



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería Eléctrica

**"Estudio de un Transporte Integrado
al Sistema Eléctrico"**

TESIS DE GRADO

**PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACION POTENCIA**

Julio Antonio Arnez Arnez

Guayapuul • Ecuador

1986

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería eléctrica
BIBLIOTECA
Dep. No. 107-0921

AGRADECIMIENTO

Al Ing. JORGE FLORES M., por su valiosa dirección de este trabajo.

Al CICYT por el valioso incentivo en la culminación de esta tesis.

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis de Grado:

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A NANCY

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



JULIO ANTONIO ARNEZ ARNEZ



ING. GUSTAVO BERMUDEZ FLORES
SUB-DECANO DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA ELECTRICA



ING. JORGE FLORES M.
DIRECTOR DE TESIS



ING. ALBERTO LARCO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. JORGE CHIRIBOGA V.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	6
INDICE GENERAL	8
INDICE DE FIGURAS	14
INDICE DE TABLAS	22
INTRODUCCION	24
CAPITULO I.	27
PROBLEMATICA DEL TRANSPORTE EN CIUDADES DE GRAN POBLACION DEMOGRAFICA.	27
1.1 Crecimiento de la población y problemas del transporte urbano.	27
1.1.1 Situación económica de los demandantes	28
1.1.2 Desarrollo de las ciudades	31
1.2 Necesidad e importancia de la planificación del transporte urbano.	33
1.2.1 Aspectos generales y características.	33
1.2.1.1 Desarrollo económico	33
1.2.1.2 Población económicamente ac- tiva.	34
1.2.1.3 Ingresos familiares	35
1.2.1.4 Otros factores	36
1.3 Proyección de áreas de mayor desarrollo en el futuro.	40
1.4 Demanda de tráfico en el futuro según las ne- cesidades.	40

	Pág.
1.5 Transporte masivo, columna vertebral de la movilización.	48
1.5.1 Transporte tradicional como comple- mento del transporte masivo.	52
1.5.2 Coordinación del transporte masivo con otros medios de transporte urba- no.	53
1.6 Influencia del estudio del terreno en la implementación del transporte masivo.	57
1.7 Recomendaciones generales a priori al trans- porte masivo.	61
CAPITULO II.	64
SISTEMAS DE TRANSPORTE ELECTRICO MASIVO	
2.1 Clasificación de los transportes masivos .	65
2.1.1 Ferrocarril subterráneo (metro) ...	67
2.1.2 Ferrocarril urbano	70
2.1.3 Tránsito sobre carril ligero	74
2.1.4 Ferrocarril tipo llanta de goma (tro- lebus).	78
2.1.5 Monorriel	98
2.2 Criterios para su selección	104
2.2.1 Comparación de los distintos tipos transporte masivo	104
2.2.1.1 Criterios técnicos	105
2.2.1.2 Criterios económicos	110
2.2.1.3 Beneficios sociales	113
2.2.2 Ventajas y desventajas frente a los transportes no eléctricos.	114
CAPITULO III.	115

	Pág.
DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA DEL SISTEMA DE TRAC CION ELECTRICA.	115
3.1 Clasificación de sistemas	115
3.1.1 Sistema monofásico de c.a.	115
3.1.2 Sistema trifásico de c.a.	119
3.1.3 Sistemas de c.c.	120
3.2 Medios de propulsión y su clasificación ..	122
3.2.1 Locomotoras eléctricas	123
3.2.2 Locomotoras de corriente alterna ..	124
3.2.3 Locomotoras de corriente continua .	127
3.3 Principales equipos de la máquina	129
3.3.1 Carrocería (dimensiones)	129
3.3.2 Motor de tracción	137
3.3.3 Transmisión	156
3.3.4 Pantógrafos	162
3.3.5 Transformadores	166
3.3.6 Controles de tensión	167
3.3.7 Rectificadores de la locomotora ...	170
3.3.8 Grupo motor-generador para la locomo tora.	172
3.4 Equipos auxiliares	175
3.5 Componentes mecánicos	186
3.5.1 Bogies (chasis).....	186
3.5.2 Frenos (mecánicos)	189
3.5.3 Amortiguadores	192
3.6 Circuitos de control	194
3.7 Fuentes de alimentación	197
CAPITULO IV	198
ELEMENTOS DEL SISTEMA ELECTRICO PARA TRANSPORTE	

	Pág.	
4.1	Introducción	198
4.2	Clases de electrificación	200
4.2.1	Sistema de un hilo	202
4.2.2	Sistema de dos hilos	206
4.3	Alimentación de potencia	210
4.3.1	Alimentación aérea	212
4.3.2	Alimentación subterránea	217
4.4	Catenaria y elementos de sujeción	222
4.5	Factores ambientales sobre los parámetros de la catenaria.	239
4.5.1	Efectos de la temperatura	239
4.5.2	Flecha del cable de suspensión	242
4.5.3	Longitudes del vano	244
4.5.4	Otros efectos de menor consideración	245
4.6	Casos especiales de catenaria	246
4.6.1	Curvas	246
4.6.2	Inclinadas	247
4.7	Estructuras de soporte	251
4.7.1	Postes	251
4.7.2	Crucetas	254
4.8	Subestaciones	263
4.8.1	Tipos de subestaciones	264
4.8.2	Elementos de una subestación	266
4.8.2.1	Estructuras, aisladores, he rrajes, grapas, terminales, etc.	269
4.8.2.2	Transformador y clases ...	273
4.8.2.3	Campo de protección	276
4.8.2.4	Sistema de puesta a tierra.	277

	Pág.
5.6.5 Equipos de protección	365
5.6.6 Ventajas y desventajas de los dos tipos de subestaciones.	366
5.7 Estudio económico de la electrificación ..	372
5.7.1 Costo de construcción	373
5.7.1.1 Costo del carro	375
5.7.1.2 Costo de la subestación ...	376
5.7.1.3 Costo de línea por Km.	376
5.7.1.4 Otros costos	377
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	380
BIBLIOGRAFIA	385

R E S U M E N

En el presente trabajo se enfoca los problemas más comúnes del transporte urbano de pasajeros de la ciudad de Guayaquil, y como respuesta a esta problemática se propone un sistema de transportación masiva utilizando unidades de tracción eléctrica sobre llantas "TROLEBUS".

Como primer paso se hace una comparación de los diferentes tipos de transporte eléctrico con el trolebús, luego con el autobús, enfatizando sobre todo las ventajas técnicas, económicas y los beneficios sociales del sistema seleccionado.

Habiendo seleccionado el trolebús como un sistema fiable y económicamente adaptable a las condiciones de Guayaquil, se detalla las características eléctricas y mecánicas de la unidad, enfatizando sobre todo la función que cumple cada elemento como parte del trolebús.

El sistema de transporte señalado requiere de una red acerca de alimetnación en sistema de corriente continúa (c.c_ a 600 voltios, por lo tanto, el resto del contenido de este trabajo está avocada a describir con todo de

talle el sistema eléctrico de distribución en c.c., para alimentar trolebús.

Por último se diseña la línea, calculando y seleccionando los parámetros más importantes de las redes tanto del alimentador como el de contacto.

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

Considerando que la crisis energética que se presenta actualmente afecta bastante al sector de transporte y siendo éste, el mayor consumidor de energía del país (petróleo), se atribuye de urgente e imperativa el utilizar medios de transporte que ofrezcan la mayor eficiencia energética y proporcione un nivel de servicio más confortable y seguro.

El aumento de población, el intenso desarrollo económico y la extensión del área urbana de la ciudad de Guayaquil, es una realidad indiscutible, por lo tanto ya está afrontando a varios problemas de transporte urbano, tales como la congestión del tráfico en el área central y dificultades en vías de acceso periféricos para una fácil comunicación de los sectores en desarrollo; debido al elevado número de medios de transporte público de limitada capacidad.

Concientes de los problemas de transporte y preveendo mayores dificultades en el futuro, es impostergable implementar un sistema de transportación masiva para esta ciu-

dad. Precisamente en el contexto de este trabajo se pretende formular en forma sucinta y aproximada un plan de transportación de pasajeros entre los polos de mayor demanda, tomando en cuenta los antecedentes y proyecciones de crecimiento de esos sectores de la ciudad de Guayaquil. Como bien se sabe, Ecuador es rico en fuentes de energía hidráulica y que en la actualidad posee energía eléctrica que abastece la demanda nacional e inclusive tiene capacidad de exportar; constituiría una medida adecuada para el gobierno o los municipios pensar en desarrollar una política para aprovechar esta ventaja energética en el sector de transporte, no solamente para el transporte interprovincial, sino también en el transporte público urbano como se insinúa en lo que sigue.

La integración de la energía eléctrica hacia el sector del transporte público ha dado resultados satisfactorios en muchos países del mundo, de acuerdo a los informes suministrados por expertos en transporte masivo, Guayaquil también puede buscar como alternativa para solucionar su delicado problema del sector al implantar una red de trolebuses; esta apreciación se basa, preferencialmente en el aumento del costo del combustible y países como el nuestro están obligados a racionar el uso del petróleo para otros sectores insustituibles.

Sin embargo la electrificación de la red de distribución de energía hacia los vehículos es una necesidad obligatoria y los costos de inversión inicial son cuantiosos, pero se vá amortizando con el transcurso de los años.

La dificultad de encontrar soluciones óptimas, en una ciudad con tan reducidos recursos económicos como Guayaquil, dá una pauta de escatimar esfuerzos para dar soluciones buenas y económicas a mediano y largo plazo; pero más factibles con costos dentro de un marco de posibilidades inmediatas, esta diferencia entre costos y tiempo de implementación se logra al decidir por un sistema de transporte accionado por energía eléctrica y que utilice la infraestructura existente (las calles pavimentadas); este sistema se denomina TROLEBUS.

El presente trabajo tiene como meta, fundamentalmente describir los componentes del vehículo, la forma en que se alimenta y diseño preliminar de un pequeño tramo de la ruta seleccionada para el recorrido de un sistema de transportación masiva; para ello se vierten criterios generales y necesarios para la electrificación de un sistema de transporte sobre ruedas de goma (caucho). Haciendo notar que un estudio concreto requiere de un análisis particular y detallado que obviamente demanda elevados costos y mayor tiempo en su procección.

CAPITULO I

PROBLEMATICA DEL TRANSPORTE EN CIUDADES DE GRAN POBLACION DEMOGRAFICA.

1.1 CRECIMIENTO DE LA POBLACION Y PROBLEMAS DE TRANSPORTE URBANO.-

El continuo crecimiento de la población mundial trae consigo numerosos problemas, entre ellos la de proporcionar un sistema de transporte adecuado y suficiente para satisfacer las necesidades sociales y económicas, que además va cobrando mayores dimensiones en la sociedad latinoamericana hoy en día. Las deficiencias del transporte en nuestras ciudades hacen centrar la atención sobre lo que se denomina "transporte urbano masivo". Es cierto que nuestro sistema es más ágil que el que existió a través de nuestra historia, sin embargo la combinación de los factores tales como el creciente número de habitantes, la expansión geográfica de las áreas urbanizadas, las actividades, metas y valores cambiantes de nuestra sociedad complican considerablemente la provisión de medios y servicios de transporte y a su

vez se observa el descontento general por la forma en que funciona el sistema actual.

Por consiguiente debe dedicarse mayor atención a la función de los problemas de transportación masiva en el área urbana de la ciudad; analizando los valores, metas, leyes, costumbres, organización y capacidades de la sociedad, las que se combinan para imponer restricciones a la forma de funcionamiento del sistema de transporte, así como para proporcionar una estructura básica dentro de la cual podría desarrollarse.

1.1.1 Situación económica de los demandantes.-

Muchos de los llamados problemas del transporte surgen por su interacción con el medio socio-económico antes que por deficiencias en sí. Tal es el caso de Guayaquil en el que la infraestructura urbana está improvisada, y no elaborada con anticipación, para proyectarse a largo plazo y que ya están casi saturados por el exceso de medios de tránsito personal (automóviles) y a estas alturas ya originan el problema de la congestión de tránsito. La amplia utilización del auto

móvil se debe probablemente a que brinda un alto grado de flexibilidad, intimidad, comodidad y utilidad, además tiene un costo al alcance de la mayoría de la gente hasta de clase media. Sin embargo en nuestra sociedad la cantidad de personas que se movilizan en transportes públicos superan fácilmente al número de personas que cuentan con vehículos propios. Aún cuando los primeros tengan medios de transporte, cuando el número de ellos siga creciendo las redes viales resultarán insuficientes para permitir operar con agilidad para las que están diseñados los autos.

Esta es la razón primordial por buscar un sistema de transporte que permita aliviar el tráfico y sirva indistintamente a cualquier nivel social; dicho sistema es el denominado SISTEMA DE TRANSPORTACION MASIVA, aunque es cierto que la necesidad de transportación depende en gran cantidad del estilo de vida de una sociedad y estas necesidades cambian así como las sociedades cambian como respuestas a las presiones tecnológicas.

La adecuación del sistema de transporte con el medio a la que vá a servir es otro factor de riesgo de elevado costo. Así por ejemplo los vehículos pequeños se utiliza para viajes relativamente cortos, aparte de su adecuación para atender una variada gama de servicios, disponible en horarios individuales y sin transbordo de un sistema a otro. En tanto que un sistema masivo de transporte, es menos flexible y tiene un horario fijo y una ruta establecida.

Sin embargo la tendencia a utilizar un automóvil provoca una inesperada demanda de espacio para el transporte en ciudades densamente edificadas, lo cual queda solucionado con el sistema de transporte masivo.

Si bien el automóvil se presta admirablemente para servir en los sectores menos densamente poblados o en zonas industriales, también es cierto que se necesitan otros medios de transporte para conducir a ese apreciable sector de la población que debe trabajar y no está al alcance de obtener un vehículo propio.

Más adelante detallaremos con más precisión la situación del área en estudio, cuando se mencione los ingresos familiares y las posibilidades de tenencia de un vehículo propio.

1.1.2 Desarrollo de las ciudades.-

Las ciudades conforme transcurre el tiempo van modificándose gradualmente, ya sea en aras de desarrollo o de colapso; el tomar cualquiera de las rutas está en función de la situación económica del país y de la ciudad en especial.

Una ciudad en desarrollo, físicamente adquiere mayor área poblada, tiene mejores condiciones de servicio público. La prosperidad en las edificaciones estatales y privadas constituyen un patrón de referencia de la capacidad económica y el desarrollo de la ciudad.

Sin embargo la mayoría de las ciudades en los países latinoamericanos, se han ido expandiendo a capricho y paciencia de sus ciudadanos, donde el Departamento de Planifica-

ción Urbana se ha descuidado completamente, ya que en la actualidad muchos edificios y otras obras civiles constituyen un obstáculo para el funcionamiento efectivo del sistema de transporte.

Esta claro lo difícil que resulta hacer un cambio radical en pocos años en la estructura de una ciudad; la modificación siempre es lenta, porque es una meta a largo plazo pero bajo esta premisa debería iniciarse inmediatamente.

La industria privada continúa expandiéndose hacia los extremos de la ciudad llevando consigo el problema de transportación para los trabajadores. La Fig. 1.1 ilustra esta situación, que es el resultado de un estudio realizado por JICA.

Por las razones mencionadas es lógica que los ingenieros de transporte y los organismos de administración del ramo están desesperados tratando de presionar a las instituciones encargadas de la planificación urbana, esquematizando de manera radial la urba

nización con el objeto de prevenir la problemática actual.

Entonces es obvio que el terreno usado para este objetivo debe ser planificado, sacrificando inclusive algunos beneficios que tiene la ciudad.

1.2 NECESIDAD E IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO.-

1.2.1 Aspectos generales y características.-

Las características del proyecto son aquellas premisas para el pronóstico del tráfico y consiste principalmente en el desarrollo económico, cantidad de población y población económicamente activa E.A.P. Esto en detalle ayudará a entender mejor los aspectos más importantes en la planificación del transporte urbano.

1.2.1.1 Desarrollo económico.-

Una revisión de la tendencia del de

sarrollo económico en la última década y basado en el objetivo del plan de desarrollo nacional por CONADE, el porcentaje de crecimiento de producto nacional bruto per cápita para el período (1982-2000) fue establecida en 3.3% año en valor neto.

- El porcentaje de crecimiento de la población fue estimado en 3.4% año a nivel del territorio nacional.

1.2.1.2 Población económicamente activa.-

En cuanto a la tasa de la población económicamente activa (P.E.A.) del total de la población se estima que es aproximadamente el 30%; esta misma proporción se cree que se mantendrá aún en el año 2000, debido al elevado crecimiento de la población.

La población según la proyección hecha por INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) de acuerdo a sus premisas referentes a la fertilidad, mortalidad y migración internacional, es detallada en el cuadro siguiente:

TABLA No. I
 PRONOSTICO DE LA POBLACION EN EL AREA DE ESTUDIO
 (GUAYAQUIL)

ANO	1.982	1.983	1.990	1.995	2.000
Población por 1.000 habitantes	1.264	1.439	1.788	2.211	2.726
Tasa de crecimiento % por año	4.62	4.42	4.44	4.34	4.24
	4.40 de 1982 a 2000				

De acuerdo a estos datos, la población económicamente activa de Guayaquil, estaría en el orden de:

$1'600.000 \times 30\% = 480.000$ habitantes para
1.986.

$1'788.000 \times 30\% = 536.400$ habitantes para
1.990.

Datos importantes que contribuirán en la selección del tipo de transporte masivo más apropiado para atender a esta población para transportar.

1.2.1.3 Ingresos familiares.-

Los ingresos familiares se pueden

utilizar como parámetro que permita estimar la posibilidad de posesión de vehículos propios; analizando los resultados de la encuesta de producción, el ingreso familiar promedio era aproximadamente 16.500 sucres/mes en 1982 y la posesión de vehículos es 82/1000 personas de la población del sector en estudio en la actualidad.⁽¹⁾

El ingreso familiar fue asumido en función del crecimiento del 3.3%/año (Guayaquil) y la posesión del vehículo se ha proyectado para alcanzar a 150/1000 habitantes en el año 2.000.

1.2.1.4 Otros factores.-

Entre otros factores de importancia en el planeamiento de sistemas de transporte, se puede considerar el desarrollo de la ciudad en el futuro; basado en la cuida-

(1) Datos recopilados del informe de la JICA JICA (Agencia de Cooperación Internacional Japonesa). En la actualidad está haciendo un estudio de factibilidad para implementar un sistema de transporte masivo, basado en un tren urbano sobre carril ligero y trabaja en conjunción con la Comisión de Tránsito del Guayas.

