3c} .

respectivamente siendo V_m el voltaje inductivo de la línea.

En caso de que el hilo de contacto y el cable de comunicación estén separados, la distribución de la corriente de carga extendida sobre el circuito alimentador cambia de acuerdo con el movimiento de la carga. Consecuentemente, la corriente inducida es calculada en términos de Amp·Km para cada sección y el valor más alto es el considerado para efectos de cálculo

$$\begin{aligned} M_{1c} &\doteq M_{2c} \doteq M_{3c} = M \\ \text{por tanto} \quad V_m &\doteq -j\omega M(I_1 + I_2 + I_3)l \\ \text{y definimos} \quad (I_1 + I_2 + I_3)l &= \text{Amp}\cdot\text{Km} \\ \text{finalmente, } V_m &\doteq -j\omega M \cdot \text{Amp}\cdot\text{Km} \end{aligned}$$

El voltaje inductivo que es generado en un alambre de comunicación es calculado después de que el máximo Amp·Km ha sido calculado. El Amp·Km es el parámetro con el cual el voltaje inductivo es realizado.

6.2.4.2 Medidas para locomotoras eléctricas

Cuando una locomotora eléctrica controlada por un tiristor de corte viaja en una sección electrificada en corriente alterna, se genera una armónica en el circuito alimentador, por lo que los filtros son colocados dentro de la locomotora.

Por otro lado en el cálculo del voltaje de ruido, se usa la corriente equivalente de disturbio (J_p), la cual utiliza la armónica de la locomotora eléctrica. El voltaje inductivo está en proporción a la corriente equivalente de disturbio por lo que hay que minimizar ésta última para -

cualquier locomotora y carro eléctrico.

6.2.4.3 Medidas en el lado de comunicaciones

De acuerdo con la última ecuación, cálculo del voltaje inductivo, éste puede ser reducido si el coeficiente de inducción mutua, la longitud de la ruta de comunicaciones, el coeficiente de protección de los cables entre otros son reducidos y así tenemos:

a) Método de reducción del coeficiente de inducción mutua M

El coeficiente de inducción mutua (M) es una constante que está determinada por la distancia de separación entre el circuito alimentador y el cable de comunicación, el rango de conducción a tierra y la frecuencia.

La conductividad terrestre está determinada por el suelo y la frecuencia no puede ser cambiada. Consecuentemente, la distancia de separación entre cables se debe hacer más grande para reducir el coeficiente de inducción. Los cables de comunicación que son usados en líneas férreas electrificadas, deben estar alejados tanto de la vía como sea posible, aunque alteren su ruta. Sin embargo, esto resulta difícil en circunstancias normales ya que ello implicaría una serie de gastos adicionales. Por tanto y en base a las características del suelo en muchas líneas férreas electrificadas se ha optado por enterrar los cables.

b) Circuito de comunicaciones

El circuito de comunicación está dividido en intervalos apropiados mediante bobinas aisladoras como muestra -

la figura 6-11.

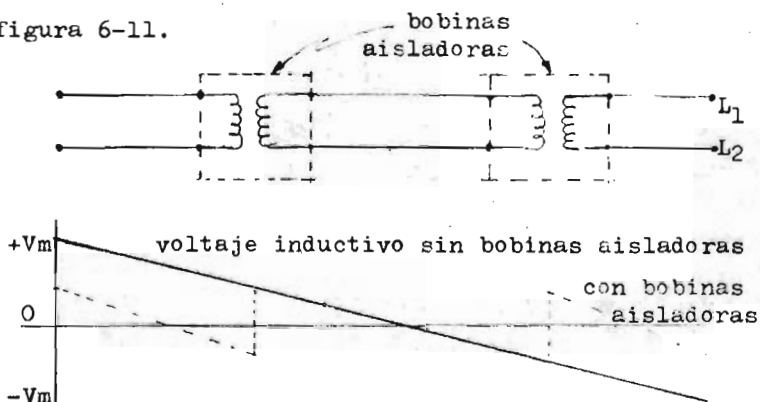


Figura 6-11. Inserción de bobinas aisladoras.

Aquí la distribución del voltaje inductivo en el cable de comunicación es mostrado en la parte más baja de la figura.

c) Método para minimizar el grado de balanceo del circuito

En circunstancias normales, una ruta de comunicación está formada por dos líneas. Si el potencial eléctrico a tierra de cada línea es igual no habrá voltaje inductivo generado entre ambas líneas. En la actualidad sin embargo, las líneas están fuera de balance debido a la capacidad electrostática y a la impedancia de la línea. Normalmente los cables tienen un balance de 60 a 80 db pero el balance del equipo con el cual los cables están conectados es más bajo en muchos casos por lo que el balance de las líneas es reducido. Para compensar un desbalanceo de las líneas, es recomendable insertar líneas del tipo que aseguren una

alta impedancia de aterrizamiento y una baja impedancia entre las líneas.

e) Otros métodos

Portadora es hecha con el uso de una frecuencia que no es afectada por el ruido de inducción. El voltaje anormal es mandado a tierra a través de bobinas drenadoras o de filtrado.

6.3 Retorno de la corriente de tracción

6.3.1 Corriente de interferencia y sus fuentes

Generalmente, en una sección electrificada en corriente alterna, la corriente de retorno fluye irregularmente en el circuito eléctrico formado por subestación-catenaria-regreso eléctrico (carga)-riel-subestación, lo cual contribuye a tener diversos efectos en el equipo de señalización.

La tabla 6-1 muestra las fuentes de corriente de interferencia que afectan principalmente al CDV en la sección electrificada en corriente alterna. Como fuente de afectación principal al CDV se muestra a las armónicas provocadas por los carros controlados por tiristores (armónicas más grandes de lo normal). Es necesario que se eliminen la corriente de interferencia y los problemas de las subestaciones en el sistema de señalización ocasionados por las locomotoras de tiristores.

Innecesario decir, en el CDV de la sección electrificada en corriente alterna, la corriente de retorno y la

Tipo Electri- ficación	División	FUENTE		CDV afectados
Corriente alterna	Sistema Ferroviario Eléctrico	Subestación de corriente alterna	Armónicas grandes	CDV a audiodfrecuencia
		Carro controlado por tiristores	Armónicas grandes	
		Carro con diodos	Corriente de rizo	CDV a baja frec. 70 400 Hz
		Carro controlado por tiristores	Baja frecuencia de Oscilación	CVD a baja frec. 20 30 Hz
		Subestacion de CD (unión CD/CA)	Corrientes vaqabundas	CDV de CD
		Otros (sección de dur- mientes de concreto)	Polarización	
	Otros Sistemas Industriales	Lineas de alimentación	Inducción	
		Flantas de Fuerza	Corrientes vaqabundas	

Tabla 6.1 fuentes de corriente de interferencia en electrificación en CA.

corriente de señalización coexisten. Por tanto, se requiere una capacidad de antinterferencia ya que es importante resistir eficazmente la interferencia de la corriente de retorno.

En cuanto al CDV, es muy importante su seguridad de operación por lo que es esencial entender las diversas características de la corriente de interferencia de tal manera que la estabilidad de las funciones pueda ser siempre esperada bajo todas las condiciones del medio.