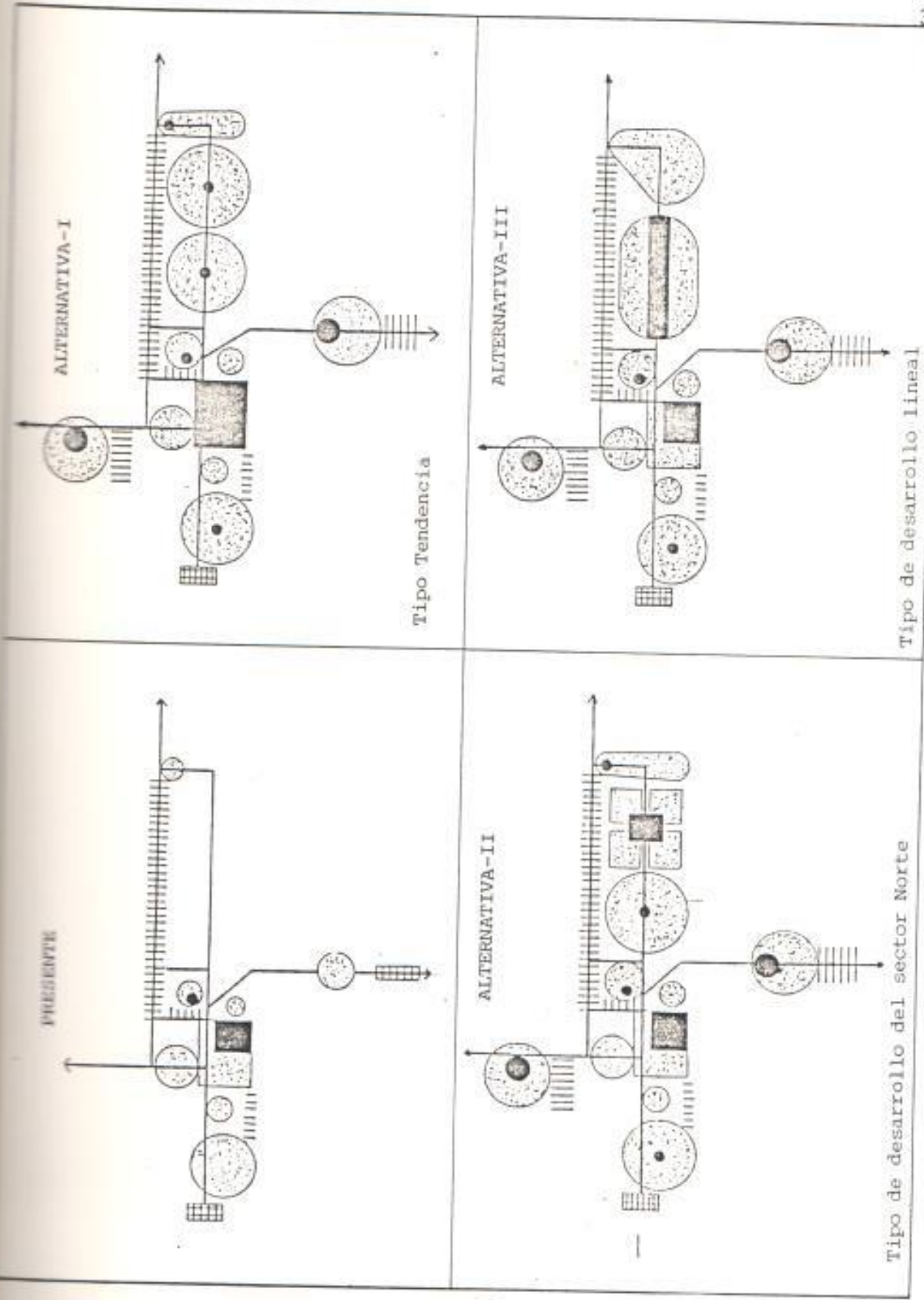


FIGURA No. 1.1. ESTRUCTURA DE GUAYAQUIL EN EL FUTURO

dosa observación de condiciones que cada zona brinda para la explotación de bienes, podemos mencionar que pueden darse casos como: Un desarrollo lineal hacia el norte, siendo ésta la más poblada y tal vez la más aconsejable para activar la floreciente industria regional. Figura N^o1.1 (futura estructura después del año 2000).

Un criterio más significativo plantea que para obtener una adecuada planificación deben considerarse todos los factores y abordar el problema de manera coordinada con todos los aspectos de desarrollo y provisión de sistemas de transporte.

Además un concepto muy importante para enfocar una planificación consiste en: Concebir claramente o seleccionar la futura ubicación y organización de las actividades socioeconómicas de la región a fin de determinar la demanda potencial del movimiento de vehículos por la naturaleza e intensidad de los usos de la tierra distribuida en la región, sobre la base de los posibles medios de transporte, ya sea eligiendo un sistema

que permita atender de manera eficaz las necesidades de la región y la satisfacción de otros objetivos y criterios relacionados con el funcionamiento del sistema.

Es aconsejable que los estudios se realicen sobre una base regional, además los trabajos destinados a la planificación del transporte se haga en total coordinación con los organismos más importantes para la planificación urbana regional. Donde probablemente cada organismo conoce muy bien su campo de acción y en colaboración con otros sectores lograrán unificar prospectos de aceptación mancomunada y beneficiosa a cada entidad y al pueblo en general.

El planeamiento de las rutas deben ser diseñadas en lo posible, respetando las características que predomina en la actualidad, sin perjuicio a sectores mayoritarios, sobre todo basados en estadísticas de origen y destino de los usuarios que en nuestro caso la mayor cantidad de la población van desde la periferia al centro, sobre todo en un sentido norte-sur por constituir estos sectores

los polos de desarrollo más importantes en el presente y con proyecciones al futuro.

Finalmente la Figura N° 1.1 muestra la conformación física de la ciudad en el futuro con una concentración de actividades comerciales, industriales y residenciales, lugares donde habrá que desplazar a los usuarios.

1.3 PROYECCION DE AREAS DE MAYOR DESARROLLO EN EL FUTURO.-

Aunque ya se ha mencionado en el punto anterior, aquí presentamos las formas en las que la ciudad de Guayaquil puede desarrollarse en el futuro con meta al año 2000, observe la figura N° 1.2

1.4 DEMANDA DE TRAFICO EN EL FUTURO SEGUN LAS NECESIDADES.-

Ya en la actualidad se está encarando serios contratiempos con los vehículos sobre todo en las horas pico; por lo tanto, deben comenzar a implementarse sistemas de transportación masiva que agilite el desplazamiento de trabajadores, escolares y otros usuarios en general.

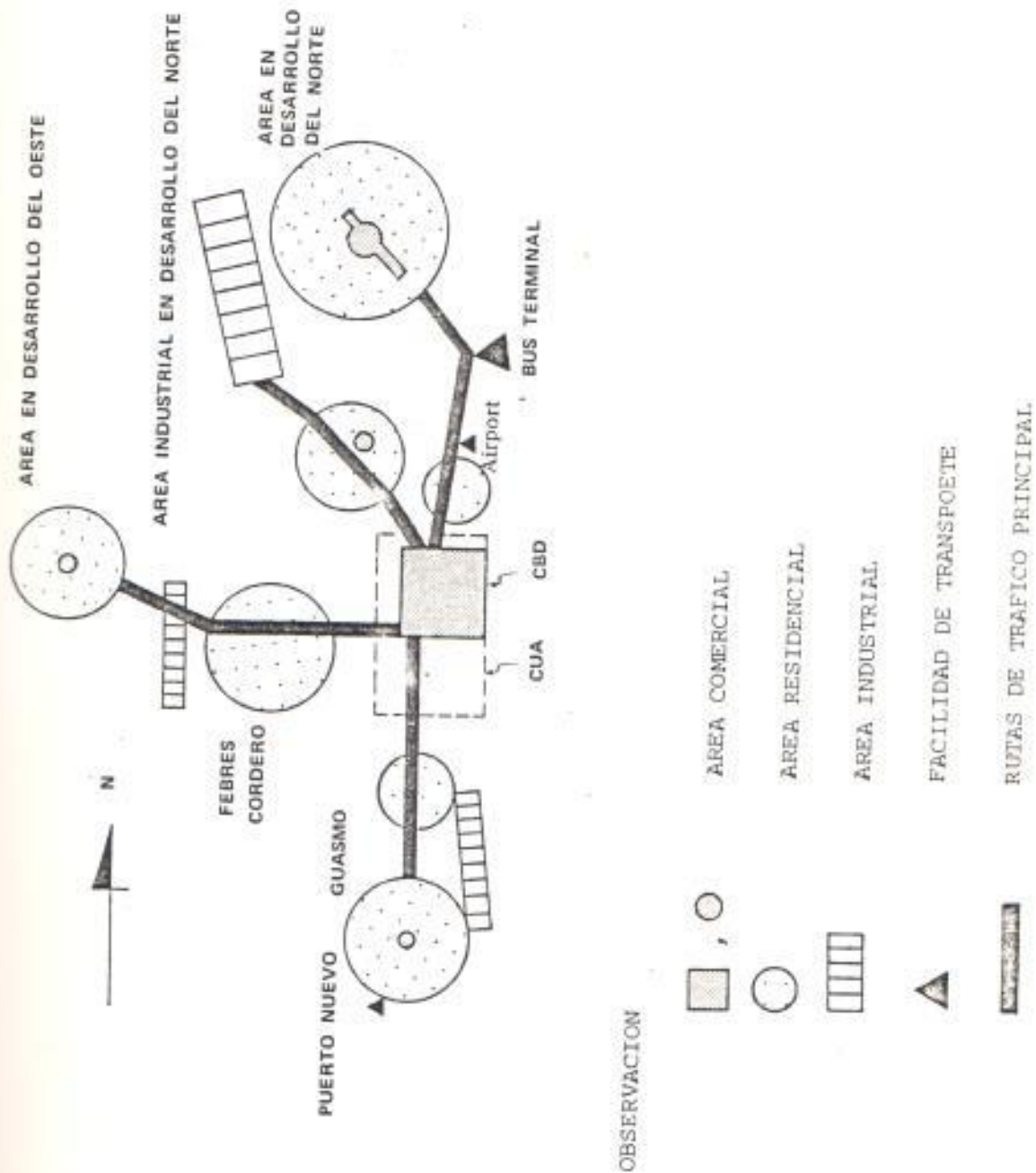


FIGURA No. 1.2 . AREAS DE MAYOR DESARROLLO EN EL FUTURO.

La evaluación del funcionamiento de un medio de transporte se basa en los criterios habituales del costo, seguridad, utilidad y comodidad, siendo el factor seguridad uno de los problemas más latentes y discutidos que influye en el funcionamiento de cualquier sistema de transporte. Si bien un gran porcentaje de los accidentes se atribuye a fallas del conductor y se hacen esfuerzos por mejorar la habilidad de ellos, la contribución de los programas destinados a lograr mayor seguridad en el comportamiento del conductor en sí, sigue siendo incierta. Por otra parte, el enfoque de proporcionar un entorno operativo más seguro parece haber contribuido en buena medida a reducir tasa de accidentes. Gracias al constante mejoramiento de los caminos, la introducción de elementos diseñados, para realizar operaciones más seguras y la sucesiva incorporación de dispositivos de seguridad en los vehículos, la tasa media de los accidentes ha disminuido notablemente, comparado con las décadas precedentes.

La evaluación del funcionamiento de un sistema de transporte puede además basarse en el grado de eficacia con que funciona y la medida en que responde a las exigencias de movimiento de tránsito. Esto

se relaciona con la corriente y la capacidad de tránsito; la congestión proviene de una capacidad inadecuada del tránsito de vehículos dentro y cerca de las grandes concentraciones urbanas en las horas pico.

El problema de la capacidad inadecuada del sistema mismo, puede abordarse instituyendo medidas para mejorar la corriente de tránsito en el sistema ya existente, agregando nuevas redes viales o ambos a la vez. También se puede enfrentar el problema de la congestión atendiendo parte de la demanda con otro medio de transporte y finalmente evitando las grandes concentraciones del movimiento de vehículos.

La subcapacidad casi crónica en secciones cruciales de la red urbana (carretera), deriva en gran medida del hecho de que el mejoramiento y la ampliación del sistema vial siempre estuvieron rezagados respecto al incremento del número y el uso de vehículos automotres.

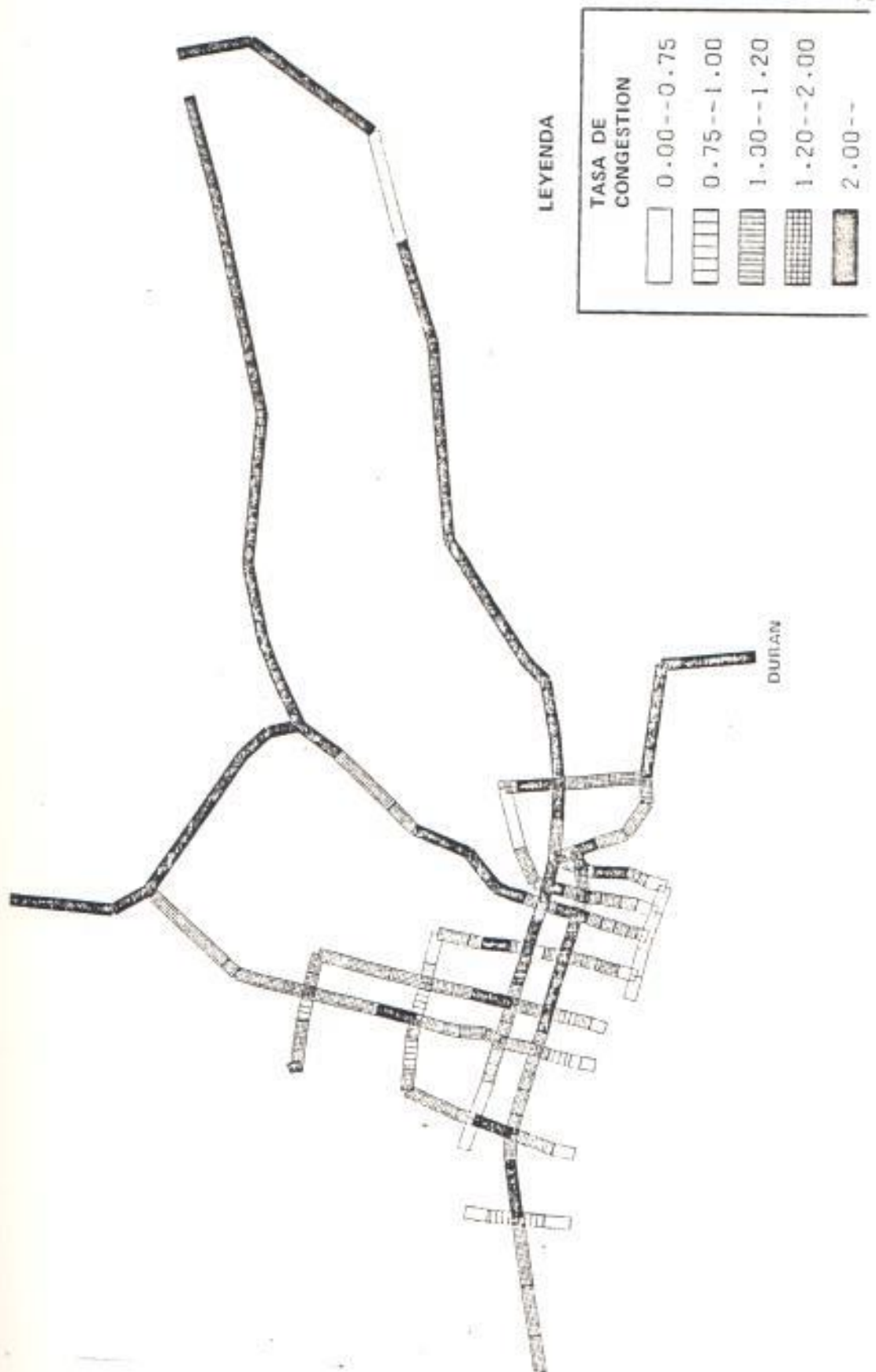
Para analizar la demanda de tráfico en el futuro deben integrarse los puntos de mayor generación de viajes con los centros de atracción de la ciudad

(anillos central, zonas industriales del norte, terminal terrestre y las zonas residenciales del sur).

Además los recorridos deberán estar localizados sobre las vías del sistema principal, de tal manera que la intercomunicación de las zonas de origen y destino se efectúe con el menor número de maniobras de giro.

- Los motivos de viaje podemos clasificar en viajes producción; generación y atracción, distribución.
- En conclusión al concluir el estudio, JICA ha establecido que el futuro volumen de tráfico, la red de comunicación ciudad-periferia en Guayaquil será de aproximadamente tres veces al que existe en la actualidad y el promedio de la tasa de congestión será como se detalla a continuación. Figuras N° 1.3 y 1.4.

Al presente la producción interna de viajes excluyendo los de a pie, alcanza un total aproximadamente de 2'310.000 viajes en un día, haciendo cerca de dos viajes por persona; la futura producción de viajes estimado para el año 2000, asciende a 4'980.000 viajes en el día, casi con la misma proporción de



— FIGURA No. 1.3, CONGESTION DE VIAS DE ACCESO Y EN EL CENTRO DE GUAYAQUIL EN LA ACTUALIDAD.

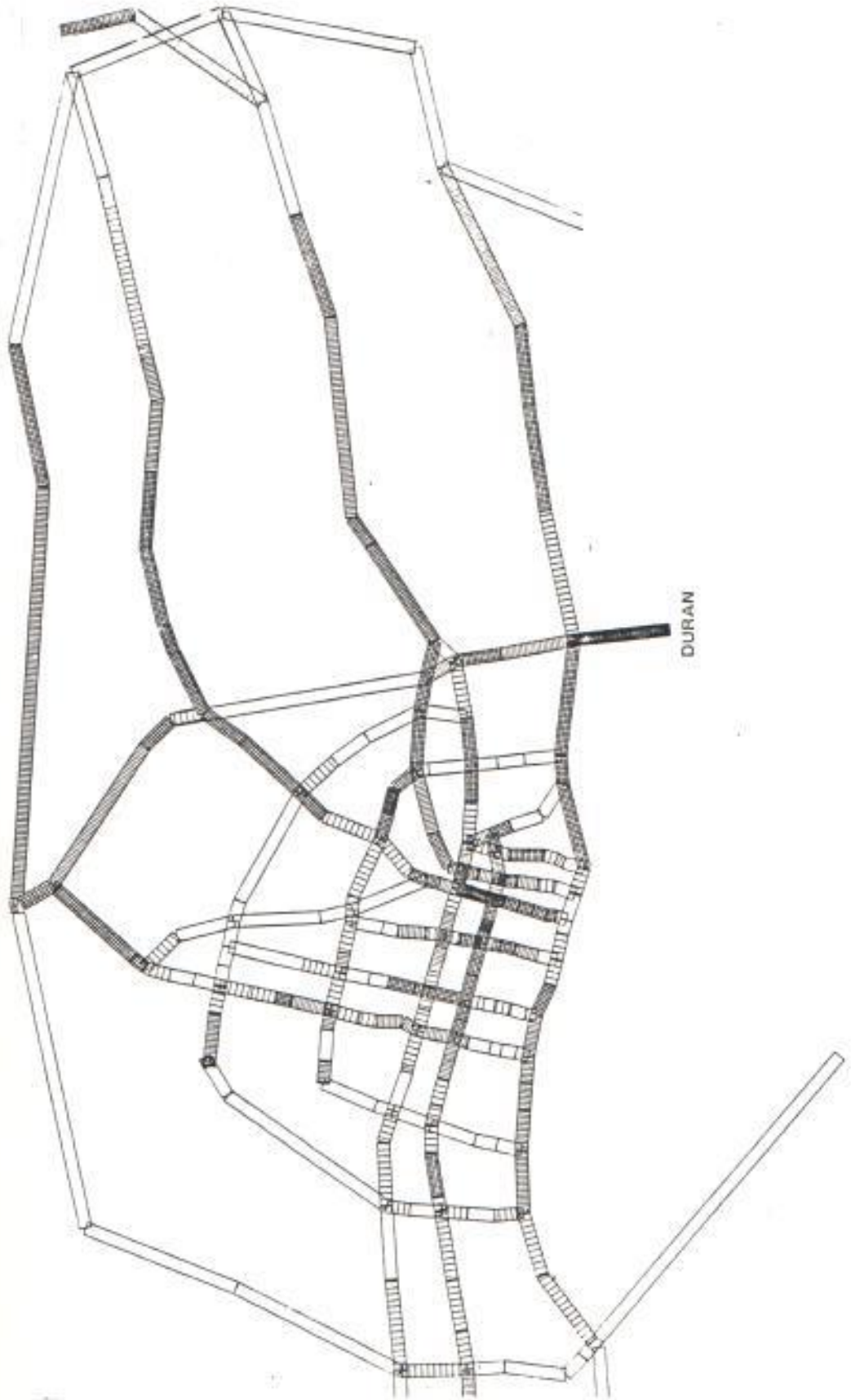


FIGURA No. 1.4. CONGESTION PREVISTA PARA EL AÑO 2000 AL APLICAR EL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO.

viajes por persona. Es posible también analizar los viajes, tal caso contempla el atractivo turístico, trabajo, estudios, etc. Sobre todo el crecimiento poblacional afecta al área suburbana. Finalmente podemos esbozar con un poco de detalle la modalidad de viajes previstos en el futuro.

C A S O	NUMERO DE PERSONAS QUE VIAJAN EN VEHICULOS PROPIOS.	VIAJE EN TAXI	VIAJE DE TRANSPORTE EN MASA	T O T A L
a: Presente	1'050.907	420.069	841.891	2'312.867
b: Año 2000	1'996.800	906.300	2'076.500	4'979.600
Proporción a/b	1.9	2.16	2.47	2.15

La tasa de congestión es un parámetro que nos ayuda a catalogar la factibilidad del movimiento vehicular y se calcula según la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de Congestión} = \frac{\text{Volumen del tráfico del proyecto/vía doble sentido}}{\text{Capacidad diseñada/doble sentido}}$$

Los valores de la tasa de congestión se pueden interpretar como:

Menos de 1.0 : Se asegura las condiciones normales de velocidad de movimiento.

Entre 1 y 1.2 : Hay estorbo en las condiciones normales de velocidad de movimiento, pero los carros se pueden mover aún con baja velocidad.

Entre 1.2 y 2.0 : Expresa una muy baja velocidad.

Más de 2.0 : Es imposible transitar

1.5 TRANSPORTE MASIVO COLUMNA VERTEBRAL DE LA MOVILIZACION.-

Tomando en cuenta la función de varias rutas y las condiciones de infraestructura actual de la ciudad, los motivos de proponer un sistema de transporte masivo tiene la finalidad de: proveer rapidez y servicio conveniente, especialmente para los viajes largos, de extremo a extremo de la ciudad, asegurar suavidad y seguro flujo de tráfico; evitar división social de la comunidad y mantener un mejor ambiente urbano; etc.

La formulación del sistema de transporte masivo se hace también con el objeto de preparar una solución, teniendo en cuenta el intenso desarrollo de la ciudad y un aumento considerable de población en la actualidad, la configuración geográfica del área urbana, está confrontado problemas de tráfico, a esto se suma el insuficiente suministro de transporte público frente a la elevada demanda de pasajeros. Como respuesta a estas anomalías, se plantea que el transporte masivo sea la encargada principal de movilizar a los pasajeros entre los sectores de mayor influencia, evitando por supuesto meterse a través del casco urbano; uniformizar la movilización de los usuarios con los medios existentes (o transporte tradicional), efectivizar la utilización de las rutas existentes en el área urbana; conservar el medio ambiente confortable para la vida urbana.

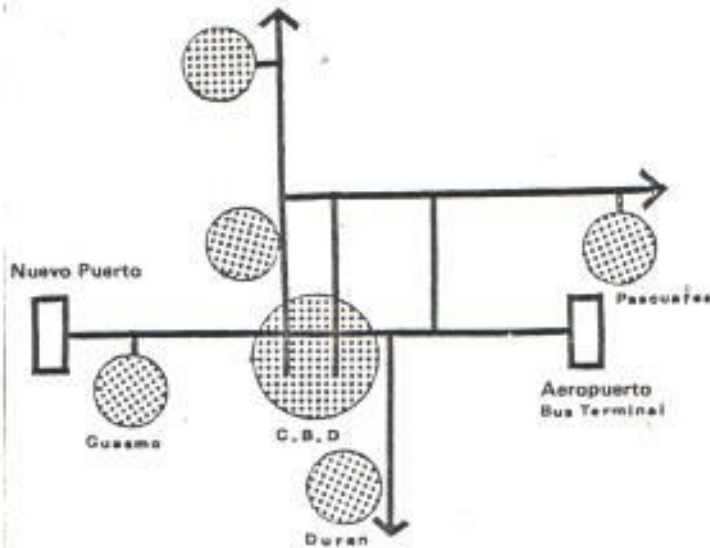
El sistema propuesto, aumentaría la capacidad de transporte y solucionaría los problemas de embotellamiento de tráfico; sentaría bases para una mejor organización del transporte de omnibus y aliviaría notablemente la congestión del sector urbano, a la vez permitiría un mejor control de parte del organismo encargado del transporte ya que establecería reglamentos más estrictos sobre estacionamiento y

estaciones de parada, con lo que se ordenaría un poco el mal hábito de usuarios por esperar a la movilidad donde crea más cómodo.

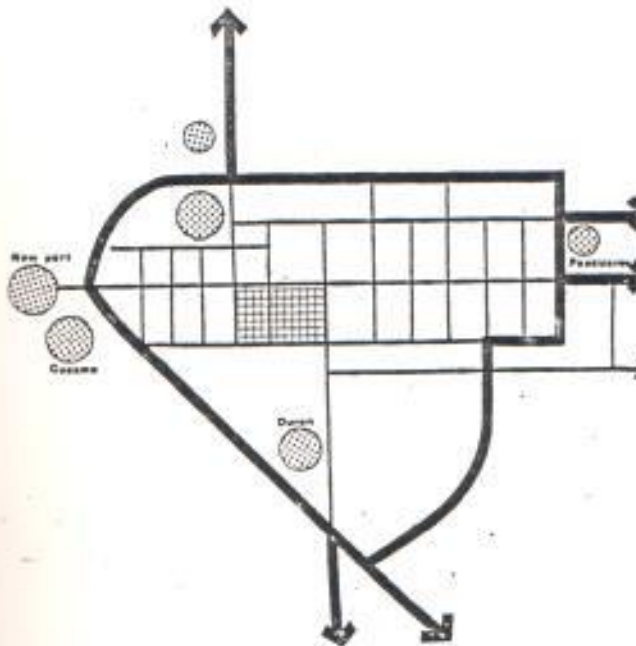
El transporte masivo cubriría el sector de mayor confluencia de pasajeros entre los puntos de mayor generación de demanda de unidades de transporte, lo cual a su vez, a lo largo de la ruta principal generaría nuevos puntos de concentración de usuarios las mismas que serían cubiertas por unidades motorizadas convencionales existentes a la fecha. Este plan básico, crearía un mejor ambiente de transporte urbano, brindando una mejor apariencia organizativa, constituiría un parámetro de medida tecnológica avanzada de una ciudad moderna.

Obviamente un sistema de transportación masiva aumentaría la capacidad de transporte de las reducidas vías con que cuenta la ciudad.

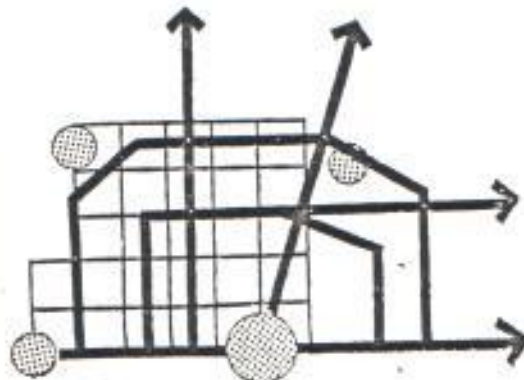
Tomando en cuenta todos los aspectos relacionados con el transporte y basados en un estudio de reconocimiento existentes y futuros volúmenes de tráfico, la J.I.C.A., ha esbozado diversos modelos de redes de carreteras para Guayaquil, las mismas se ilustran en la figura N° 1.5 .



Conceptual Estructura Urbana en el Futuro



Modelo de las redes de carreteras para todo el area de Estudio



Modelo de las redes de carreteras en la area Urbana

FIGURA No. 1.5. MODELO DE CARRETERAS SUGERIDAS PREVIO A LA IMPLEMENTACION DEL TRANSPORTE MASIVO.

1.5.1 Transporte tradicional como complemento del transporte masivo.-

La incorporación del transporte rápido masivo tiene fundamentalmente el propósito de: aliviar el volumen del tráfico de la ruta; activar el sistema de omnibus existente y mejoramiento de ese servicio público de transporte para una efectiva coordinación con el transporte masivo; suplir las comodidades que presta un vehículo particular sobre todo en cuanto se refiere el confort y rapidez; finalmente promover un enlace y desarrollo de los suburbios, permitiendo de esta forma la descentralización de zonas residenciales.

Entonces el transporte masivo servirá de eje, dividiendo la ciudad en algunas partes de manera que no provoque embotellamiento del sistema así mismo. En estas circunstancias el transporte actual será de un valor incalculable porque se ocupará exclusivamente de distribuir a los pasajeros en la zona comercial del centro u otros sectores a los que no puede tener acceso el sistema masi-

vo, además la flexibilidad del transporte tradicional (combustión interna) con tramos relativamente cortos y sentidos unidireccionales o radiales dará la efectiva funcionalidad de los dos sistemas integrados.

1.5.2 Coordinación del transporte masivo con otros medios de transporte urbano.-

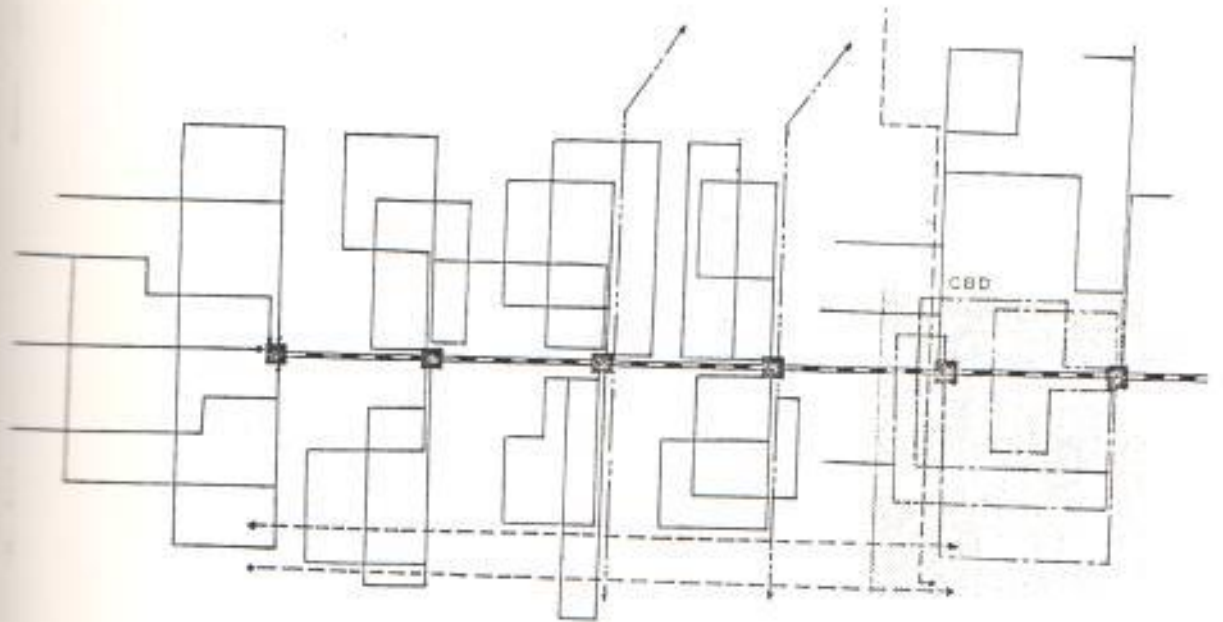
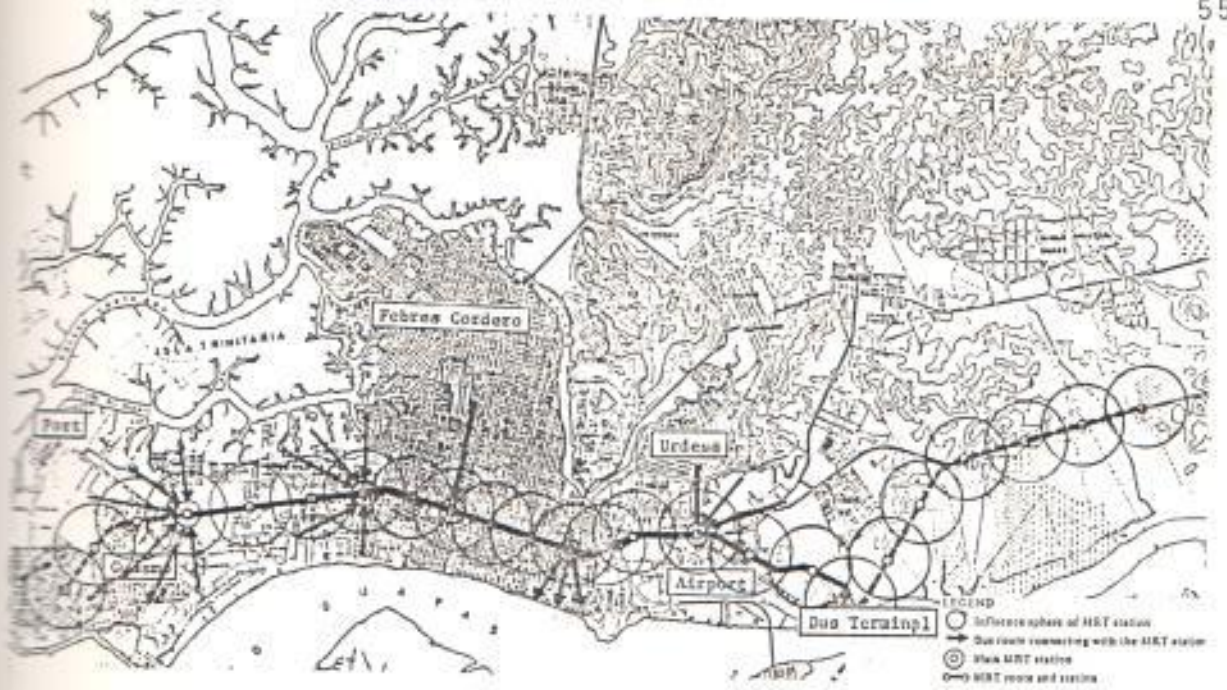
La coordinación del sistema actual con el propuesto (transporte masivo) tiene única y exclusiva finalidad de dar la comodidad a los usuarios, tal debe ser la dependencia que un sistema aislado no debe funcionar porque se debería elaborar las estaciones convergentes para ambos sistemas donde el transporte tradicional debe cumplir dos funciones: primero alimentar al sistema masivo; luego distribuir a los pasajeros adecuadamente. Ningún sistema funcionará a cabalidad ni alcanzará los objetivos trazados por muy ideal que éste sea, si los usuarios no colaboran con los planes trazados ni respetan sus obligaciones, por eso el usuario constituye el motivo para el nacimiento del sistema propuesto, a la vez el corazón mismo del

sistema, con este motivo deberían los organismos pertinentes encargados de su ejecución promover una educación paulatina de los deberes del ciudadano para que este colabore adecuadamente con el sistema.

La coordinación del transporte masivo con el transporte tradicional se puede entender y visualizar mejor si esquematizamos la idea, sobre todo el itinerario para el transporte masivo. Figura 1.6.

La coordinación tendrá mejor resultado si se efectúa un mejoramiento de transporte de Bus previa a la incorporación del sistema masivo cuya finalidad será ganar la confianza del usuario sobre todo de los que poseen vehiculos propios frente al sistema de transporte público, además para levantar la eficiencia de transporte en la área urbana en conjunto. Según propone J.I.C.A, deben ponerse en acción medidas como:

- Plan de mejoramiento básico de transporte de bus.
- Coordinación del itinerario de bus con el transporte masivo.



- Ramales de itinerarios de bus en Suburbio
- Ramales de itinerario en CBD
- Itinerario de bus entre areas aparte de MRT (Estacion)
- .-.- Itinerario de bus en la direcci3n de la forma circular

FIGURA No. 1.6 COORDINACION DEL TRANSPORTE MASIVO CON EL BUS TRADICIONAL.

- Mayor control del tráfico en el casco urbano.

El mejoramiento básico puede comenzar desde la reorganización de cooperativas de transporte público y la intensión de las empresas, aumentando la capacidad de transporte que asegure la tranquilidad de las operaciones de bus, bajo las siguientes contramedidas: Extender contramedidas para admisión de buses; mejorando y reorganizando la red de buses, finalmente mejorando los puntos de conexión.

Es posible conseguir este objetivo, si se presta la adecuada facilidad a la entidad encargada; dicha tarea corresponde a la administración pública de manera que se promueva el engrandecimiento de la capacidad de transporte de bus, mejorando la organización de las cooperativas de transporte.

En el supuesto caso que se implemente el sistema de transporte masivo, los itinerarios principales de tráfico, de transporte de buses será de real importancia, dicha

idea se puede esquematizar como se muestra a continuación. Figura Nº 5.2.

Con respecto a los terminales, en el área suburbana será necesario para transferencia de funciones y facilidades para estacionamiento y transbordo desde los buses hacia el sistema masivo; en tanto que en el área urbana son requeridos para fácil conexión de transporte masivo con buses, taxis y rápido acceso a pie hacia el casco central.

1.6 INFLUENCIA DEL ESTUDIO DEL TERRENO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL TRANSPORTE MASIVO.-

La movilidad lograda a través del uso del automóvil por parte de un amplio sector de la población, da una idea del uso de la tierra con menor densidad de población que abarca vastas zonas y que se extienden fuera de los centros urbanos; esto hizo posible la descentralización de muchas funciones, tales como las industrias que antes estaban centradas en los núcleos urbanos.

Es cierto que esta pauta dispersa de las actividades comerciales, industriales, etc., dificulta a su

vez la prestación de servicios de los sistemas de transporte masivo y más aún la posibilidad de hacer frente a los costos de dichos servicios.

El automóvil presenta una seria competencia, allí donde no es factible la operación de sistemas de transporte público, sobre todo en el núcleo urbano, no sólo para los usuarios sino también en lo que se refiere al espacio de las calles públicas ya que las calles congestionadas reducen la velocidad de los buses. Pero al mismo tiempo, en la ciudad la mayor parte de la población no pueden tener o usar automóvil particular. Esta situación conjuntamente con el espacio insuficiente para acomodar más vehículos en las zonas urbanas y densas de la ciudad conduce a sustentar cada vez con más fuerza el criterio de que es necesario mantener un nivel adecuado de transporte masivo (público) como buena alternativa al transporte privado.

Los métodos de utilización del terreno están íntimamente relacionados con la creación de subcentros o ciudades satélites como está ocurriendo en la actualidad en nuestro medio, donde tales subcentros tienen mercados, centros de recreación y otras comodidades, entonces los residentes del sector se

acrecenta y contribuye a la masificación de personas que viajan dirección y da origen a la utilización de medios de transporte masivo.