6.3.2. Efectos en el CDV

a) Retorno controlado en fase por tiristores

El retorno controlado en fase por tiristores es diferente del retorno rectificado convencional en que el tamaño de la armónica no está en proporción a la onda patrón y varía de acuerdo al ángulo de control de fase y en que el valor máximo de la armónica no ocurre simultáneamente con la onda patrón. Debido a que el tiempo de detección en el receptor del tren es de un segundo aproximadamente, una continuidad de la corriente de interferencia mayor que esto, afectaría la detección dependiendo del valor. Por tanto, se recomienda el análisis de frecuencia graficando el valor máximo de cada armónica como se muestra en la figura 6-12.

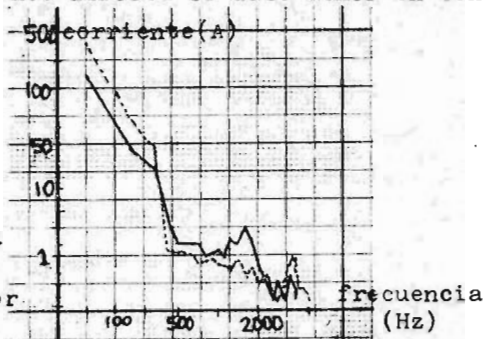
b) Corriente de rizo

Cuando la locomotora eléctrica de corriente alterna pasa a una sección muerta o cuando su pantógrafo es levantado, el circuito de freno de aire es operado y como fenómeno

no transitorio del transformador principal en el carro, se genera una corriente de rizo a partir de la corriente de excitación, la cual contiene una gran cantidad de componentes de corriente directa y algunas veces llega a afectar al CDV de corriente directa. Por tanto, cuando se van a utilizar circuitos de vía de corriente directa se debe tener en consideración esto.

- locomotoras dobles en operación
- una locomotora en operación

Fig.6-12 Analisis de frecuencia para locomotoras eléctricas controladas por tiristores
c) Corrientes vagabundas



En el límite entre la sección electrificada y la no electrificada, si el aislamiento del riel es suficiente, las corrientes vagabundas teóricamente no ocurren a la sección no electrificada; sin embargo, si el aislamiento del riel en el límite es escaso o está roto, se generan corrientes vagabundas en la resistencia de corto a tierra, por lo tanto, el CDV en la sección no electrificada es afectado en proporción al valor de la corriente vagabunda. Aunque depende del tipo de CDV en la sección no electrificada, básicamente, se requiere una de las siguientes protecciones:

- 1) Si la corriente vagabunda es pequeña y el dispositivo transmisor tiene suficiente potencia, se inserta una resistencia en serie en la parte final del receptor para incrementar la salida del transmisor.

') Cuando la medida anterior no es efectiva o si la corriente vagabunda es grande, el sistema debe ser cambiado a otro tipo.

Aunque se describe unicamente el problema entre sección electrificada y no electrificada, el caso del límite entre sección electrificada en corriente alterna y corriente directa es el mismo.

6.4 Efectos de la corriente de alimentación en el equipo de señalización y telecomunicaciones.

6.4.1 Incremento del voltaje de riel

La distribución de voltaje en una sección de vía con sistema alimentador de autotransformadores varía de acuerdo con las siguientes condiciones

- Distancia entre autotransformadores
- Existencia del hilo de guarda y distancia a los autotransformadores
- Posición del tren

Suponiendo que D = distancia entre autotransformadores, d = distancia del tren al autotransformador, el incremento del voltaje de riel es como sigue:

- El voltaje de riel alcanza el máximo cuando $L = (2/3)d$
- El voltaje de riel alcanza el mínimo cuando la posición del tren coincide con la del autotransformador.

Esta relación no cambia en el CD^v monovía, a menos de que el riel lateral de circuito de retorno esté roto.

Sin embargo, cuando está roto, el voltaje de riel alcanza - generalmente el máximo cuando un tren está cerca del auto-- transformador y la posición de riel roto está entre el tren y el autotransformador.

Incrementos anormales del voltaje de riel provocan que se quemen dispositivos de señal (dispositivos de transmisión y recepción en el CDV), dispositivos de seguridad en la vía (juntas aislantes, detectores de riel quebrado) y - descargas eléctricas para los trabajadores y pasajeros. Por tanto, algunas veces es necesario contar con protecciones - para controlar el voltaje de riel.

6.4.2 Protecciones para controlar el voltaje de riel

La figura 6-13 muestra la variación del voltaje - con la carga corriente de carga: [100] A
distancia entre AT: [10] Km

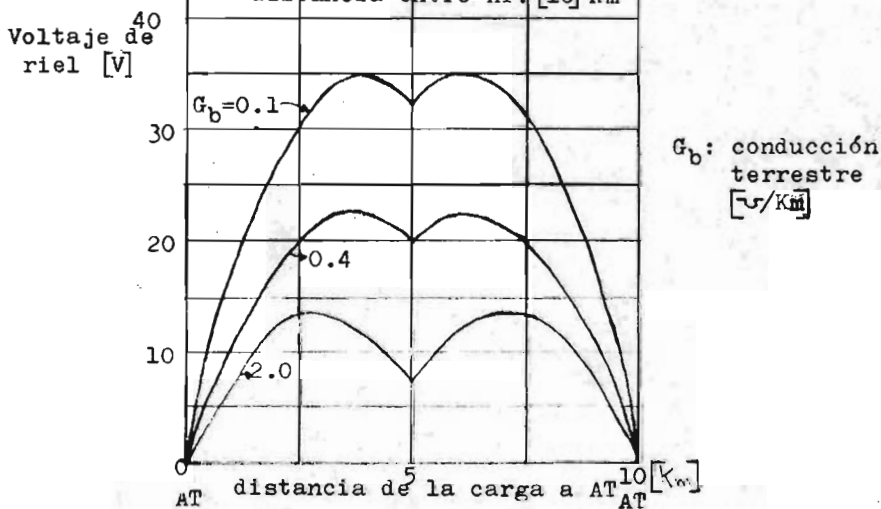
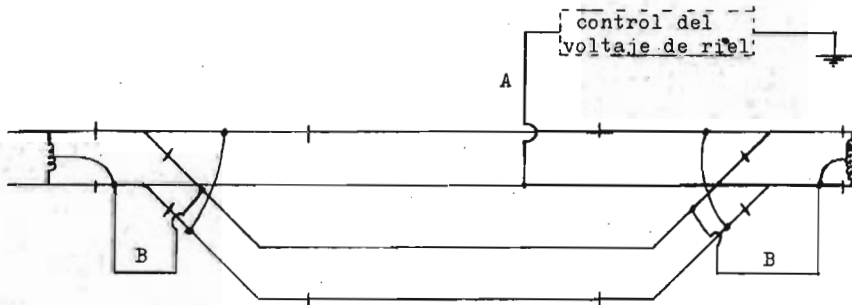


Figura 6-13. Variación del voltaje de riel de acuerdo con el movimiento de la carga.

Generalmente, la máxima resistencia de corto en -- condiciones normales es de $5 \Omega \cdot \text{Km}$ para balasto ordinario; por tanto, el voltaje de riel durante funcionamiento normal es de 33V. Así, entre más pequeña es la resistencia de corto, menor es el voltaje de riel.

Sin embargo, si el punto neutro del CDV o el riel de retorno es aterrizado artificialmente, la corriente de retorno puesta a tierra se incrementará y el voltaje inductivo en el cable de comunicaciones también.

Además, cuando hay un riel roto en el CDV el incremento de voltaje se puede controlar como indica la figura 6-14, en la cual se añade un circuito by-pass en paralelo a una sección del circuito de retorno. Sin embargo, la función de detección de rompimiento del riel de retorno se pierde en la parte donde el circuito tiene el paralelo indicado antes.