Esta idea se puede sustentar con una declaración que hiciera la Asociación de Plan Regional en cuyas partes más sobresalientes menciona "la ubicación racional de las oportunidades de trabajo puede multiplicar el número de personas que elijan la utilización de omnibús y trenes"⁽¹⁾

Cualquier sistema de transporte influye de una u otra manera sobre el medio físico en que funciona por ejemplo: el ruido y la contaminación atmosférica, constituyen dos problemas de creciente importancia; el ruido proviene de los carros de escape, de los motores (sobre todo de combustión interna) y los neumáticos sobre el pavimento, en tanto que la contaminación del aire se atribuye a los gases de escape de los automotores que actualmente alcanzan niveles muy altos, lo cierto es que hay pocas posibilidades de eliminarse por completo la emisión del humo, a raíz de que se acrecienta el

[1] Hall Hellman "El transporte en el mundo del futuro" pág. 31.

número de vehículos de combustión interna, esto es otro motivo por el que existe interés en la incorporación de vehículos de tracción eléctrica en los centros urbanos.

Es justo reconocer que el planeamiento apropiado del uso de la tierra y los controles adecuados sobre el uso de la misma, podrían haber canalizado el desarrollo según lineamientos más convenientes. Esto nos enseña que los proyectos para los sistemas de transporte deben elaborarse paralelamente con los planeamientos para el uso de la tierra sobre una base regional. Tal es el caso para un estudio de transporte (de cualquier tipo), el sitio, es un arranque atinado; esto no debe confundirse con la elección del lugar, es decir tiene mucha importancia el análisis de las características del terreno sobre todo la topografía del sitio, para que de acuerdo al servicio urbano de la región; la razón es que la tecnología automotriz así como las demás ramas tiene limitaciones técnicas. Por lo tanto, el transporte y el terreno usados con esta finalidad deben ser estudiados, planificados tomando en cuenta la alta demanda de transporte terrestre urbano en un próximo cercano.

1.7 RECOMENDACIONES GENERALES APRIORI AL TRANSPORTE MASIVO.-

La primera acción del organismo encargado de la planificación del transporte debe consistir en proveer un plan de mejoramiento del sistema de transporte público actual, haciendo uso de los medios del sistema existente para la solución de los problemas de tráfico en el futuro, excluyendo mayores cambios de la estructura urbana y exigiendo al organismo de planificación urbana de edificaciones, tomar las más drásticas medidas de previsión con fines posteriores.

Los programas de mejoramiento inmediato basados en programar a largo plazo, según el estudio de personajes entendidos en la rama, consiste en:

- Acelerar la construcción de los distribuidores de tráfico comprendidos en la interconexión de la urbe con la zona norte.
- Construcción de separadores en el casco urbano, avenidas: Quito, Machala y 25 de Julio.
- Construcción de áreas de estacionamiento esen-

cialmente en las nuevas edificaciones y playas de estacionamiento fuera de las vías, además prohibir el estacionamiento de los carros al costado de la calle sobre todo en la área comercial.

- Incrementar semáforos automáticos y en otros lugares semiautomáticos, instalar semáforos para peatones en la zona comercial (urbe); introducción del sistema de área controlado.
- Provisión de un sistema eficiente y seguro para tráfico peatonal.
- Cambio de sistemas de doble vía a una sola vía
- Pavimentar las vías rellenas o en mal estado, sobre todo solucionar el problema de las tapas de cloaca, además de los puntos referenciales de EMAP, IETEL e INECEL.
- Planificar mejor la operación y dirección del sistema actual de transporte automotor para su coordinación con miras hacia el futuro, según el medio de transporte masivo elegido.
- Ahora que se han implementado las paradas a lo largo de algunas vías (rutas) exigir a los trans

portistas acaten su obligación de parar únicamente en los lugares señalados.

- Aumentar la capacidad de transporte de las nuevas unidades que entren a laborar en cualquier línea y retirar los buses obsoletos, porque entorpecen el libre y ágil desplazamiento de otras unidades etc.

Estas recomendaciones están dirigidas esencialmente a los organismos encargados como los vigilantes de la Comisión de Tránsito del Guayas, Municipio y Empresa de Transporte Público.

CAPITULO II

SISTEMAS DE TRANSPORTE ELECTRICO MASIVO

Hoy en día una persona que se disponga viajar, tendrá que vérselas con el tránsito automotor, un sistema de omnibús, un sistema ferroviario, vehículo propio, o quizás un barco. Si emplea una sola alternativa raramente tendrá idea de lo que pasa con otros sistemas, en lo que respecta a horarios, precios, etc. En nuestra ciudad tenemos un solo sistema de transporte, existen líneas que combinan y otros que se encuentran casi en puntos opuestos de la ciudad. El proceso de transbordo de un sistema a otro debería ser una realidad al alcance de todas las personas, sin exigir mayor esfuerzo.

Hay quienes afirman que la ciudad está condenada "con razón" porque los adelantos en comunicaciones y la perfección tecnológica de transporte no han contribuido en brindar comodidad al usuario, porque la congestión creciente dificulta cada vez más el desplazamiento de las personas de un lugar a otro, obstaculizando el desarrollo del comercio, la industria, etc. Hoy en día se vé claramente que la zona comercial (centro de la urbe) es

tá con tendencia a perder población porque la gente prefiere asentarse en las afueras de la ciudad; por consiguiente los suburbios y las nuevas ciudadelas están en plena explosión demográfica, sin embargo el sistema tradicional (bus) no ha mejorado y sigue siendo insuficiente, ¿qué sucederá de aquí a 5 o 10 años?. Estas razones y las expuestas en el capítulo anterior, respaldan la idea de incorporar un sistema masivo de transporte de pasajeros accionado por tracción eléctrica, perfeccionando con la tecnología al momento en esta rama y permita cubrir la demanda actual con proyecciones hacia el futuro, constituyéndose en la base para la planificación y organización del transporte masivo a largo plazo.

Los sistemas de transporte masivo accionados por energía eléctrica son varios, en el siguiente tópico enumeraremos; sin embargo el presente trabajo tiene la intención de mencionar muy ligeramente todas, excepto el ferrocarril tipo llanda de goma TROLEBUS puesto que este sistema es el más apropiado por diversas razones que se explicarán oportunamente durante el desarrollo de esta tesis.

2.1 CLASIFICACION DE LOS TRANSPORTES MASIVOS.-

Debido al intenso desarrollo económico y aumento de población, Guayaquil está afrontando ya serios

problemas en transporte urbano, ya que el sistema actual es incapaz de cubrir la demanda; por lo tanto, es necesario recurrir a un sistema masivo de transporte de pasajeros. Esta selección no podía ser mejor que un sistema masivo accionado por energía eléctrica, puesto que el Ecuador posee un potencial energético envidiable.

Lo anterior combinado con el avance de la ciencia y la innovación tecnológica en los transportes eléctricos; presenta varias alternativas, a decir: ferrocarril subterráneo (METRO), desafortunadamente este sistema es impracticable en nuestro medio, por su elevado costo de implementación y las dificultades de nuestro medio topográfico; ferrocarril urbano, actualmente en estudio a cargo de una compañía Japonesa en coordinación con la Comisión de Tránsito del Guayas; tranvía, impracticable para una ciudad que tiene una población que sobrepasa del millón de habitantes, ya que este sistema tiene limitaciones en la capacidad de transporte; ferrocarril tipo llanta de goma (trolebús), lo cual según nuestro criterio es el más apropiado tal como se justificará oportunamente en el desarrollo del presente trabajo; monorriel, sistema que ya se ha descartado en nuestro medio debido a su elevado costo y las

condiciones que exige para su implementación.

Cada uno de estos sistemas enfocaremos a continuación con detalle.

2.1.1 Ferrocarril subterráneo "Metro".-

Los ferrocarriles eléctricos y subterráneos se abastecen de energía a través de un carril de contacto a 600 voltios c.c., voltaje estándar. Para este tipo de vehículos, el motor normalmente es el tipo de colector en serie. El carril de contacto ha dado excelentes resultados desde hace muchos años, esto detallaremos más en el Capítulo IV. El carril de contacto se halla en su fase evolutiva a consecuencia de los consumos crecientes de potencia de los vehículos automotores modernos. La velocidad de marcha en este sistema de transporte alcanza hasta 500 km/h, sobre todo en los sistemas que recorren considerables distancias, esto da lugar a severas reflexiones en lo que respecta a una adecuada toma de corriente.

Existen metros que utilizan ruedas de caucho,

ocho grandes cubiertas en cada vagón corren sobre las vías de hormigón premoldeado, proporcionando un andar suave y silencioso; además el sistema también es más limpio porque las cubiertas no ocasionan el polvo que producen las ruedas de acero sobre las rieles del mismo material.

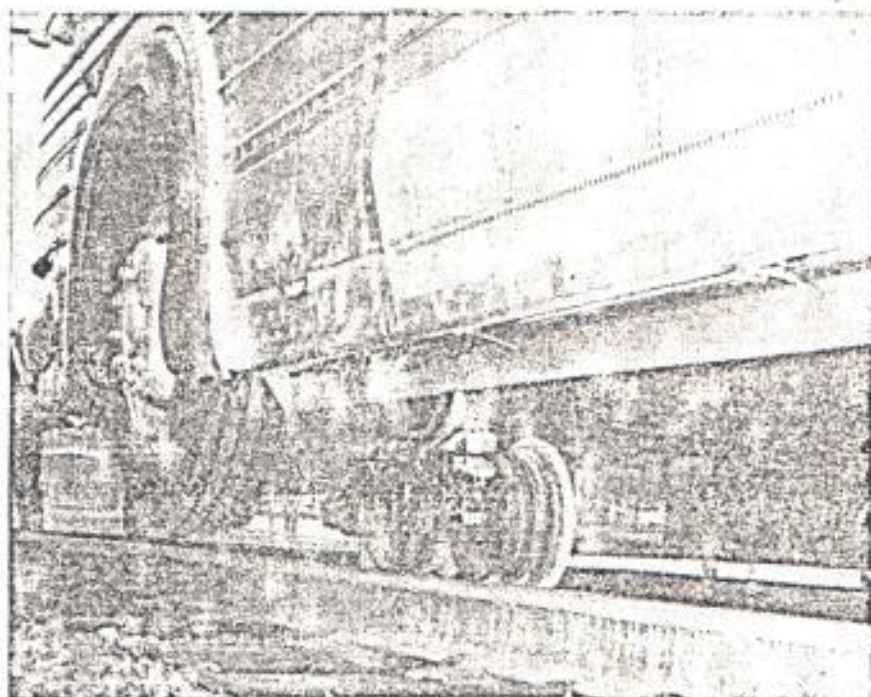


FIGURA " 2.1 CUBIERTAS DE CAUCHO QUE UTILIZAN ALGUNOS METROS.

La velocidad alcanzada por estas unidades están limitados por las condiciones de la vía, por lo tanto quienes diseñan las vías son ingenieros experimentados en la rama.

El motor es uno de los aspectos más significativos de los modernos trenes, por ejemplo el Metro de Montreal, tiene motores livianos pero poderosos, inclusive éstas habían sido diseñadas originalmente para aviones⁽¹⁾; cada vagón de los servicios rápidos posee de 2 a 4 de estos motores dependiendo del horario regular de trenes. Además están equipados para proveerse energía eléctrica de un tercer riel de tal forma que pueda funcionar en túneles.

El metro se impone en grandes ciudades de los países de elevada capacidad económica o en ciudades que están en plena expansión demográfica.

Un número considerable de sistemas de tránsito rápido sobre rieles se están planeando o ya se han construido en varias ciudades del mundo, tales como los sistemas de México, ya construidos son hermosos, poseen decora-

(1) Revista AEG-TELEFUNKEN N° 4, año 1970, pág. 144.

ión y elegancia arquitectónica. Hay otros como el sistema de Nueva York, son verdaderas cámaras de terror. Pero todos comparten la misma característica; son eficientes durante las horas pico con capacidad de trasladar hasta 60.000 personas por hora, por línea.

2.1.2 Ferrocarril urbano.-

Los últimos años del Siglo XIX y los primeros del Siglo XX, vio convertirse a los ferrocarriles en gigantes, arrogantes, tan poderosos y seguros en su posición monopolista en el campo del transporte, ignorando la amenaza de los medios más recientes, el automóvil y el transporte automotor.

Resulta que las vías de comunicación en el transporte ferroviario una vez la fuerza básica de su poderío, son ahora su perdición. Porque la verdad es que en muchas áreas, las vías ya no corren hacia los lugares necesarios, o no están donde se desarrolla la acción. Por eso en otras épocas las ciudades y los pueblos tuvieron que centrarse alrede

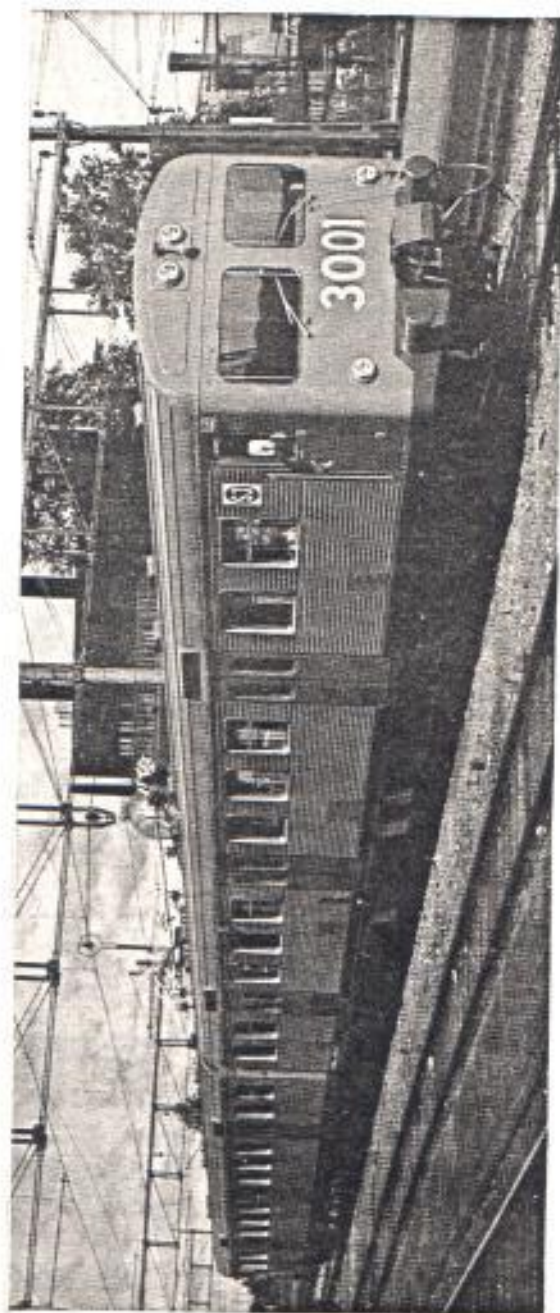


FIGURA 2.2.A. FERROCARRIL URBANO (VISTA LATERAL)



FIGURA 2.2.B. VISTA FRONTAL

dor de las estaciones ferroviarios; esto ya no ocurre hoy en día. En tanto que la implementación del ferrocarril urbano exige condiciones fundamentales como:

1. Volumen de tráfico considerable
2. Estabilidad en el tráfico

La instalación de una vía férrea exige inversiones de una cierta magnitud que quedan concentradas en un cierto lugar, esto hace que el ferrocarril no tenga la flexibilidad especial que presenta el transporte automotor o el trolebús, toda vez que estos dos últimos permiten afrontar sin mucho esfuerzo las fluctuaciones en el nivel de tráfico. Por esta razón, para un nivel de tráfico fluctuante, el ferrocarril en ciertos momentos resulta sobredimensionada, lo cual no justifica la inversión que podría favorecer a otros sectores.

El cálculo para determinar la conveniencia del trazado de una línea, en su esquema más simple se reduce al cálculo del futuro costo por unidad de tráfico con el fin de com-

parar con el correspondiente a otros medios de transporte, a fin de realizar la elección entre los medios de transporte alternativos.

La selección del trazado de una línea férrea y otros sistemas de alimentación dependiente de una red aérea o subterránea exigen dos localizaciones extremas para paradas, además, de localizaciones intermedias para construir estaciones, sobre todo si estas proveen un tráfico complementario tal como ocurre con el transporte urbano.

El ferrocarril, más que cualquier otro medio de transporte terrestre urbano necesita una superficie de circulación lisa, llana e indeformable y obviamente una vía preferencial obligatorio para su marcha, lo cual limita el desplazamiento libre de otras unidades motorizadas. La implementación de este sistema resultaría poco práctico, en Guayaquil porque esta ciudad no tiene las condiciones en cuanto a infraestructura se refiere para adaptar este sistema de transporte masivo, y porque dividiría la ciudad en dos partes con las rieles.

Una línea férre siempre necesita otros elementos como cruces, cambios de vfa, instalaciones adicionales de señalización y control, que permitan organizar el movimiento, itinerario y una efectiva comunicación entre estaciones. A propósito de estaciones, ésta es una parte importante de la infraestructura ferroviaria, localizadas en puntos convenientes, según estudios realizados por la Comisión Japonesa, éstas estaciones podrían ubicarse cada kilómetro; ¿cómo se conseguirá terreno para este propósito, conociendo la infraestructura de la ciudad de Guayaquil? Es obvio que este será un obstáculo serio que impida la implementación de este sistema.

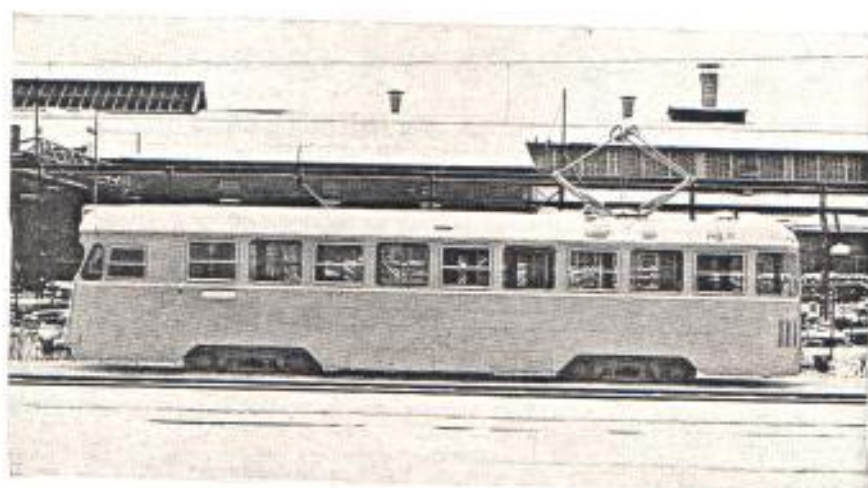
Los ferrocarriles de pasajeros, son vehículos metálicos con estructura autoportante, cuya capacidad de transporte es elevada, su implementación es aconsejable en ciudades planificadas con este propósito y de gran población demográfica, donde la inversión justifique plenamente al servicio de la mayoría de usuarios.

2.1.3 Tránsito sobre carril ligero.-

Ya en la época de 1.890 en EE.UU., hubo una demanda de transporte a consecuencia del aumento de salarios para los trabajadores capacitados, mientras que para los de salario bajo deberían construirse medios de transporte que resultaren económicos; fue entonces cuando brotaron las nuevas y relucientes líneas de rieles para tranvías, así los tranvías resultaron más convenientes para los viajes locales que los ferrocarriles, puesto que recorrían las calles de la ciudad y podían parar en cada esquina si era necesario.

La electrificación del sistema de tranvías hizo más limpio y excitante el viaje en la ciudad; por ejemplo: los primeros años del siglo XX, la ciudad de Nueva York, ya tenía más de 1100 km. de línea para tranvía entre los límites de la ciudad.

Sin embargo, los tranvías no tienen la ventaja de la velocidad que gozan los ferrocarriles a pesar de contar con el exclusivo derecho de vía, tampoco la flexibilidad con que cuenta el omnibús en la actualidad, prin



A) VISTA LATERAL



B) VISTA FRONTAL

FIGURA No. 2.3 TRANVIA

principalmente por este último fue desplazado en nuestro medio y en otras partes del mundo. La desaparición de este sistema de transporte no provocó mayores inconvenientes en la infraestructura de la ciudad, porque las riles que se habían colocado fueron fácilmente removidos o bien cubiertos por el pavimento.

Un tranvía es muy similar a un tren eléctrico sin vagones, unas décadas atrás había este tipo de transporte en nuestra ciudad, pero por las razones antes mencionadas y los costos de explotación desfavorables comparados con el autobús, fueron retirados del servicio.

Años más tarde, el avance tecnológico contribuyó en el desarrollo de los neumáticos, lo cuál permite hoy en día soportar decenas de toneladas de peso; entonces dió un importante paso al diseño de un vehículo eléctrico para servicio urbano y con mayores ventajas que el tranvía y se desplaza sobre llantas de goma; este vehículo se denomina TROLEBUS, la misma que detallaremos extensamente en el siguiente tópicó.

El tranvía es interesante y se aconseja ins
talar cuando la demanda de pasajeros es de
2.000 a 3.000 por hora, y un tramo corto pa
ra el servicio de pasajeros, ésta tiene una
ventaja frente al trolebús al ser alimenta-
do por una sola línea aérea, puesto que el
retorno de la corriente se realiza a través
de la vía férrea. Pero las desventajas son
mayores; el contacto de la rueda con la vía
emite ruidos desagradables; menor capacidad
de transporte, elevados costo de inversión
en las rieles y constituye un obstáculo pa-
ra el desplazamiento de otras unidades moto
rizadas en el área urbano.

2.1.4 Ferrocarril tipo llanta de goma "Trolebus".-

Aquí centraremos nuestro mayor esfuerzo po-
sible, porque nuestro objetivo casualmente
consiste en proponer este sistema como el
medio de transporte de pasajeros más adecua
para la ciudad de Guayaquil.

HISTORIA :

El trolebús (prototipo) rodó por primera

vez el 28 de abril de 1882 en Halensee (Berlín); sin embargo a principios de este siglo fueron inauguradas las primeras líneas de troléús para servicios públicos. La primera instalación para servicio popular fue en la ciudad de Salt Lake, EE.UU., el año 1928. Paralelamente se desarrollaron en países extranjeros, particularmente en Inglaterra. En años sucesivos, el troléús ha sido adoptado en muchas ciudades, llegando a ser extremadamente popular entre el público usuario de los vehículos de transporte. En algunos casos, el troléús ha sido adoptado excluyendo inclusive, otros medios de transporte urbano. Los principios de 1940, constituyen el período que vió construir las más grandes redes de electrificación para estas unidades, alcanzando su máximo esplendor y desarrollo durante los años 1950. Puesto que en ese momento más de 10.000 vehículos entraron en servicio en más de 500 ciudades pertenecientes a 43 países. Sin embargo, los años 1950 marcan un giro en la historia del transporte público urbano con la aparición del fenómeno automovilístico privado en toda su amplitud, con

las consecuencias negativas para el trolebús y otras unidades de transporte público; este fenómeno ocasionó la disminución de porcentaje de desplazamiento de los transportes públicos; falta de interés por parte de la colectividad y los poderes públicos, en incentivar el transporte urbano. A pesar de todo, Suiza es el único país que combate esta decadencia y saca adelante la explotación del trolebús.

En 1953, había en Gran Bretaña 3.800 trolebuses, sin embargo desaparecieron todos éstos, hasta 1971. La proliferación del automóvil y las nuevas exigencias de los consumidores en lo que concierne a la calidad de vida, el fuerte incremento del precio del petróleo, así como la diversificación de los problemas ligados a las fuentes de energía, son las causas principales que hacen que en 1970 se insista en un movimiento lento hacia la rehabilitación de transportes urbanos (públicos). Los nuevos sistemas de transporte no dieron casi que hablar por durante 10 años, ya que los que habían no dieron resultados satisfactorios hasta entonces. El

esfuerzo de rehabilitación de transportes urbanos consistía esencialmente en un mejoramiento de los sistemas existentes sobre todo los trolebuses.

PRESENTE :

En la actualidad en los países del Este, el número total de trolebuses producidos están en constante aumento, por ejemplo Checoslovaquia durante los diez primeros años del inicio de fabricación, ha producido 450 trolebuses promedio por año. Suiza, compete actualmente, y es el primer país occidental que decide renovar e incrementar el sistema de transporte en base a trolebús existente. Después de 1972, la flota de trolebuses, ya representaba más del 35% del parqueadero existente de la UST (Unión de Empresa de Transporte Público de Suiza). Esos vehículos en el modelo articulado y el de 2 pisos son el fruto de una laboriosa y fructífera colaboración entre los constructores mecánicos, eléctricos suizos y empresas de transporte público. Esta colaboración ha permitido definir un vehículo que ha hecho el me

por compromiso posible entre las exigencias de diferentes explotaciones.

En América del Sur existen países que cuentan con este sistema de transporte, que están afrontando la demanda de transporte exitosamente por ejemplo, Colombia no solamente mantiene el sistema existente, sino que está innovando e incrementando su sistema para atender la demanda de transporte en la capital del país. El hecho de que Colombia tiene características similares al Ecuador, en cuanto a su desarrollo e infraestructura, nos dá mayor fuerza para sustentar nuestra aspiración de implementar este sistema en nuestro medio.

CARACTERISTICAS GENERALES Y ASPECTOS ECONOMICOS DEL TROLEBUS:

Una estandarización importante se ha encontrado, especialmente a nivel del equipo eléctrico de tracción; tal es el caso del chasis y otros dispositivos móviles, alcanzando precios de fábrica más factibles al permitir su fabricación en serie. Esta estandarización

permite a las empresas de transporte cambiar entre ellas los componentes principales, ya sea eléctricos o mecánicos. Además, se ha hecho un mejoramiento del sistema existente con la introducción de algunas innovaciones tecnológicas.

El costo de operación del trolebús es cada vez más económico y posee la ventaja especial que es la flexibilidad en el movimiento sobre la calzada, de esta manera se constituye en un medio de obtener las ventajas de ser independiente, respecto al carril (lo que no tiene ningún sistema con alimentación externa). Otro factor de notable ventaja, es la fuente de energía, nuestro país gracias a sus dotes naturales, permite explotar la energía eléctrica a un costo barato y en gran cantidad.

El hecho de prescindir de vías exclusivas, la inversión para su implementación y el tiempo es un ahorro grandioso, quizás la mejor ventaja de este sistema frente al proyecto propuesto por la compañía japonesa⁽²⁾

[2] *Japan International Cooperation Agency propone la construcción de un sistema de transportación en masa, utilizando Ferrocarril sobre carril ligero.*

El costo de conservación de las vías es prácticamente ajena a la entidad que se encargue de explotar, lo cual no ocurre con ningún sistema alternativo de transporte eléctrico de pasajeros.

Puesto que la potencia suministrada por la central o línea primaria de alimentación es ilimitada, la aceleración no tiene otro límite que el impuesto por la adherencia y la capacidad del motor.

FORMA DE LOS TROLEBUSES :

El trolebús tiene formas semejantes a la de los autobuses viajeros, o la de los transportes tradicionales de servicio urbano (ver figuras) los detalles técnicos, dimensiones, capacidad, etc., se detalla en el Capítulo III.

En su estructura, el cuerpo del trolebús es semejante al tranvía, sin embargo su limitación en la carga, impuesta por el pavimento y por la resistencia de los neumáticos; obligan a una reducción en el peso, para lo cual