- A : Protección en funcionamiento normal
- B : Método cuando ocurre un rompimiento de riel en un CDV

Figura 6-14. Medidas de control para el voltaje de riel.

6.4.3 Interferencia inductiva en el equipo de señalización

La alimentación usada en la sección electrificada en corriente alterna se hace a través de la catenaria, la cual lleva un gran voltaje a 50 o 60 Hz, por tanto, se genera corriente o voltaje inducida en los dispositivos de señales tales como el CDV y el cable de control de señal debido a que están en paralelo o adjuntos al sistema de catenaria. Además, hay la posibilidad de que el CDV instalado cerca pudiera sufrir interferencia debido a la inducción electromagnética.

Como tipos de interferencia inductiva, hay interferencia debida a inducción electrostática generada en proporción al voltaje de la catenaria e interferencia debida a la inducción electromagnética generada en proporción al retorno de la corriente; esto se resume en la tabla 6-1. La interferencia inductiva al equipo de señalización y seguridad es debida esencialmente a la inducción electromagnética la que puede reducirse a algun límite por apantallamiento, sin embargo, es practicamente imposible reducirla a cero.

6.4.3.1 Efectos en el cuerpo humano

Cuando la altura entre los cables de catenaria y el suelo es pequeña, se induce un voltaje electrostático superior al rango permisible en los dispositivos de señal, cables de acero y rieles.

El voltaje de riel se incrementa rápidamente cuando las fallas de la catenaria se van a tierra. Si el cuerpo humano toca los dispositivos citados puede resultar peligro

so por lo que se aterrizan todos los dispositivos que puedan ser puestos a tierra.

6.4.3.2 Efectos en el equipo de señalización

a) Circuito de control de señal

De acuerdo a observaciones hechas, no hay problemas especiales concernientes a los efectos de la inducción electrostática en el circuito de control de señal.

Además, con respecto a los efectos de la inducción electromagnética, el radio de balance del cable para uso en señal es de 40 db mínimo y en general el cable es de 60 db.

Por tanto, se considera que no ocurren efectos, no solamente en el caso de cables cortos en la estación sino también en el caso de circuitos conectados a gran distancia

b) Circuito de vía

Debido a la electrificación en alterna, algunas veces los circuitos de vía en las secciones no electrificadas y en las electrificadas en corriente directa, las cuales cruzan o están en paralelo a las líneas alimentadoras de corriente alterna se ven afectadas. Más aún, el rango afectado varía de acuerdo al nivel de retorno de la corriente y a las relaciones geométricas de las posiciones.

Los efectos de la interferencia inductiva por la electrificación de corriente alterna difieren dependiendo de ya sea que ocurra en las estaciones o entre éstas. En el primer caso, para el CDV que ejecuta la ruta y el seguimiento en el enclavamiento se considera un desbalance del 100% para permitir la operación segura durante anomalías o falla

Mientras que si está entre estaciones, un desbalance del - CDV del 20% es suficiente.

Los valores permisibles de las corrientes de inter- ferencia en los CDV comunmente usados se indican enseguida:

CDV de corriente directa	La corriente de interferencia per- misible que fluye dentro del releva- dor de vía es de 0.4 amp.
CDV a 80 Hz	La corriente de interferencia es de 2 amp.
CDV a audiofre- cuencia	En 600 Hz, 25 A y en 900 Hz, 17 A

c) Cálculo de la interferencia inductiva en el CDV

La vía eléctrica forma el circuito de retorno a - tierra. En el caso del circuito mostrado en la figura 6-15, el voltaje inductivo provoca un voltaje en el circuito indu- cido.

En el caso que el circuito inducido sea un cable - de señal, junto al voltaje inducido a tierra y la corriente de retorno, se presenta el problema de voltaje de ruido ge- nerado en el centro del cable debido al desbalanceo a tie- rra de éste.

Cuando el circuito inducido es un CDV, la impedan- cia de tierra es pequeña y la corriente de retorno se con- vierte en el problema.

El cálculo de la inducción no es simple porque hay varios conductores eléctricos afectados por la inducción, por lo que el efecto de la inducción deberá calcularse para cada conductor así como el vector suma de ellos.

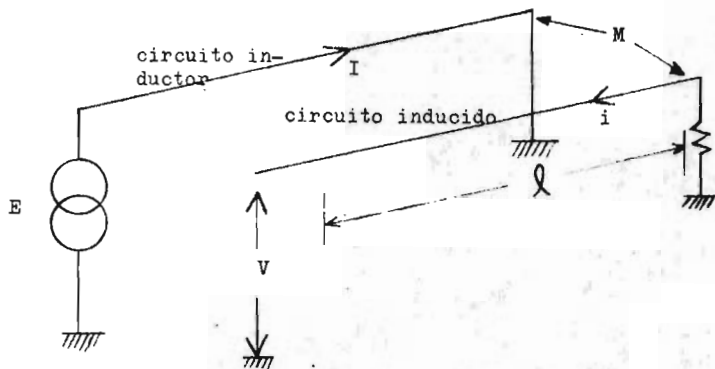


Figura 6-15. Principio de la inducción electromagnética del ferrocarril eléctrico.

d) Protección de sobrevoltajes

Como tipos de sobrevoltajes a los dispositivos de señal hay descargas que dan directamente en la línea del transformador desde la línea de distribución de alto voltaje, descargas en cables aéreos y voltajes anormales debidos al contacto con alambres mal aterrizados. Se recomienda para proteger los dispositivos de señal de esos voltajes anormales, el uso de transformadores aislados, dispositivos de protección o diodos Zener.

6.5 Sistema de tierras y protección

6.5.1 Función

Los circuitos se conectan a tierra con el objeto de limitar el potencial al que de otro modo, pudieran quedar sometidos cuando están exouestos a descargas atmosféricas y a otros potenciales superiores a aquel para el cual - hayan sido construidos.

De acuerdo con esto, se puede decir que la instalación de un sistema de aterrizamiento (puesta a tierra) tanto en subestaciones eléctricas como para cualquier instalación eléctrica tiene su importancia así como también sus ventajas ya que los objetivos principales de la puesta a tierra de cualquier instalación eléctrica son bajo tensión:

- ') Fijar el potencial de todas las masas metálicas con respecto al suelo (o tierra).
- ') Proteger los equipos y todos los dispositivos de sobretensiones
- ') Asegurar la protección del personal en lo que se refiere a los peligros de la corriente eléctrica.

6.5.2 Constitución

Los sistemas de tierra y protección están compuestos de dispersores, conductores de tierra y colectores.

6.5.2.1 Dispersor

Es un cuerpo o un conjunto de cuerpos metálicos - puestos en contacto directo con la tierra y destinados a dispersar las corrientes de tierra.

Las principales características que interesan para los sistemas de dispersión son:

- a) La corriente de tierra I que corresponde al valor máximo que se provee de la corriente en amperes que debe ser dispersada en el sistema de tierra.
- b) La tensión de tierra V equivalente a la máxima diferencia de potencial, medido en volts, existente entre el sig

tema de dispersión y un punto en el infinito, cuando el sistema de tierra dispersa la corriente de tierra I prevista.

- c) La resistencia de tierra R , cuyo valor en ohms se define por medio de la relación entre la tensión y la corriente de tierra o sea $R = V/I$
- d) El gradiente de tierra E que indica en V/m la diferencia de potencial entre dos puntos del terreno cuya distancia del dispersor varía en un metro.
- e) La resistencia del terreno que indica en Ω/m el valor de la resistividad del terreno en el cual está embebido el sistema de dispersión.

6.5.2.2 Conductor de tierra

Lo constituye un conductor que sirve para unir las partes de puesta a tierra con el dispersor.

6.5.2.3 Colectores eventuales de tierra

Conjunto de colectores en los cuales se hacen más dispersores y conductores de corriente, las terminales de ellos.

6.5.3 Resistencia de tierra

Este valor, que deberá ser el más bajo posible, depende de la resistividad del terreno en el cual está embebido o enterrado el sistema de dispersión; también de sus características particulares como son: forma geométrica, extensión, tipo de dispersor usado.

La resistividad de los terrenos de los cuales, la resistencia de los sistemas de dispersión de tierra es función directa, está representada aproximadamente en la siguiente tabla.

Tipo de terreno	Resistividad
Arcilla, marga, fósil, mantillo húmedo	$10 \Omega/m$
Arcilla, marga, fósil, mantillo seco	$10^2 \Omega/m$
Arena húmeda	$10^2 \Omega/m$
Arena fina y yeso seco	$10^3 \Omega/m$
Basaltos	$10^4 \Omega/m$
Roca compacta	$10^5 \Omega/m$

6.5.4 Sistemas de Protección

Protección contra sobre-tensiones

En las instalaciones eléctricas por causas unas veces intrínsecas y otras debidas a fenómenos externos, la diferencia de potencial entre conductores o entre éstos y tierra puede alcanzar durante un tiempo generalmente reducido, valores superiores a la diferencia de potencial más o menos constante, que existe normalmente en los bornes de las máquinas generatrices y correspondiente a la condición del circuito. Tales diferencias de potencial anormales que se conocen con el nombre de sobretensiones, pueden manifestarse entre la tierra y los conductores de la instalación y por consiguiente, entre la tierra y los arrollamientos de las máquinas de los aparatos y también entre dos conductores de diversa polaridad o de fases diferentes, pudiendo

asimismo elevarse anormalmente la diferencia de potencial - entre dos puntos poco distantes de un mismo conductor.

Cuando en una parte de la instalación o de las máquinas, el aumento de tensión sobrepasa los valores para - los cuales están dispuestos los aisladores de la línea a - los aislantes en cables subterráneos y además dura un tiempo apreciable siendo acompañada de suficiente intensidad de corriente puede dar lugar a la producción de averías.

Estas se manifiestan generalmente por el deterioro lento o rápido o con perforación de aislantes que en un tiempo más o menos breve puede poner fuera de servicio los cables, las máquinas o los aparatos en los que se haya manifestado la sobretensión.

En la construcción de las máquinas y de los aparatos eléctricos, los dieléctricos empleados como aislantes - se eligen y dimensionan de modo que presenten un cierto coeficiente de seguridad de forma análoga al que se fija en la construcción para la resistencia de los materiales y que - pueden soportar una tensión de prueba más elevada que la normal de servicio.

Esto mismo puede decirse del revestimiento de los hilos y de los cables aislados formando conductores e igual ocurre con los aisladores de porcelana o vidrio para las líneas aéreas cuya tensión de prueba es superior a la de trabajo.

De lo expuesto se deduce que las sobretensiones - son peligrosas para la integridad de las máquinas, aparatos y conductores cuando alcanzan valores superiores a las ten-

siones de prueba. Así pues, es preciso prevenirse empleando protecciones que si no evitan la formación de sobretensiones impidan al menos que al producirse sobrepasen los límites convenientes.

Las sobretensiones pueden ser de dos clases a saber:

- Sobretensiones de origen atmosférico o externas
- Sobretensiones internas

Las de origen atmosférico afectan únicamente a las líneas aéreas, mientras que las que obedecen a causas internas pueden producirse en toda clase de instalaciones.

Estas sobretensiones que pueden repetirse llegarán a alterar el aislamiento de forma tal que la primera ocasión debido a una sobretensión más elevada o por una intensidad anormal se producirá una perforación del aislamiento y por ello un contacto entre espiras que dejará fuera de servicio una máquina o un transformador.

Para obtener una protección eficaz contra las sobretensiones, deberán instalarse apartarrayos, con objeto de evitar en lo posible los contorneamientos de los aisladores soportes e impedir con toda seguridad las perforaciones en los aislamientos de las máquinas y los aparatos. Los apartarrayos cuya tensión nominal sea igual a la del material normal protegido, procurarán una protección eficaz, esta tensión nominal es pues, la característica de mayor importancia que fija la clase de aislamiento y se considera que el valor de referencia es el de la tensión compuesta o entre fases.

De esta manera, se han expuesto los factores más importantes que intervienen en el diseño y construcción de una línea férrea electrificada, desde el punto de vista de señalización y telecomunicaciones, ya que es de presuponerse que los demás sistemas (catenaria y locomotoras) también tengan sus propios condicionantes.

CONCLUSIONES

Tratar de electrificar una línea férrea comprende una serie de factores, como se mencionaba al principio de este libro, que incluye aparte de los sistemas propios del ferrocarril, un sistema administrativo y de supervisión - vasto y complejo, puesto que este tiene como funciones la previsión, planeación, organización, integración, dirección y control de todo el proyecto, lo cual resulta bastante arduo si se considera la diversidad de proveedores y por ende, de técnicas.

La previsión consiste en la determinación de los alcances del proyecto, es decir, los fines que se persiguen y los medios con que se cuenta para la electrificación de la línea férrea.

La planeación determina el curso concreto de acción que se habrá de seguir para la culminación satisfactoria del proyecto.

La organización, dentro de este proyecto, se refiere a la estructura de las relaciones que deben darse entre los miembros partícipes del mismo con la finalidad de obtener una mayor eficiencia.

La integración consiste en los procedimientos necesarios para adaptar tanto las técnicas como las personas al desarrollo del proyecto en nuestro país.

La dirección es coordinar y supervisar a todos y a cada uno de los elementos que componen el proyecto de electrificación.

El control consiste en el establecimiento de algunos procesos que nos permitan medir los resultados obtenidos en relación con los esperados con el fin de saber el avance del proyecto, mejorar y formular nuevos planes según sea el caso.

Como se puede deducir, la parte administrativa ocupa un papel muy importante en el desarrollo del proyecto, siendo esto uno de los motivos principales, sino es que el principal, por los que se ha estancado el avance de la obra

Por otro lado, tenemos que en cuanto a la señalización se refiere, el uso de locomotoras controladas por tiristores provoca interferencia en los sistemas de Señalización y Telecomunicaciones, como se indicaba anteriormente, debido a los altos valores que llegan a alcanzar las armónicas (100 KV) y entre más pesada es la carga, mayor es la corriente de tracción requerida resultando por tanto, potenciales peligrosos en los rieles y estructuras metálicas del sistema férreo. Estos potenciales peligrosos pueden reducirse mejorando el sistema de tierra a la vez que si éste es diseñado correctamente el problema de los niveles de inter-

ferencia puede ser resuelto incrementando el apantallamiento y aterrizamiento de los cables colocados a lo largo de la vía. Por tanto, es necesario durante los estudios iniciales de la ingeniería de electrificación ferroviaria estar al tanto de estos problemas y especificar los parámetros del sistema de tal manera que la interferencia no cause problema al funcionamiento eficiente y económico del sistema férreo.