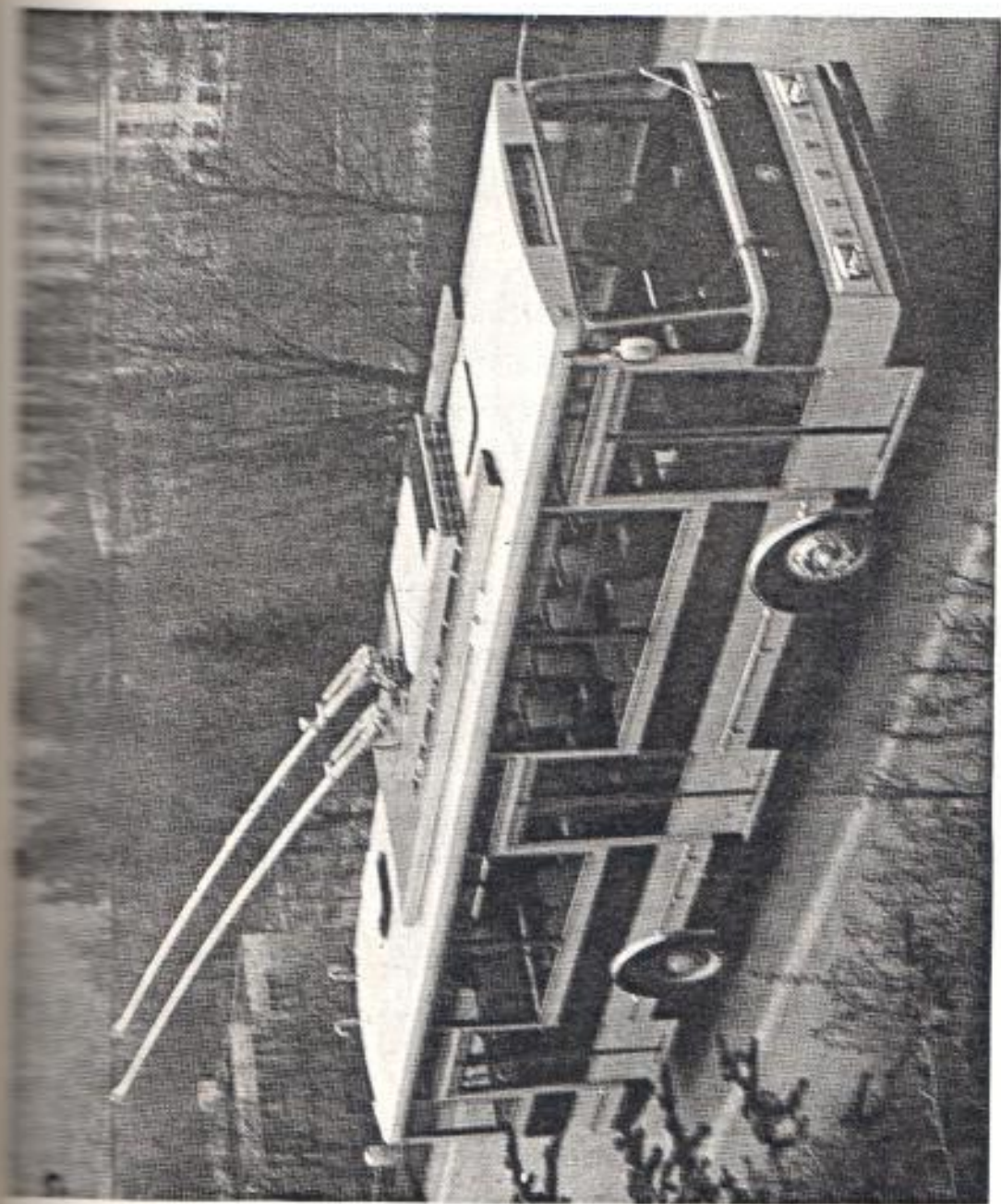


FIGURA 2.4. TROLEBUS MODELO SENCILLO

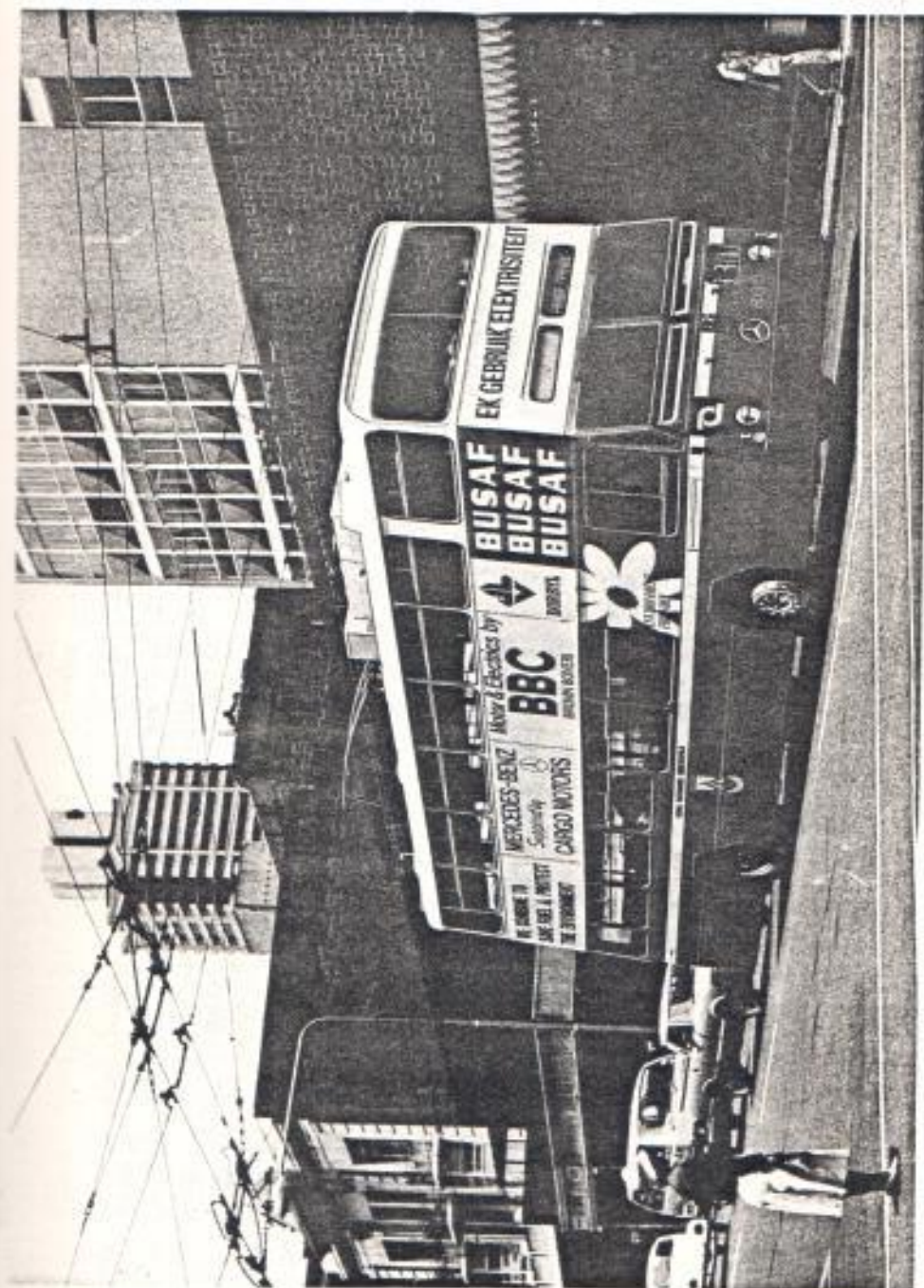


FIGURA 2.5. TROLEBUS MODELO DOS PISOS

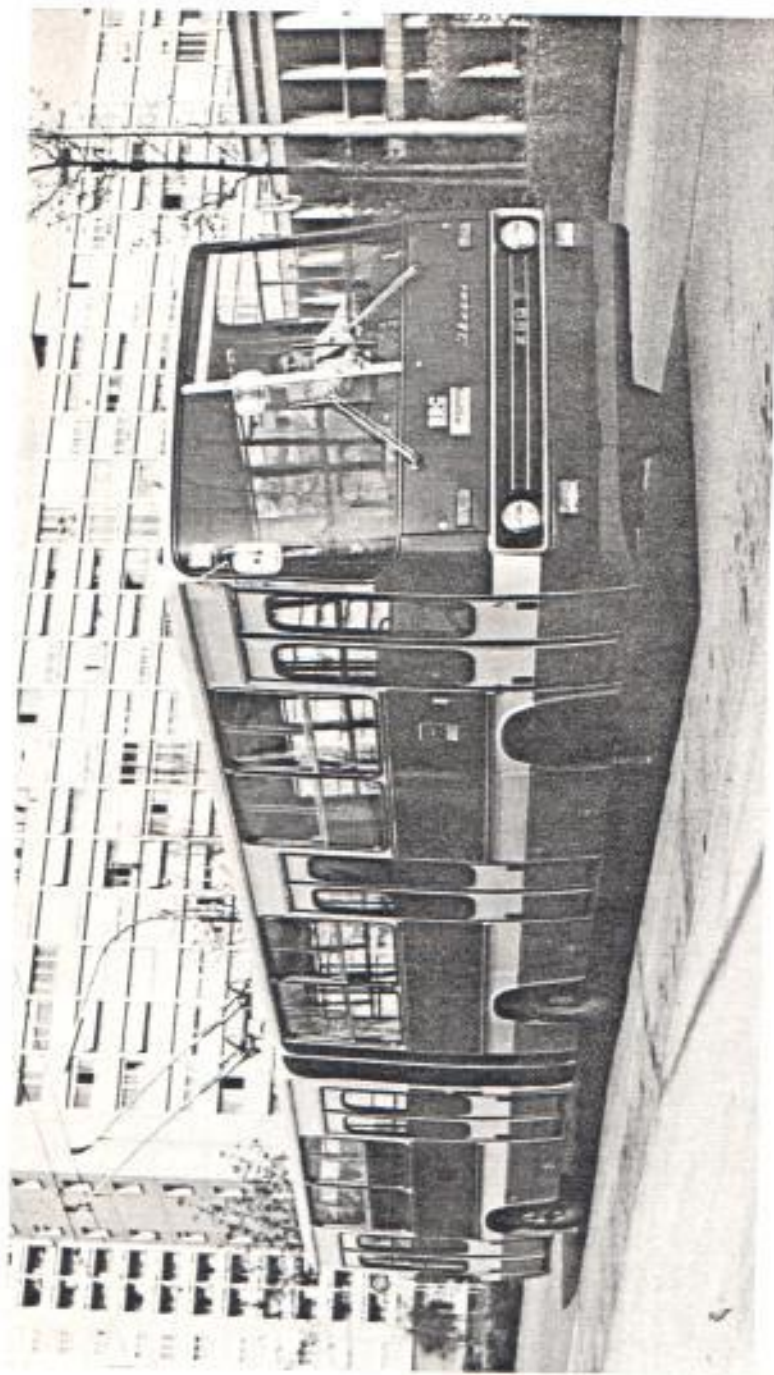


FIGURA 2.6. TROLEBUS MODELO ARTICULADO CON FUELLE

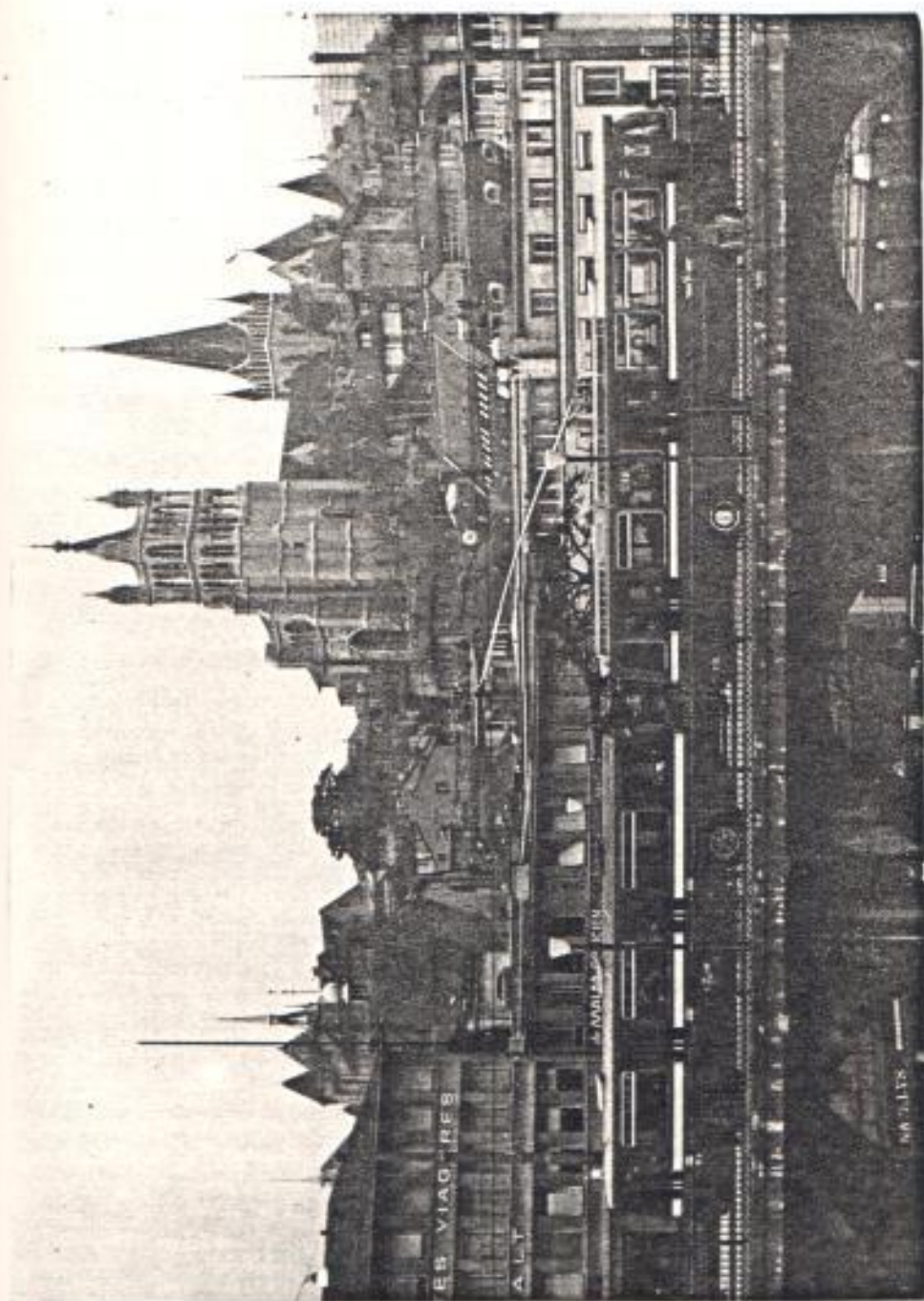


FIGURA 2.7. TROLEBUS MODELO ARTICULADO TIPO TREN

se han construido los bastidores y la carrocería en Aluminio. Otras unidades evitan el empleo de los bastidores, montándose los ejes directamente debajo del cuerpo de la carrocería, reduciendo así, más aún el peso del vehículo.

EQUIPO ELECTRICO :

Aún cuando el próximo capítulo, se encarga de detallar tanto el equipo eléctrico y mecánico del trolebús, aquí mencionaremos los más importantes.

Los trolebuses casi en su totalidad funcionan a los voltajes normalizados entre 600 y 750 voltios d.c., por esta razón es posible la casi completa intercambilidad del equipo eléctrico entre los diferentes vehículos (trolebuses).

Los recientes trolebuses tienen la transmisión por un solo motor, cuyo caballaje depende de las condiciones de servicio (volumen de pasajeros). El frenado de los trolebuses es combinado, puesto que tienen frenado eléc

trico se han realizado innovaciones tecnológicas, tales como sustituir el frenado regenerativo, frenado dinámico por dispositivos que utilizan los tiristores rápidos en conmutación forzada que alimenta el motor de tracción al calentar con corriente continua; estas medidas tomadas sobre el tipo de frenado en los trolebuses ha permitido economizar de 15 a 20% de energía, dependiendo de las condiciones de tráfico urbano⁽³⁾. Esta energía recuperada puede ser empleada para acelerar el vehículo en el momento de la nueva partida, lo que era habitualmente disipada en el reóstato con el equipo tradicional.

El reemplazo de los equipos electromecánicos desplazado por los semiconductores (tiristores), ha permitido rebajar los costos de mantenimiento del equipo eléctrico.

La toma de corriente al igual que para el tranvía o ferrocarril urbano es por una red

(3) *Bulletin SEV/VSE*, Bd. (1967) Nr. 14, S. 731 - 734

aérea, con la excepción de que en este caso se necesita dos hilos de contacto, una para la alimentación y otra para el retorno de la corriente a tierra. El trole para estas unidades es flexible que permite al vehículo desplazarse cierta distancia a uno y otro lado de los hilos de contacto.

Más detalles sobre las líneas de contacto, características del circuito de distribución, etc., se estudia en el Capítulo IV y V. Si este sistema se implementara en nuestro medio, el autobús sería uno de sus rivales más rigurosos en la toma de decisiones y perspectivas para el futuro, razón por la que presentaremos a continuación un estudio realizado por un grupo especializado en transporte eléctrico. (4)

COMPARACION ECONOMICA TROLEBUS VS/AUTOBUS:

Existe un acuerdo general en reconocer que

(4) *Bulletin SEV/VSE, Bd. (1967) Nr. 14, S. 731-734.*

el límite económico separa los campos de aplicación del autobús y del trolebús; tomando ventaja este último en función de la mayor densidad de tráfico.

Después de un estudio realizado en Zurich, el trolebús articulado es más económico que un autobús articulado a partir de un trayecto anual mayor a 20.000 km. para los vehículos articulados de 2 ejes (tipo tren) la superioridad del trolebús comienza alrededor de 45.000 km.

Los costos de explotación del trolebús y autobús dependen de un gran número de factores; el valor relativo de esos factores es diferente siguiendo las redes, inclusive para una misma red puede cambiar con el tiempo. Por esta razón es muy difícil establecer reglas válidas y precisas que puedan aplicar las empresas de transporte urbano. El examen de un caso particular puede proveer información y constituir una buena base para el estudio de casos similares, inclusive llegar a generalizar los resultados, sin necesidad de hacer intervenir todos los

factores de corrección. La tabla que se presenta a continuación es el resultado de un estudio comparativo económico entre el trolébus y el autobús.

TABLA No. II
COSTOS RELATIVOS POR KILOMETRO (EN CUALQUIER MONEDA)

	TROLEBUS	AUTOBUS
1. <u>Gastos de personal</u>		
Administración	0,174	0,181
Explotación (conductores)	2,029	2,150
Mantenimiento de instalaciones	0,114	0,024
Mantenimiento de vehículos	0,708	0,794
2. Gastos de		
Gastos generales	0,263	0,181
Mantenimiento de instalaciones	0,205	0,062
Mantenimiento de vehículos	0,185	0,385
Energía y carburante	0,214	0,222
Otros consumos de los vehículos	0,047	0,063
3. <u>Amortización y cargas diversas</u>		
Amortización y cargas diversas	0,274	0,059
Amortización de los vehículos	0,268	0,217
Amortización de otros valores	0,027	0,021
Costos de capitales y	0,079	0,112
varios	0,130	0,138
A. Cargas totales	4,717	4,696
B. Productos totales	3,853	2,959
C. Excedentes de las cargas	0,864	1,737

Los resultados de la Tabla II corresponden a la gestión 1974 en ejercicio para la Compañía Genevoise de Transways Electrique (CGTE). Así mismo presentaremos los costos y productos de cada uno de estos tipos de vehículos en la Tabla N° III.

TABLA No. III

COSTOS DE CONSUMOS DE ENERGIA PARA TROLEBUS Y AUTOBUS

AÑO	TROLEBUS	AUTOBUS	TROLE/AUTOBUS
1.960	2,541	1,885	1,35
1.964	2,766	2,190	1,26
1.967	3,196	2,793	1,14
1.973	4,422	4,429	1,0
1.974	4,717	4,719	0,98

Basados sobre los costos por km. y sobre los precios de la energía eléctrica y del carburante, se ha obtenido que para el trolébus el consumo promedio por vehículo es 2.68 kwh/km. y para el autobús un consumo promedio de 0.55 lt/km de combustibles.

De la misma Tabla N° III, se vé que el costo total por km. para 1.974 estaba prácti-

camente la misma, tanto para el trolebús como para el autobús. La evolución del costo en Km. para los dos tipos es interesante, puesto que a medida que pasa el tiempo el costo de explotación entre ambos tiene una mínima diferencia, dando ventaja al trolebús sobre todo tomando cuenta los costos de operación y mantenimiento, y de manera general los siguientes criterios:

- Comportamiento en el medio ambiente, ruido, vibraciones y concentración de la contaminación, todos estos factores netamente favorables al trolebús frente al autobús.

- Abastecimiento energético: El trolebús presenta una gran ventaja por su independencia frente a la energía (materia prima) de alimentación, puesto que la generación eléctrica sobre todo en nuestro medio puede ser indiferentemente o simultáneamente generado por el petróleo, gas natural y principalmente por agua (energía hidráulica) y en otros países según las condiciones geográficas. En tanto que para el autobús, energía proviene única y exclusiva

mente del petróleo un recurso no renovable, como lo son fuentes de energía eléctrica (hidráulica).

- Economía de productos petroleros: siendo el petróleo un recurso no renovable tiene reservas limitadas, por consiguiente debería restringirse su utilización en las aplicaciones donde es posible sustituir tal como ocurre en el transporte urbano.

PERSPECTIVAS DEL FUTURO DE LOS TROLEBUSES:

Las perspectivas de futuro del trolebús están estrechamente ligados al futuro de los transportes masivos (colectivos) urbanos. La necesidad de efectuar una economía en espacio y energía se impone el desarrollo de los trolebuses.

El embotellamiento que se vé en nuestras ciudades son muestras claras, para alcanzar la saturación de las calles en un futuro muy próximo. Por lo tanto, solucionar este problema de desplazamiento consistiría en la mejor utilización del poco espacio disponi-

ble. A paridad de la superficie ocupada sobre la calzada, el trolebús tiene una capacidad mayor a 5 unidades privadas y 2 o más autobuses.

La importancia de la energía y en especial el petróleo y su carácter limitado de este recurso, impone que toda la energía sea utilizada lo más racionalmente posible. El número de posibilidades de economizar la energía, la limitación de transportes individuales al beneficio de los transportes en común no es despreciable.

Aunque es claro que por muchos años más todavía el transporte colectivo en las ciudades existentes se hará sin duda con los sistemas clásicos como es el autobús, sin embargo dejar de atender un problema tan latente en nuestro medio es agravar la situación para las próximas generaciones.

Los sistemas nuevos como el metro y ferrocarril urbano son apropiados para las ciudades nacientes y con planificación para este tipo de sistemas y Guayaquil no cuenta con

ninguno de los aspectos favorables para este tipo de transportación.

El trolebús se emplea en la mayor parte de líneas donde no justifica el despacho del tranvía por su reducida capacidad y donde la ciudad no ha sido planificada para instalar un tren urbano, además donde el autobús no pueda abastecer un itinerario estable de pasajeros, ya que un autobús es ventajoso para servicio en tramos donde la demanda de pasajeros es incierto o servicios ocasionales, pero de utilización limitada.

2.1.5 Monorriel.-

Cuando se habla de tecnología ferroviaria moderna, inmediatamente surge el pensamiento en monocarriles; trenes esbeltos suspendidos graciosamente por un solo riel.

En realidad el primer monorriel fue construido hace más de un siglo, tal es el caso del monocarril de Wuppertal (Alemania Occidental), que excepcionalmente ha transportado más de mil millones de pasajeros desde 1.900.



A) PROTOTIPO DEL MONOCARRIL SUSPENDIDO



B) MONOCARRIL A NIVEL DEL SUELO

En 1964 se ha construido en Tokio un sistema monoriel que une el aeropuerto con el centro de la ciudad en un tramo de 13 km. Otro y muy conocido es el de Disney World.

Las ventajas para instalar un monorriel, constituyen el hecho de que solamente se necesita una riel para el desplazamiento del vehículo.

Otra enorme ventaja de cualquier sistema monorriel constituye la poca superficie que se requiere; esto es ideal para implementar en áreas de densa edificación, pero no demasiado congestionados; puesto que las columnas de sostén pueden ser ubicados en los canteros centrales de una calle o en el borde de las aceras. En caso de tratarse de aceras angostas, el tren puede colocarse fuera de esta, sobre la calle. Además, los materiales y la tecnología moderna de construcción hará posible utilizar una menor cantidad de torres de sostén.

Los monorrieles suspendidos tiene entre otras ventajas como: evitan los pasos a desnivel que normalmente constituyen un problema para los otros sistemas anteriormente mencionadas. Existe menor posibilidad de que caigan objetos extraños en la vía, como suele ocurrir en los ferrocarriles, por lo tanto

disminuirá la interrupción de actividades en la superficie terrestre. Claro está, que las ventajas no deben confinarse necesariamente a los viajes elevados, por ejemplo en zonas altamente congestionados, éstas pueden pasar por bajo tierra y en zonas suburbanas entre ciudades, pueden viajar al nivel de la superficie; cediendo de esta forma las ventajas señaladas (ver la Figura # 2.8:b).

La desventaja de estas unidades es que tienden a ladearse, entonces requieren a menudo vías y ruedas horizontales especiales, refutando de esta manera la supuesta simplicidad del sistema.

La disposición de una sola vía podría ser posible en, o alrededor del centro de la ciudad en un circuito cerrado. Es decir, todos los trenes correrían en la misma dirección a lo largo de una vía más o menos circular.

Si Guayaquil tuviese una infraestructura planificada en forma radial, este sistema constituiría la solución más adecuada y de mucha estética; sin embargo el costo de su imple-

mentación y las condiciones actuales hacen que este sea un sueño inalcanzable para esta ciudad. El principio de funcionamiento de estos vehículos consiste en un sistema particular cuya tracción se realiza por un motor de inducción lineal.

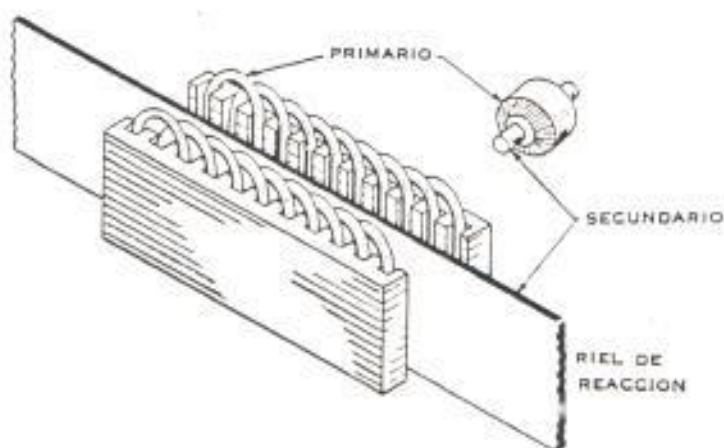


FIGURA No. 2.9.- MOTOR DE INDUCCION LINEAL (LIM)

Recordemos que el motor eléctrico tiene generalmente una parte central, el inducido, que gira dentro de una caja externa, el estator. En el motor denominado lineal, la mitad de un motor eléctrico, en efecto, está abierta y colocada de plano a lo largo de la guía, mientras que la otra mitad se

encuentra en el vehículo. Cuando pasa electricidad a través del bobinado del sistema, el vehículo es arrastrado por la vía en una forma muy similar a la de un inducido normal alrededor de su eje por fuerzas electromagnéticas. Además del hecho de que el empuje es producido sin ningún contacto físico, los motores lineales brindan otras ventajas. Ellas incluyen falta de partes móviles, menos peso en el vehículo (lo que economiza a la vez peso y espacio), nada de ruido ni vibración, nada de contaminación en la ruta (suponiendo que el anergia eléctrica no se genera a bordo del vehículo, sino que, es tomada a lo largo del camino), y un rendimiento excelente. Y por último, puesto que no hay fuerzas centrífugas provocadas por elementos de rotación, la velocidad del motor es virtualmente ilimitada.

El motor lineal del cuál estamos comentando (Figura N^o 2.9) suele denominarse motor de inducción lineal o LIM, la razón está relacionada con la forma en que funciona un motor eléctrico convencional. Es decir, cuando la corriente comienza a fluir a través de los bobinados del estator, las corrientes son inducidos en los bo-

binados del inducido, éstas interactúan con los campos magnéticos producidos en el estator y dan lugar al movimiento rotatorio deseado. En el motor lineal las corrientes son inducidas en un riel de reacción (se denomina así porque transfiere reacción al suelo). El riel lateral también puede ser empleado para ayudar a proporcionar guiado lateral destinado al vehículo.

2.2 CRITERIOS PARA SU SELECCION.-

Como criterios de selección, enfatizaremos sobre todo el costo de instalación, costos de operación, costos de mantenimiento y los beneficios que pueden brindar cada uno de los sistemas anteriormente expuestos.

2.2.1 Comparación de los diferentes tipos de transporte masivo.-

Aunque ya se ha expuesto cada sistema de manera particular, en este tópico pretendemos resaltar las características comunes y a su vez analizar ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Es conocido por todos nosotros que el medio de transporte más común es accionado por combustible a través de unidades como: colectivos, buses y busetas; sin embargo los sistemas antes expuestos todos son eléctricos.

El transporte eléctrico cuya alimentación proviene de una fuente renovable, es a nuestro criterio la selección más adecuada de un sistema de transportación masiva a mediano y corto plazo. Tomando en cuenta la capacidad potencial de generación hidráulica del Ecuador, entonces planificar este problema tan agobiante bajo esta perspectiva sería la acción más acertada de los organismos pertinentes.

Para comparar con mayor precisión los sistemas de transporte eléctrico masivo dividiremos los criterios en: técnicos, económicos y beneficios sociales.

2.1.1.1 Criterios técnicos.-

En unidades en las cuales el desplazamiento se logra por rodadura, es indispensable disponer de una superficie adecuadamente

te acondicionada, para que la operación resulte posible en las condiciones técnico-económicas, satisfactorios; es decir, que el suelo natural no constituye una superficie adecuada para el transporte terrestre, sobre todo para el ferrocarril.