En el capítulo II, indicaba el tipo de semáforo a utilizar en el sistema de Señalización pero considero que para permitir una mayor confiabilidad de la operación y de la seguridad, el tipo de semáforos empleado (una sola unidad luminosa y varias lentillas de colores de operación mecánica que representan los cuatro aspectos de la señalización) no es el más recomendable. Sería más conveniente utilizar semáforos laterales con unidades luminosas individuales para cada uno de los aspectos presentados ya que este sistema es más confiable y da más flexibilidad a la operación, no siendo así con los semáforos empleados ya que:

- Por una parte, al fundirse el foco de la unidad quedan fuera de servicio los cuatro aspectos, o sea que, toda la señal queda imposibilitada para cumplir su función.
- Por otra parte, al fallar el sistema electromagnético propio de la unidad luminosa (pantallas), un semáforo puede representar un aspecto permisivo cuando las condiciones exijan un aspecto restrictivo.
- Al existir partes móviles aumenta el índice de fallas,

consecuentemente la necesidad de un mayor mantenimiento preventivo.

En cuanto al sistema de señalización en cabina, - presento algunas ventajas y desventajas del mismo.

Ventajas.-

- a) Con el sistema de señalización lateral es factible operar una línea electrificada de ferrocarriles, sin embargo no se cuenta con ningún dispositivo de seguridad que pueda cubrir posibles fallas humanas. El equipo de señalización en cabina es el único medio de seguridad con que se cuenta para la circulación de los trenes a prueba de fallas humanas.
- b) Al tener el control del tren por medio de la señalización en cabina se reduce la responsabilidad del conductor eliminando posibles fallas humanas.
- c) Se reducirá el índice de accidentes por sobrevelocidad y franqueo de señales al alto total.
- d) Al dejar la infraestructura del sistema actualmente, reducirá el costo al momento de la puesta en operación del sistema en el futuro.
- e) En caso de francueamiento de señalización al alto alto, la señalización en cabina disminuiría considerablemente las probables consecuencias de un alcance.

Desventajas.-

- a) El costo del equipo es caro (dos millones de dólares - aproximadamente).

- b) El conductor podría confiarse del sistema y desatender el equipo.
- c) Como es mayor equipo se requiere mayor mantenimiento y por tanto hay mayor posibilidad de falla.
- d) Hay necesidad de capacitar al personal para el mantenimiento.

Resumiendo, las ventajas justifican plenamente la inversión hecha en el equipo.

Además de las recomendaciones citadas, a lo largo del libro se hizo hincapié en otras soluciones para otros tantos problemas que ha presentado el proyecto en su evolución.

Finalmente quiero agregar que, el proyecto en sí es muy ambicioso para la administración particular, lo que deja entrever las deficiencias de supervisión y coordinación que se tienen por parte de los encargados de dirigir el proyecto, cosa que queda fuera del alcance de este libro

A P E N D I C E A

Parámetros de diseño

1. Temperatura

Básicamente, la temperatura anual para la zona entre la ciudad de México y Querétaro es de 16°C, siendo la temperatura mínima 0°C y la máxima 40°C.

2. Altitud

La altitud máxima de la línea férrea es de 2400 msnm, siendo 2308.6 msnm la altitud para el D. F. (Tacubaya) y 1814.3 msnm para la ciudad de Querétaro.

3. Humedad relativa

La humedad relativa media para la línea es de 58%.

4. Viento

En la tabla siguiente se indican los valores promedios del viento dominante, así como la dirección del viento para 12 puntos cercanos a la vía. La fuerza promedio del viento está expresada en escala Beauford, escala que se derivó inicialmente de las unidades m/s.

ESCALA BEAUFORT	INTERVALO EQUIVALENTE (m/s)	VELOCIDAD PROMEDIO EQUIVALENTE (m/s)
0	0-1.3	0.8
1	1.4-2.7	2.0
2	2.8-4.5	3.6
3	4.6-6.6	5.6

ESTACION	VIENTO DOMINANTE	
	DIRECCION	FUERZA
Pedro Escobedo, Qro.	NE	2
Sn. Juan del Río, Qro.	NE	1
Amealco, Qro.	NE	2
Huichapan, Hgo.	E	1
Tula, Hgo.	NE	1
Aculco Edo. de México	NE	1
Villa del carbón, Edo. de Méx.	SE	2
Sto. Tomás, Edo. de Méx.	S	2
P. de Guadalupe, Edo. de Méx.	SW	2
Teotihuacán, Edo. de Méx.	N	2
La Reposadera, D.F.	N	3
Atzacapotzalco, D.F.	W	1

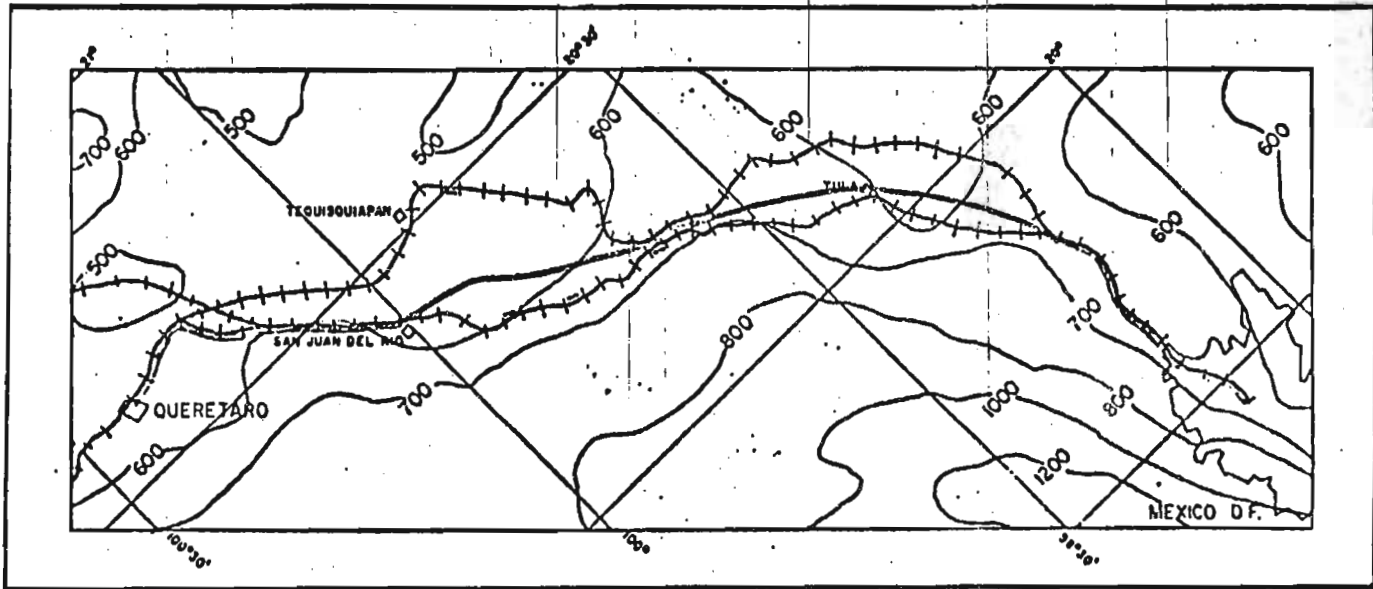
Tabla A-1. Valores promedio del viento en algunas zonas cercanas a la vía.

5. Precipitaciones pluviométricas

La figura I muestra la precipitación pluvial anual promedio expresada en mm.

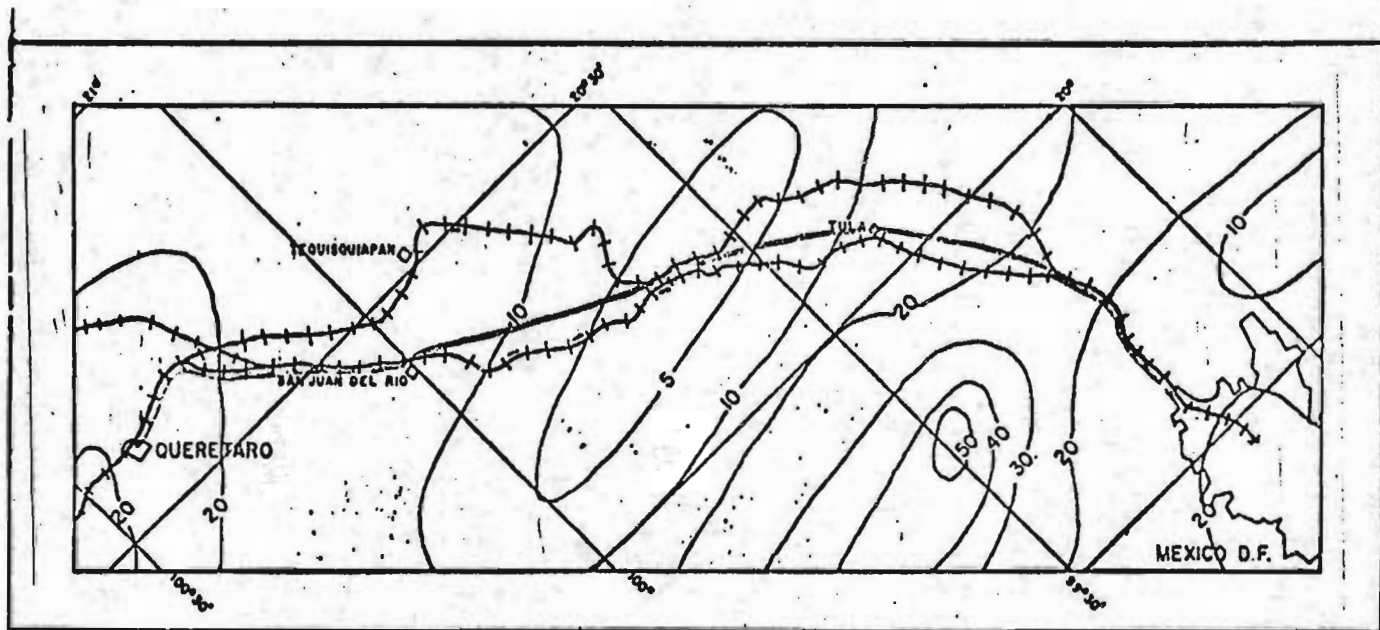
6. Descargas atmosféricas promedias

La figura II proporciona el número de días promedio con tormentas eléctricas por año,



DOBLE VIA MEXICO-QUERETARO

FIGURA I : Precipitación anual promedio en el tramo México - Querétaro.



DOBLE VIA MEXICO-QUERETARO

FIGURA II : Número de días promedio con tormentas eléctricas por año en el tramo México - Querétaro.

7. Presión barométrica

Los siguientes son los valores anuales de presión en mm de Hg:

D.F. (Tacubaya)	-----	580.7 mm de Hg
Querétaro, Gro.	-----	625.3 mm de Hg

8. Historial sísmico

No hay información al respecto.

9. Experiencia de formación de hielo en conductores

Ninguna experiencia de este tipo en el área comprendida por la electrificación.

10. Contaminación industrial

La ciudad de México y Salamanca están sujetas a contaminación de tipo industrial.

11. Inundaciones y tormentas de polvo o arena

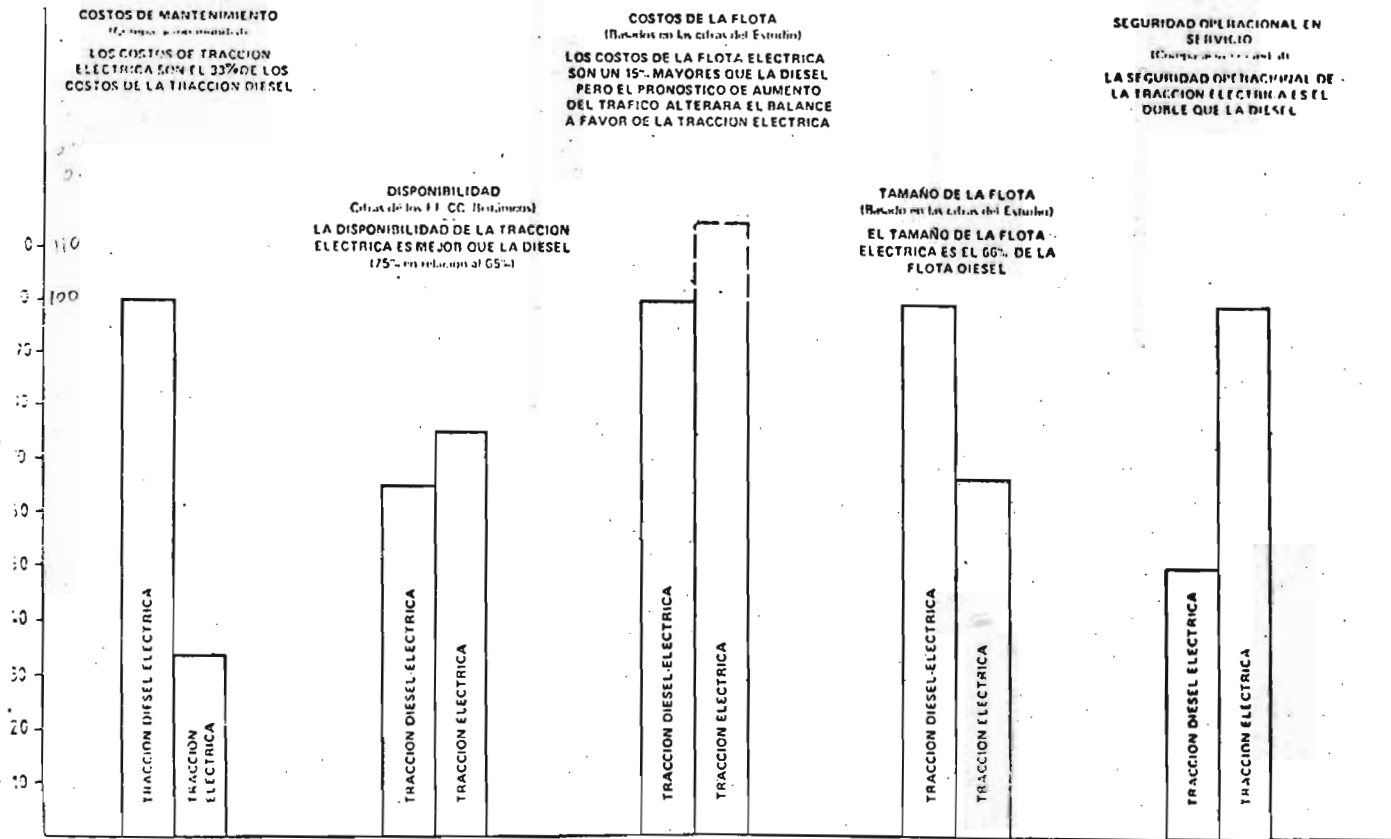
No hay información al respecto.