El acondicionamiento previo del terreno presenta diferencias entre todos y cada uno de los sistemas de transporte, tal es el caso de las unidades cuyo deslizamiento se realiza sobre rieles, y otras como el trolebús que tienen mejor rendimiento si la superficie es pavimentada. En el caso del trolebús las condiciones de horizontalidad y lisura son inferiores comparado con el de los ferrocarriles, además la ventaja de que el tendido de carreteras puede cubrir más densamente una superficie, y el medio de transporte logra mayor flexibilidad. En tanto, que para el caso del ferrocarril la superficie de rodadura se reduce a dos rieles, y esto limita la posibilidad de circulación de otro tipo de vehículos, inclusive obstruye las operaciones en cruces de vía.

Una desventaja adicional del ferrocarril es la limitación en las condiciones de tracción en la horizontalidad, esto es: un ferrocarril tiene mayores restricciones para la rampa y pendiente que un trolebús, este último puede circular con normalidad, solamente, limitado por la potencia de su motor.

Particularmente el ferrocarril o algún otro sistema que se desliza sobre rieles exige una superficie lisa, con riesgos a descarrilarse cuando caen elementos extraños en la vía, esto es otra razón muy importante por lo que el ferrocarril resulta negativo para la ciudad en estudio; a nadie le queda duda que en nuestra urbe, sobre todo en sectores aledaños a los mercados, las vías están casi siempre llenas de basura, lo cual obstaculizaría permanentemente la circulación del ferrocarril urbano.

Un sistema sobre rieles presenta otra desventaja frente al trolebús cuando sufre algún daño del equipo de tracción, esto impedirá totalmente la circulación del resto de unidades; en tanto que con un trolebús se

soluciona fácilmente recurriendo a la batería o unidad de emergencia a gasolina, puede desviarse del camino y dejar que las otras unidades pasen normalmente. En caso de una caída de línea de alimentación, el trolebús tiene opción a recurrir al equipo de emergencia y recorrer con ésta el tramo deteriorado para nuevamente conectarse y continuar con el servicio normal.

Por otra parte, lograr acelerar un objeto tan pesado como es el tren, implica el uso de cantidades mayores de energía que el necesario para acelerar un trolebús, donde si bien la cantidad de energía consumida por mayor número de unidades de ésta (trolebús) es igual que para alimentar un ferrocarril urbano, sin embargo la distribución de energía es más uniforme.

La mayor ventaja, tal vez la mejor virtud del ferrocarril es la capacidad de transporte porque puede arrastrar varios vagones a la vez, y esto hace de este sistema el más adecuado para servicio de transporte masivo en ciudades donde la población es mayor a

un millón y medio de habitantes económicamente activos. Pero debemos aclarar que para este propósito el terreno de operación debe ser previamente planificado, puesto que la infraestructura donde se instale las vías férreas es definitivo y de uso exclusivo.

Otra ventaja del ferrocarril o algún otro sistema que desliza sobre rieles es que pueden ser fácilmente automatizados, lo cual trae consigo dos ventajas adicionales a decir:

1. La seguridad; el hombre por excelencia es un ser cuyos actos son totalmente imprevisibles, si bien esa es su fuerza en algunos sentidos, constituye un rasgo peligroso en las carreteras.
2. La automatización, también permite des- canzar al conductor, mientras las computadoras se encargan de la operación desde la o las centrales instaladas con este propósito.

2.2.1.2 Criterios económicos.-

En lo que respecta al factor económico, especialmente los costos de instalación, mantenimiento, operación se expondrán a continuación:

Los costos de instalación de las unidades que se deslizan sobre rieles de acero u otro metal más ligero, es una inversión notablemente elevada e inevitable frente a las exigencias del trolebús, lo cual una vez instalado la línea de alimentación energética está listo para entrar en servicio inmediatamente. En tanto, que los otros sistemas una vez obtenidas las concesiones de las líneas, derecho exclusivo del uso de la vía, y colocadas las líneas, no se transfieren fácilmente y la inversión hecha en concepto de derechos a la vía y en las líneas férreas son gigantescas.

Los costos de mantenimiento de las líneas férreas, es mayor por cuanto corresponde al organismo que explota el servicio de transporte masivo, en tanto que los costos de

mantenimiento para el trolebús resulta prácticamente nula, ya que estas unidades no necesitan más que una superficie medianamente lisa o pavimento, este último, en caso de deterioro es obligación del municipio o del gobierno realizar el correspondiente mantenimiento.

El descuido de mantenimiento de las vías de cualquier sistema, origina a su vez los gastos de mantenimiento mecánico de los vehículos, tal vez en este aspecto la ventaja es favorable para el ferrocarril porque el número de unidades de los mecanismos de tracción es menor que el trolebús; es decir, para un número determinado de usuarios, el número de vehículos sobre ruedas es relativamente mayor, cada uno con su propia unidad de tracción, en tanto que un tren con una sola unidad de tracción es capaz de arrastrar varios vagones que no son más carrocerías montadas sobre un chasis.

El trolebús posee una ventaja notable frente al tranvía, ferrocarril, metro o monorriel y es su flexibilidad, lo cual puede

ser traducido en ventaja económica si consi
deramos que se daña la vía o el vehículo,
éstas primeramente obstruyen el sistema com
pleto con la consecuente pérdida económica
para la empresa que explota y el descontento
de los usuarios. Suponiendo que se desee
solucionar esta limitación, entonces se pen
sará en construir desvíos cada cierta distan
cia lo que implica nuevamente un costo adi
cional elevado, porque demanda de un espacio
físico y material para construir dichos des
víos.

La electrificación de cualesquiera de los
sistemas eléctricos es costoso, sobre todo
para el metro, monorraíl y ferrocarriles,
porque las líneas corren a través de un ter
cer riel por lo tanto, necesitan mayor pro
tección o aislamiento.

Los costos de operación de los sistemas pro
puestos es relativamente equitativo, por
ejemplo si comparamos el costo de operación
del ferrocarril y del trolebús; el primero
necesita inevitablemente personal propio pa-
ra el mantenimiento de las vías, atención

en las estaciones y manejo de los vehículos. En tanto que el trolebús debido al mayor número de unidades de tracción necesita mayor número de personas por cada tramo. A propósito una de las razones principales de la improductividad del transporte público (estatal) es el costo de la mano de obra, por esta razón la automatización es ciertamente una posible forma y probablemente la única de lograr que el transporte se autofinancie.

2.2.1.3 Beneficios sociales.-

Una de las ventajas más notables del sistema de transporte eléctrico frente al sistema tradicional, aún en uso (motor de combustión interna), que favorece al usuario de manera directa y a la ciudadanía en general, es la disminución del ruido y la eliminación total de la contaminación ambiental.

Ahora, la ventaja del trolebús frente al ferrocarril urbano que se traduce en beneficio social, es el itinerario o frecuencia de viajes, obviamente como el ferrocarril

arrastra varios vagones, necesitará un período substancialmente mayor que el que requiere el trolebús para llenarse; esto hará que el usuario busque alguna forma alternativa de viajar más pronto. A esto debemos agregar que para embarcarse en ferrocarril necesariamente deberá desplazarse hasta una de las estaciones, donde las mismas estarán ubicadas a una distancia de por lo menos el doble que el fijado para un trolebús. Este hecho facilita al pasajero, porque de esta forma necesitará caminar menor distancia para llegar a su destino o para tomar el otro carro para desplazarse hacia el lugar requerido.

La implementación de cualesquiera de los sistemas eléctricos de transporte desempeñará un importante rol de conducción en el desarrollo promocional de las áreas estratégicas y su alrededor además mejoraría el movimiento del transporte en interacción con el actual sistema de transporte público.

CAPITULO III

DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA DEL SISTEMA DE TRACCION ELECTRICA.

En el capítulo anterior, se ha observado la variedad de sistemas de transporte eléctrico; sin detallar características; aplicaciones ni ventajas. En este capítulo se pretende cubrir todos estos detalles en la medida de las posibilidades describiendo la constitución física del carro (vehículo) a ser utilizado en el proyecto.

3.1 CLASIFICACION DE SISTEMAS.-

Tomando en cuenta principalmente el sistema de distribución de energía hacia los motores de tracción. La electrificación de los transportes se ha llevado a cabo por diversos métodos.

3.1.1 Sistema monofásico de corriente alterna.-

Es oportuno aclarar que este sistema de electrificación, solamente se emplea en los sistemas de transporte que tienen las partes del ve-

cuenta con interruptores de potencia necesarios, haciendo de esta manera que el sistema tenga poco peso y menor costo de instalación que cualquier otro sistema de alimentación a los transportes eléctricos conocidos.

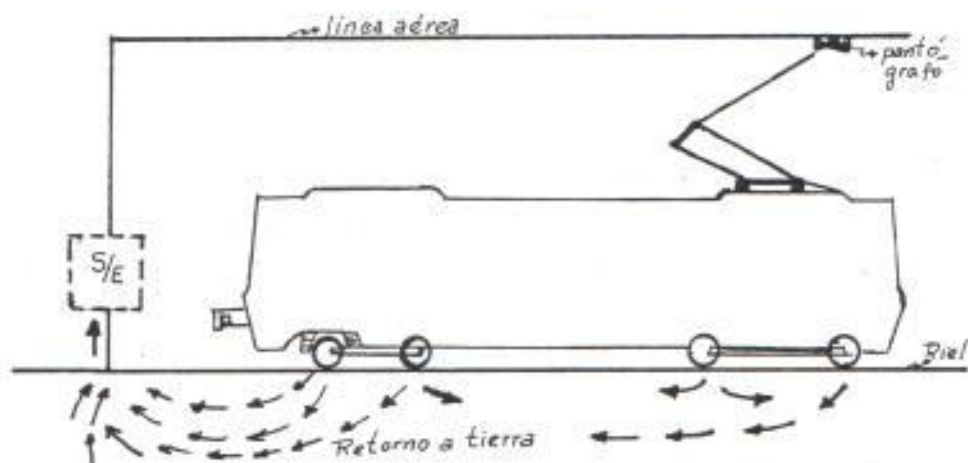


FIGURA No 3.1 CIRCUITO PARA UNA UNIDAD DE TRACCION MONOFASICA.

Los transformadores reductores en el sistema de alimentación monofásica, pueden alimentarse a partir de las estaciones centrales de potencia que alimentan las cargas comerciales, residenciales e industriales.

Se ha comprobado que la potencia absorbida por ferrocarriles y trolebuses, incluso los más sobrecargados son relativamente pequeñas; lo cual no altera al sistema de distribución eléctrica regional.

hículo en contacto con la tierra (sistemas sobre rieles).

El nivel de voltaje para la alimentación con este sistema, está superditado a la frecuencia de las líneas que tiene cada país. Casi todos los sistemas de c.a. ya sea monofásicos o trifásicos utilizan alambres de contacto aéreos, excepto en sistemas de tránsito rápido en cuyo caso se alimenta por un tercer riel ubicado a lado de las otras dos y una cierta altura.

El retorno de la corriente se realiza por medio de las rieles de acero en los ferrocarriles (ver la Fig. N° 3.1).

En la actualidad existen muchos sistemas electrificados con c.a. monofásico, por ejemplo en USA sistemas a 25 Hz. y 11.000 voltios o 25.000 voltios y 50 Hz. En tanto que los países europeos suministran a los sistemas monofásicos con 15.000 voltios y $16 \frac{2}{3}$, en la actualidad han adoptado electrificar sistemas monofásicos de c.a. a frecuencia comercial (50 o 60 Hz), dependiendo

del sistema eléctrico multipropósito de cada país.

En las unidades de tracción alimentados con c.a. monofásico normalmente proveen de un transformador reductor a cada unidad para reducir el alto nivel de voltaje a 400 voltios, voltaje para los que están diseñados los motores de tracción.

La ventaja de suministrar a altos niveles de voltaje es que requieren una corriente baja para unapotencia dada, además que posibilita el ajuste de voltaje y consecuentemente la velocidad. La introducción de la electrificación a frecuencia comercial con c.a. en varios países, permite simplificar considerablemente el sistema de redes o circuitos de alimentación a ser usado entre las subestaciones y el alambre de contacto.

La tensión en el trole del sistema monofásico a 25.000 voltios, oscila entre más del 20% y menos del 20%.

Otra ventaja del sistema monofásico es que

3.1.2 Sistema trifásico de corriente alterna.-

Este sistema consiste en dos líneas aéreas con una tercera línea conectada al carril, cuando se trata de ferrocarril; en verdad es un sistema poco práctico para la electrificación de unidades de tracción razón por lo que en la actualidad tiende a desaparecer.

Además este sistema tiene una desventaja frente al monofásico por tener mayor complicación en el tendido de redes (la catenería) a esto se suma el gran peso del motor de tracción del vehículo, el uso de dos pantógrafos por unidad de tracción.

Entre las ventajas de este sistema podemos anotar el elevado torque de arranque acompañado con un sistema de inversión de resistencia; durante el servicio pueden ser obtenidos solo dos o tres velocidades económicas, por todo lo expuesto este sistema es definitivamente impráctico para el uso en el transporte de pasajeros y está destinado más bien al transporte de vagones en la industria.

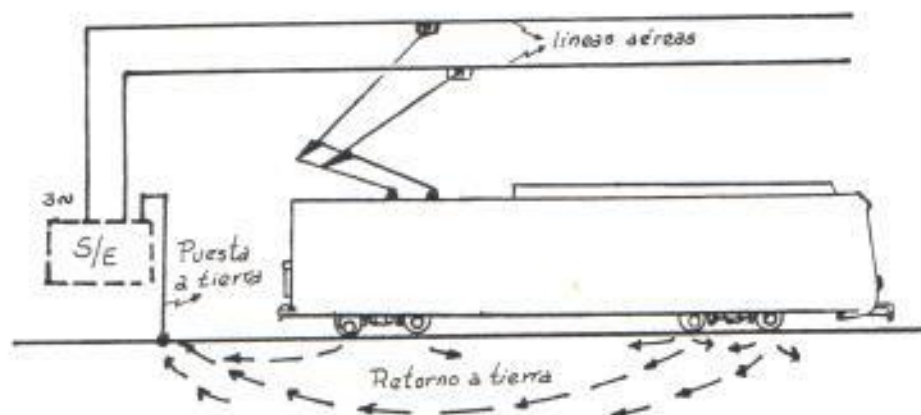


FIGURA No. 3.2 ESQUEMA DE SISTEMA 3 C.A.

3.1.3 Sistema de corriente continua.-

La electrificación en corriente continua ha sido ampliamente usada en muchas partes del mundo, en la actualidad se está incrementando las posibilidades de electrificar los medios de transporte urbano con este tipo de energía. En este sistema, las unidades de tracción pueden ser alimentados desde una línea adicional aislado y situado atrás de un riel (denominado tercer riel), con niveles de voltaje de 600, 700 y 750 voltios.

También se puede alimentar desde un alambre de contacto aéreo a los mismos voltajes o mayores como 1.200, 1.500 hasta 3.000 voltios, donde este último nivel de voltaje es

el más conveniente para la electrificación aérea de ferrocarriles a larga distancia.

El retorno de la corriente en este sistema, se consigue a través de los carriles de marcha y tierra (vea la Fig. 3.1) o bién por una línea aérea como sucede en la electrificación de los trolebuses.

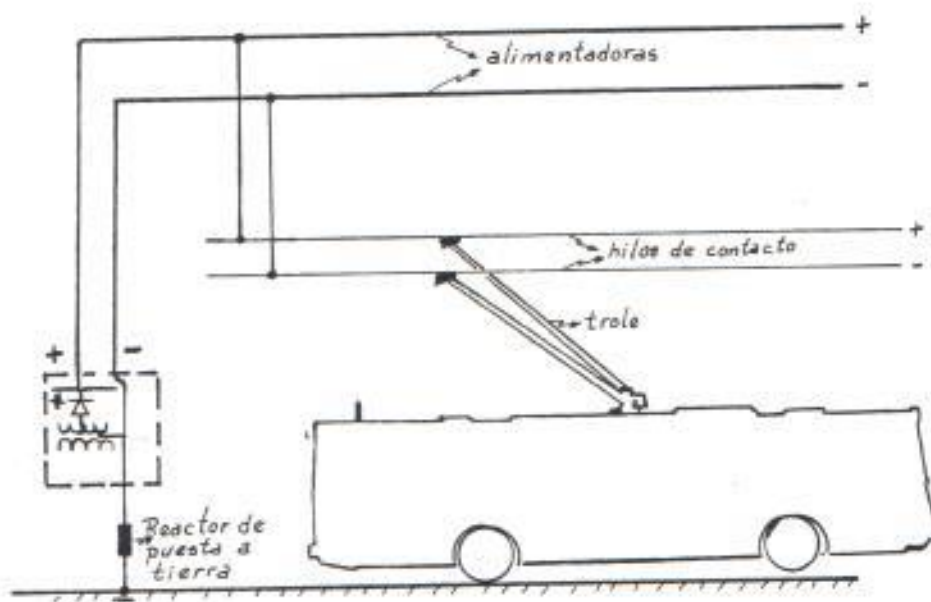


FIGURA No. 3.3 ESQUEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICA DE UN SISTEMA DE CC.

El diagrama elemental de la Figura 3.3 constituye la base más importante de nuestro trabajo, ya que nuestro propósito es casualmente electrificar un sistema de esta natu-

raleza, en lo que resta de nuestro trabajo ampliaremos el estudio de este sistema y los elementos que constituyen ser indispensables para formar el sistema.

3.2 MEDIOS DE PROPULSION Y SU CLASIFICACION.-

Las condiciones climatológicas, geográficas y aspectos económicos tipos de tráfico, densidad y otros que ya señalamos en el Capítulo I, son los factores más importantes que las autoridades de transporte y los ingenieros, toman como parámetros para una adecuada selección entre las diversas formas de propulsión de locomotoras. En esto, el sistema de suministro usado (interno, externo) nos da la primera pauta de seleccionar el medio de propulsión. Obviamente la unidad con suministro interno es aquella que lleva su propia fuente de potencia, es la más versátil que aquella alimentada a través de una fuente externa.

La unidad que lleva su propia fuente de movimiento se denomina locomotora diesel eléctrica; las mismas tienen un elevado costo inicial y peso, ya que cada una lleva tres ítems de equipos que son: Motor a diesel, generador principal y motor de tracción eléctrica.

3.2.1 Locomotoras eléctricas.-

La variedad de tipos existentes es muy amplio, viendo desde cualquier punto de vista, es decir se puede clasificar: por el tipo de alimentación corriente alterna o continua; por el nivel de voltaje en cada sistema; tipo de frenado y/o número de ejes, etc. Por lo tanto en lo que se refiere a la multiplicidad de tipos de vehículos utilizados o existentes; hay una falta de unicidad en lo que concierne a sistemas de electrificación de tracción eléctrica.

Es difícil normalizar las locomotas en su totalidad de componentes, sin embargo se puede llegar a estandarizar varios de sus componentes, tales como el grupo que comprende el motor, la transmisión, el engranaje el par de ruedas y muchos otros elementos.

Puede emplearse locomotoras de dos y tres ejes sin interesar la tensión de alimentación ni el sistema de regulación de tensión ya que el motor de corriente continua puede tener las mismas características eléctricas en todos los casos.