PLAN DE UBICACION



VENTAJAS DE LA ELECTRIFICACION DEL FERROCARRIL

FIGURA 2



A P E N D I C E B

En este apéndice se contemplan los tres tipos de circuitos de vía (CDV) más empleados comercialmente.

1. CDV de corriente directa.

a) Construcción

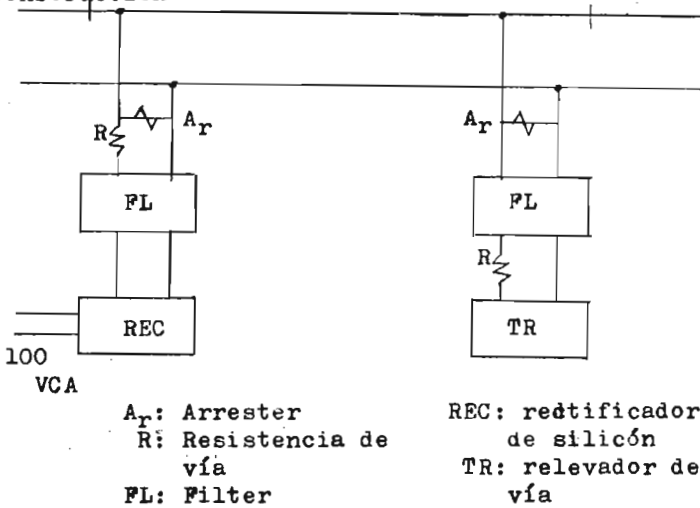


Figura B-1. Construcción del CDV de corriente directa.

b) Características

- Tipo de electrificación
- Lugar de aplicación
- Variación de la conductancia de fuga

En corriente alterna
 En patios de estación
 sin vía principal
 0 a 0.5 S/Km

- Longitud de control	20 a 1,000 m
- Sensitividad al corto	Más de 0.8 ohms
- Detección de riel roto	Posible
- Máxima corriente de retorno	400 A
- Temperatura ambiental	-30 a +70 °C
- Humedad	Menos del 95%
- Fuente de poder	12 VCD \pm 10%

2. CDV de baja frecuencia (25 a 400 Hz).

a) Construcción

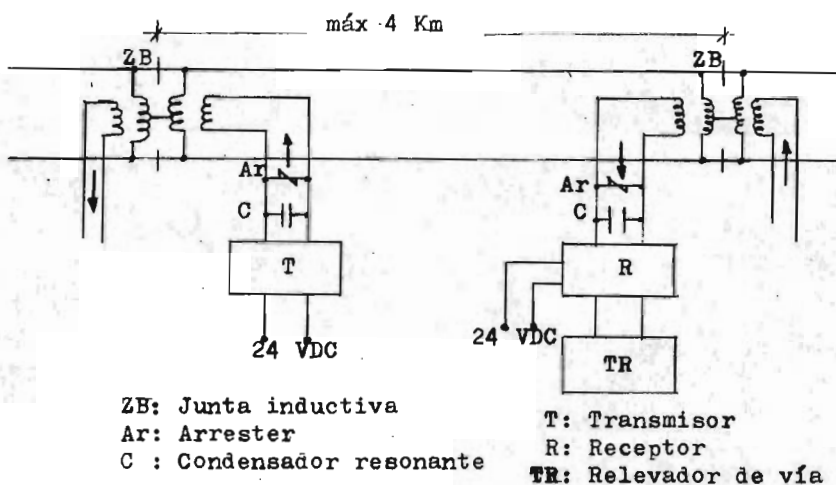


Figura B.2. Construcción del CDV de baja frecuencia.

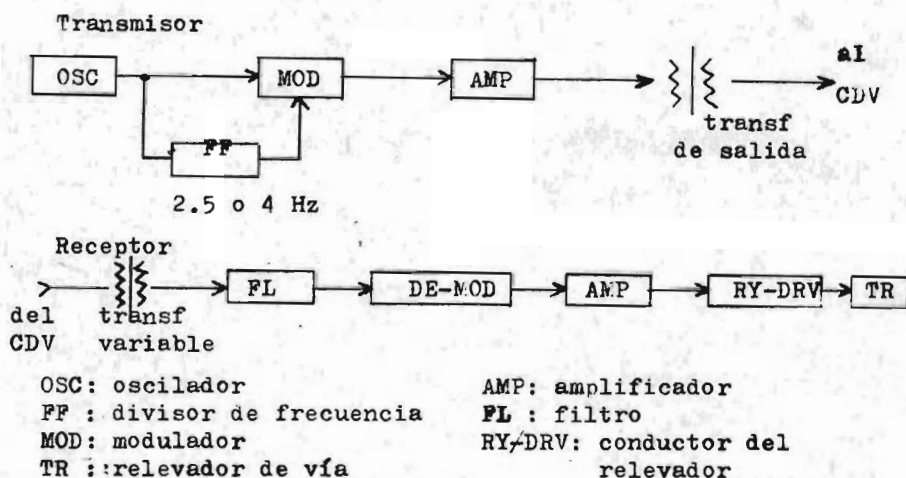


Figura B-3. Diagrama a bloques del transmisor y del receptor.

b) Características

- Tipo de electrificación	Corriente alterna, directa y no electrificado
- Lugar de aplicación	Doble riel
- Variación de la conductancia de fuga	0 a 0.5 S/Km
- Longitud de control y sensibilidad al corto	20 a 2,000 m para más de 0.8; 2 Km a 4 Km para más de 0.35 ohms
- Detección de riel roto	Posible
- Máxima corriente de retorno	400 A
- Temperatura ambiental	-30 a +70 °C
- Humedad	Menos del 95%
- Fuente de poder	24 VDC \pm 10%

Si el nivel de recepción es de 12 a 13 μ b, cuando

la longitud del circuito de vía es de 4 Km, la detección de riel roto es posible. En este caso, se pueden asegurar 0.35 ohms de sensibilidad al corto.

3. CDV de audiofrecuencia (1 a 3 KHz)

a) Construcción

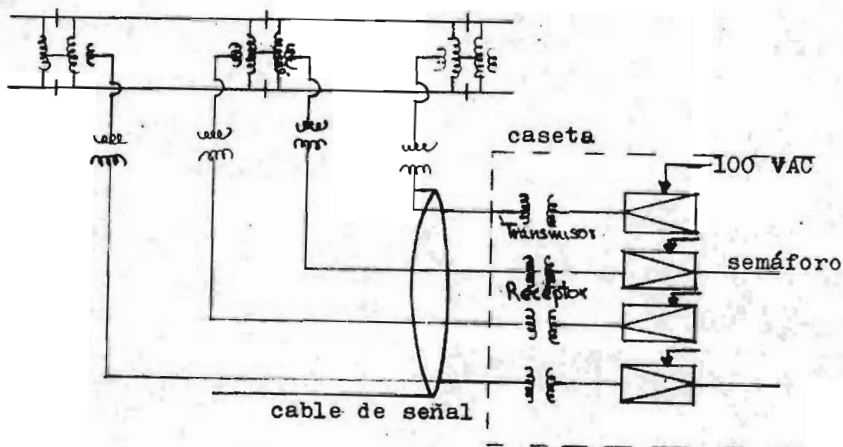


Figura B-4. Construcción del CDV de audiofrecuencia.

b) Características

- Tipo de electrificación	Corriente alterna, directa y no electrificado
- Lugar de aplicación	Interestaciones
- Variación de la conductancia de fuga	0 a 0.5 S/Km
- Longitud de control	20 a 2,000 m
- Sensitividad al corto	0.2 a 1 ohm
- Detección de riel roto	Posible

- Máxima corriente de retorno 400 A
- Temperatura ambiental -10 a +40 °C
- Humedad Menos del 95%
- Fuente de poder 100 VAC \pm 10%
- Junta aislante 1 mH a 1 KHz

El CDV de audiofrecuencia es un sistema que concentra dispositivos en cada estación y que está equipado con el sistema redundante. Por lo tanto, tiene las características de ser muy confiable, fácil de mantenimiento y fácil de tección de trenes entre las estaciones.

A P E N D I C E C

Bancos de Baterías

Baterías:

La tensión nominal de la batería se determina sobre la base de 2.0 Volts por celda para el tipo plomo ácido y 1.2 Volts por celda para el tipo alcalino, sin considerar las celdas de emergencia o de reserva que se conectan al - circuito unicamente para mantener la tensión durante la descarga.

Celdas del tipo cerrado.- Son aquellas en las cuales el unico paso para los gases de escape desde el interior de la - celda está formado por una válvula para retener y regresar a la celda las partículas del líquido contenidas en los mismos gases de escape.

Celdas del tipo abierto.- Son aquellas en las cuales los gases de escape de la celda pueden transportar las partículas de líquidos a la atmósfera circundante.

Aislamiento de las baterías:

Las baterías deben colocarse sobre soportes aislantes en la forma siguiente:

- a) Las celdas del tipo abierto deben soportarse sobre aisladores de suficiente resistencia mecánica (de vidrio, de porcelana vidriada o los del tipo de aceite) o bien soportarse en grupos sobre charolas de vidrio o de otro material aislante adecuado.
- b) Las celdas del tipo álcali en recipientes de material conductor deben soportarse individualmente, o por grupos colocados en charolas no conductoras.
- c) Las celdas del tipo cerrado en recipientes de material aislante no requieren aislamiento adicional, con excepción de las baterías de acumuladores con celdas en recipientes de hule o pasta, si la tensión total excede de 150 V, o de vidrio si la tensión total excede de 250 V, en cuyos casos se recomienda que las celdas se separen en grupos que no excedan de estas tensiones, colocando cada grupo en charolas o bastidores soportados por aisladores adecuados como los de vidrio, de porcelana vidriada o los del tipo de aceite.

Bastidores y Charolas.-

- a) Bastidores. Los bastidores o armazones construidos para soportar celdas o charolas deben tener suficiente resistencia mecánica y pueden ser:
 - a.1) De madera tratada de modo que sea resistente a la acción deteriorante del electrolito.
 - a.2) De metal tratado de modo que sea resistente a la acción deteriorante del electrolito, provistos de miembros

bros no conductores que soporten directamente a las celdas o de un material aislante apropiado sobre los miembros que sean conductores.

a.3) De algún otro material y construcción previamente aprobados.

b) Charolas. Las charolas deben ser recipientes poco profundos, generalmente de madera o de otro material no conductor, construidos o tratados de forma que sean resistentes a la acción deteriorante del electrolito.

Localización: las baterías deben estar localizadas en lugares accesibles unicamente al personal idóneo.

Requisitos de los locales para baterías:

a) Medidas de precaución. Dentro del local de las baterías debe evitarse fumar, usar flamas abiertas y el uso de herramientas que produzcan chispas, porque ello puede encender el gas desprendido y contenido en la atmósfera.

El electrolito de las baterías así como los vapores del mismo que pudieran estar contenidos en la atmósfera son corrosivos por lo que debe evitarse el contacto con la piel y la ropa.

b) Local independiente. Se recomienda que las baterías se instalen en un local independiente. Este requisito es obligatorio para acumuladores con recipientes abiertos.

c) Conductores y canalizaciones. No deben instalarse conductores desnudos en los puntos de tránsito de personas, a menos que se coloquen a suficiente altura para quedar pro

tegidos. Para instalar los conductores aislados puede usarse tubo metálico o ductos metálicos con tapa siempre que estén debidamente protegidos contra la acción deteriorante del electrolito.

En los locales para baterías, los conductores con envoltura de cambray barnizados no deben usarse.

- d) Terminales. Si en el local de las baterías se usan ductos metálicos con tapa, tubería metálica rígida u otra cubierta metálica, los extremos de los conductores que se conecten a las terminales de los acumuladores deben estar fuera de la canalización, por lo menos hasta una distancia de 30 cm de las terminales y resguardadas por medio de una boquilla, aislante, vidriada y resistente.

El extremo del ducto o tubo debe cerrarse herméticamente para no permitir la entrada del electrolito, por rociadura o escurrimiento para lo cual debe usarse pasta, cinta aislante de hule u otro material apropiados.

- e) Ventilación. Se deben adaptar las medidas necesarias para la extracción suficiente de los gases desprendidos de la batería a fin de evitar la acumulación de una mezcla inflamable de gases en el local.
- f) Pisos. Los pisos de los locales donde se encuentran baterías de acumuladores y donde sea probable que el ácido se derrame y acumule, deben de ser de material resistente al ácido o protegido de otra manera.
- g) Equipos de calefacción. No deben instalarse equipos de calefacción de flama abierta o resistencias incandescentes expuestas en el local de las baterías.

h) Iluminación. Se recomienda que los locales de las baterías se construyan de tal forma que se tenga una buena iluminación natural durante el día.

Para locales de baterías en recipientes no herméticamente, el tipo de luminario para el alumbrado interior debe ser únicamente incandescente con portalámparas a prueba de vapor y gas y controlados, si es posible, desde fuera del local.

Protección de partes vivas en las baterías.

El arreglo y las conexiones de las celdas deben hacerse en tal forma que cuando se tengan dos partes conductoras entre las cuales exista una tensión de más de 150 V, estas partes están adecuadamente resguardadas para evitar que el personal pueda hacer contacto accidental con las dos al mismo tiempo.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- SEMINAR ON ELECTRIFICATION
Japanense National Railways & Japan International Cooperation Agency. June 1982.
- 2.- SISTEMA DE SENALIZACION Y PILOTAJE AUTOMATICO
Sistema de Transporte Colectivo "Metro".
- 3.- LAS OBRAS ELECTROMECHANICAS EN EL METRO
COVITUR.
- 4.- MODERNIZACION DE LA RED SISTEMAL DE TELECOMUNICACIONES
DE LOS FERROCARRILES NACIONALES DE MEXICO.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- 5.- TOTAL SYSTEM DESIGN ASPECTS OF MODERN A.C. RAILWAYS
E. E. Riches M.Sc., F.I.E.E.
- 6.- SEMINARIO TECNICO SOBRE ELECTRIFICACION FERROVIARIA
Societa Anonima Electtrificazione. Julio 1982, Milán
Italia.
- 7.- GUIDE FOR SAFETY IN SUBSTATION GROUNDING
IEEE 1976.
- 8.- PROGRAMA DE ELECTRIFICACION FERROVIARIA
Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Noviembre
1982.