La transmisión también tiene las mismas características mecánicas, excepto la relación de reducción, porque estas están limitadas por el diámetro de las ruedas y varían según el lugar donde sean fabricadas.

El motor de tracción del grupo motor varía según se emplee la clase de rectificadores: De silicio y tiristores puesto que la diferencia entre estos dos tipos de motores repercute en el campo magnético del circuito de conmutación.

Una forma práctica de clasificar las locomotoras eléctricas sería dividir en dos grandes grupos según el sistema de alimentación que reciben, esto es: Locomotoras de corriente alterna y locomotoras de corriente continua.

3.2.2 Locomotoras de corriente alterna.-

Las locomotoras de corriente alterna se pueden clasificar a su vez en:

1. LOCOMOTORAS DE CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA:

Que contiene un transformador reductor que suministra potencial al colector en serie de los motores de tracción.

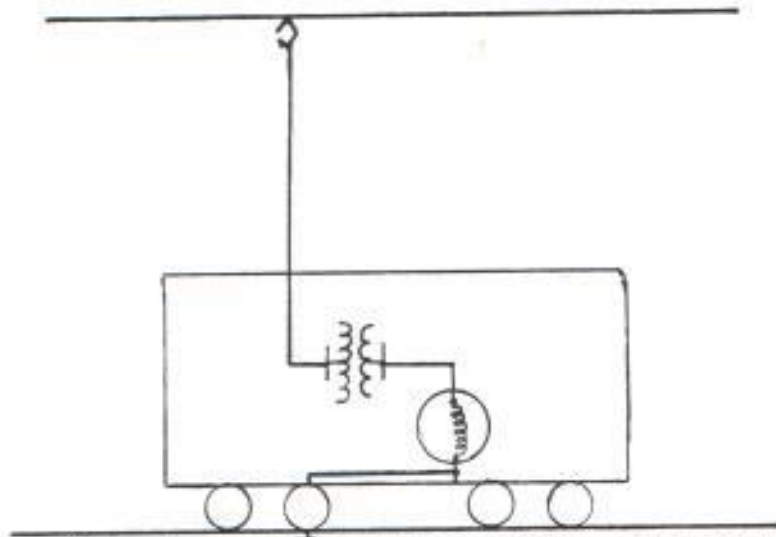


FIGURA No. 3.4. A) ESQUEMA DE UNA LOCOMOTORA CON TRANSFORMADOR REDUCTOR MONOFÁSICO.

2. LOCOMOTORAS CON CONVERTIDOR DE FASE:

Que contiene una máquina rotativa que cambia la potencia monofásica a trifásica para los motores de tracción del tipo de inducción trifásica.

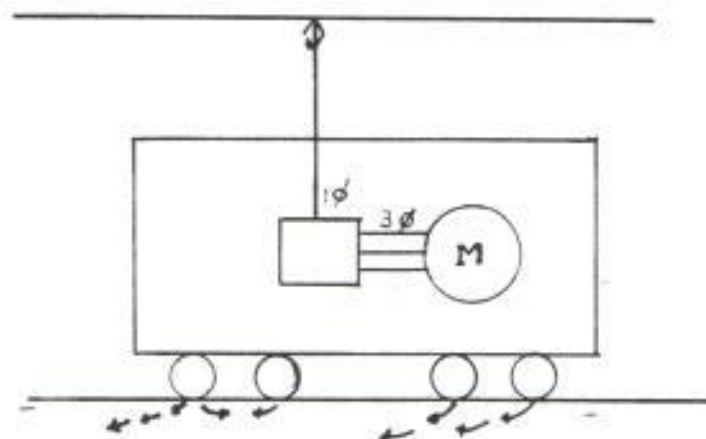
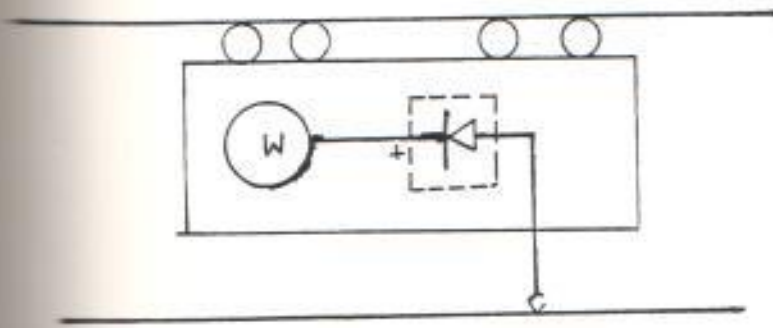
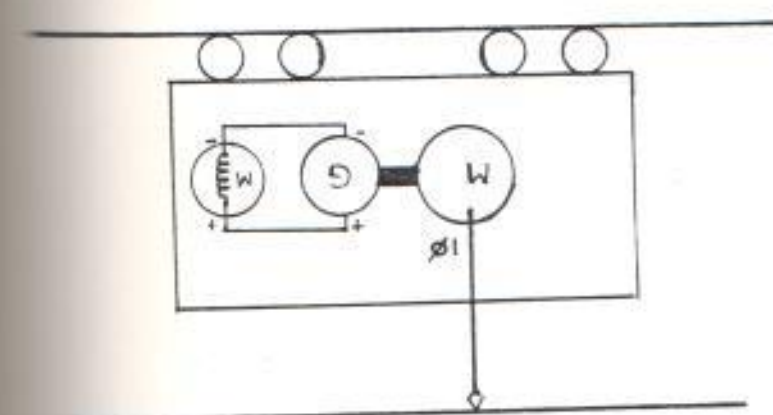


FIGURA No. 3.4. B) ESQUEMA DE UNA LOCOMOTORA CON CONVERTIDOR DE FASE.



4. LOCOMOTORAS CON RECTIFICADORES:
 Estas entregan potencia del sistema monofásico del trole a rectificadores para alimentar a los motores normales de tracción de corriente continua.



3. LOCOMOTORAS DE GRUPO MOTOR-GENERADOR:
 Que toman potencia monofásica para un motor sincrónico que acciona un generador de corriente continua que suministra potencia a los motores de tracción.

FIGURA No. 3,4, c) ESQUEMA DE UNA LOCOMOTORA MOTOR-GENERADOR

FIGURA No. 3,4, d) ESQUEMA DE UNA LOCOMOTORA CON RECTIFICADORES

3.2.3 Locomotoras de corriente continua.-

Las locomotoras de corriente continua se clasifican generalmente según la tensión en la zapata colectora que varía entre: 600 inclusive hasta 4.000 voltios.

Las locomotoras se han clasificado también considerando su función como:

1. Trenes de pasajeros
2. Trenes para mercancías
3. Para trenes mixtos
4. De maniobras
5. De estación de clasificación

La potencia de las locomotoras se expresa en la actualidad en caballos fuerza (H.P). Resultando este valor mucho más importante que el esfuerzo de tracción efectuado al mover el vehículo. Una gran ventaja de estas locomotoras es su capacidad de absorber una potencia superior de las centrales, durante períodos cortos de tiempo y acelerarse rápidamente o mantener su velocidad en pequeñas cuestas (pendientes). La potencia de traba

jo continuo se basa generalmente en un aumento de temperatura en el transformador o bien en los motores de tracción hasta en más o menos 10% por encima de lo normal con aislamiento de clase B a base de mica, vidrio o amianto según indica la AIEE para motores de transporte.

La potencia de arranque es el esfuerzo de tracción sostenido que puede realizarse durante la aceleración y puede corresponder al 25% del coeficiente de adherencia durante un corto espacio de tiempo para carro de pasajeros y hasta 10 minutos en tren de carga.

La satisfactoria aplicación de los rectificadores de selenio y silicio en las locomotoras eléctricas de corriente alterna ha hecho posible su accionamiento con los mismos motores de tracción de corriente continua utilizados en las locomotoras a diesel. También cuando la corriente no es recogida o generada en forma de corriente continua en las unidades con motor de tracción de c. c., es necesario que estén equipados con equipos de rectificación adecuada, tal como se observa en la Fig. N^o 3.4.d.

3.3 PRINCIPALES EQUIPOS DE LA MAQUINA.-

Los equipos que mencionaremos consiste exclusivamente desde el punto de contacto aéreo hacia la unidad móvil, que hacen posible su marcha, control y seguridad; de los cuales detallaremos aquí los que se cree que son los más importantes, además se mencionarán otros equipos de tracción eléctrica que no pertenecen necesariamente al trolebús.

3.3.1 Carrocería (dimensiones).-

Las características y dimensiones de los trolebuses, varía de acuerdo a las condiciones topográficas de una ciudad, demanda de medios de transporte y la disonibilidad de medios económicos para su correspondiente adquisición; por esta razón daremos las características de los modelos más conocidos que mencionamos en el Capítulo II⁽¹⁾.

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS TROLEBUSES:

Se permite el servicio del trolebús en la

(1) Refiérase a la sección 2.1.4



FIGURA No. 3.5(A) MEDIDAS EXTERNAS DE UN TROLEBUS MODELO SENCILLO.

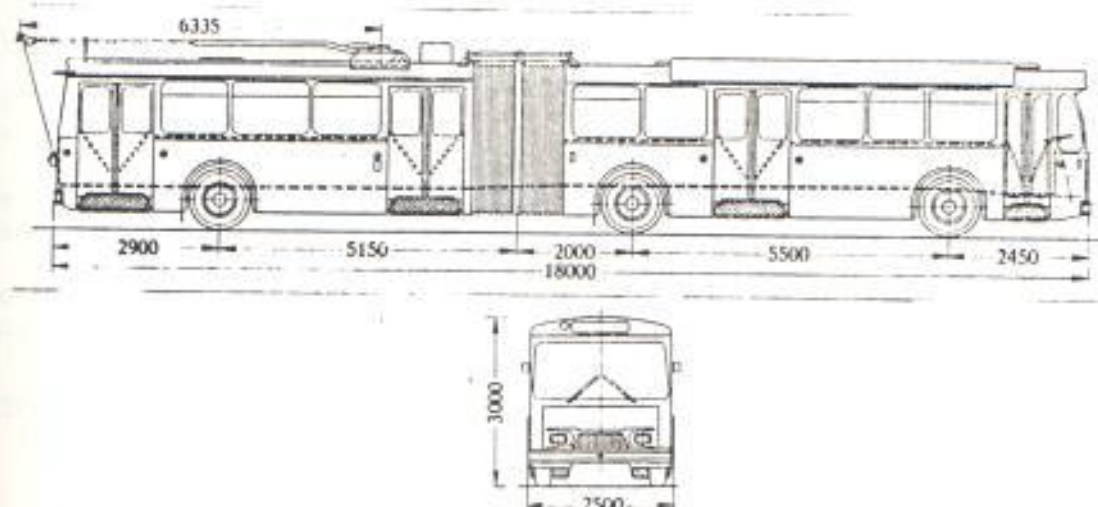


FIGURA No. 3.5(B) MEDIDAS EXTERNAS DE UN TROLEBUS MODELO ARTICULADO.

línea, por el transcurso de una hora con carga máxima, partiendo de la capacidad que tiene 700 Kg/m^2 de la superficie libre del piso para los pasajeros parados, más la masa de los pasajeros sentados.

Seguidamente detallamos las principales caracte

racterísticas de cada modelo de trolebús.

TABLA No.IV

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS DIFERENTES MODELOS

MODELO		SENCILLO	ARTICULADO	DOS PISOS	CON REMOLQUE
PARAMETROS					
VOLTAJE	nominal	600	600	600	600
	máxima	750	750	750	750
	mínima	400	500	500	400
Diámetro de las ruedas (tamaño).		1100x20	1200x20	1200x20	1200x20
Relación de transmisión (vía cardán).		1:10,3	1:11,41	1:11,123	1:10,3
Velocidad máxima con carga útil (plano).		60 Km/h	70 Km/h	40 Km/h	60 Km/h
Potencia en el eje del motor/hora.		115 Kv	150 Kv	140 Kv	166 Kv
ESFUERZO (km)	máximo	50		35,5	50
	una hora	34		22,4	18,1
	continuo	19,2		19,2	14
Aceleración máxima a plena carga (m/s ²).		1,3	1,3	1,4	1,3
Máximo esfuerzo de frenado		40 Kn		22,2 Kn	40 Kn
Deceleración máxima a plena carga (m/s ²) eléctrico.		1,8	1,5	1,1	1,1
Peso de las partes mecánicas.		6400 Kg		7770 Kg	
Peso del equipo eléctrico		3400 Kg		3160 Kg	
Peso total sin carga útil		9800 Kg	15500 Kg	10930 Kg	18100 Kg
Capacidad de Transporte (# de personas sentadas)		60	105	95	120
GRADIENTE DE DESPLAZAMIENTO					
Con carga		9,2%	8,0%	8,2%	7,5%
Sin carga		15%	12%	13%	10%
Unidad de emergencia		batería	term.elec	termelec.	term.elec.

Los vehículos que hemos mencionado son todos eléctricos y han sido desarrollados con características notables, en los que la simplicidad y adaptabilidad para los diferentes diseños es un hecho. Los nuevos equipos se han beneficiado con el adelanto tecnológico de la electrónica-potencia porque cuentan con control "CHOPPER", facilitando el uso de frenado reostático del motor de tracción porque usa un retardador conocido como frenado por corriente de EDDY en la desaceleración. Ambos tipos de frenado han encontrado los requerimientos operacionales adecuadas y por lo tanto, son universalmente aplicables.

La versatilidad del equipo se demuestra por el hecho de que han sido instalados en bases mecánicas de diferentes marcas de vehículos como FLYER, VOLVO, HES, IRAKUS y SKODA.

Además, se debe entender que los datos de la Tabla N°IV se dá a manera referencial, pudiendo éstas variar dependiendo de la política de cada fábrica.

La carrocería del trolebús es el de tipo en teramente metálica de estructura sustentadora, consta de seis secciones: basamento, costados derecho y izquierdo, delantero trasero y techo. Los armazones de las secciones están hechos de tubo de acero rectangulares y cuadrados. Los empalmes de los tubos de armazones y secciones de la carrocería están hechos de soldadura eléctrica al arco semi-automática.

El revestimiento exterior de las secciones y del conjunto carrocería está hecho de chapas de acero laminados en frío. La unión del revestimiento con los armazones de las secciones es por contacto eléctrico. El piso de la carrocería es de madera contrachapada y baketizada. La parte superior del piso está cubierta con alfombras de goma y con resina (plástico). Los peldaños están cubiertos con tapices dieléctricos, siempre con el propósito de brindar seguridad y aislamiento del pasajero.

ACABADO INTERIOR DEL SALON DE PASAJEROS Y
DE LA CABINA DEL CONDUCTOR:

Los paneles del salón son de contrachapado decorativo, el techo del salón y de la cabina están revestidos con plástico; la parte restante del salón (entreventanas y plintos) y la cabina están forradas con chapas de acero laminados en frío (ver la Figura 3.6-a).

La carrocería está dividido por dentro por un tabique que separa la cabina del conductor con el salón de pasajeros. El tabique tiene una puerta para salir el conductor de la cabina al salón, (vea la Figura 3.6-b).

La calefacción de la cabina es por aire con calentamiento de este por un horno eléctrico y la corriente de aire la proporcionan dos ventiladores. La ventilación natural llega a través de una ventaja corrediza y una lumbrera. La ventilación forzada llega por dos ventiladores instaladas en el techo del vehículo.

La puerta delantera es de dos hojas, en tanto que la central y la trasera son de cuatro hojas cada uno. El mando de las puertas es

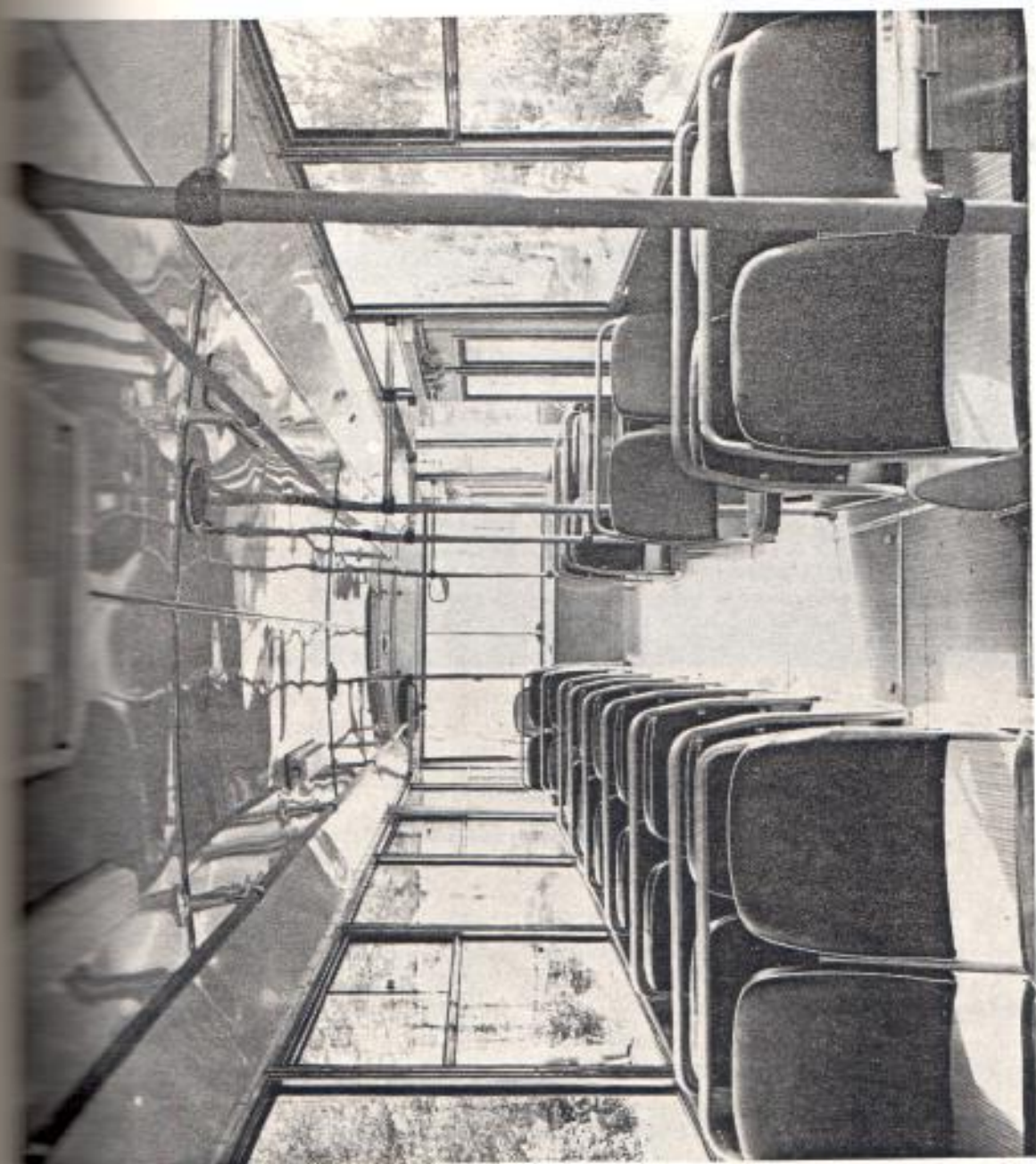


FIGURA 3.6. DISPOSICION DE LOS ASIENTOS Y DIVISION DEL PISO PARA EL TROLEBUS SENCILLO

electromecánico a distancia, desde la cabina del conductor, cuyo equipo se vé en la Figura N° 3.7

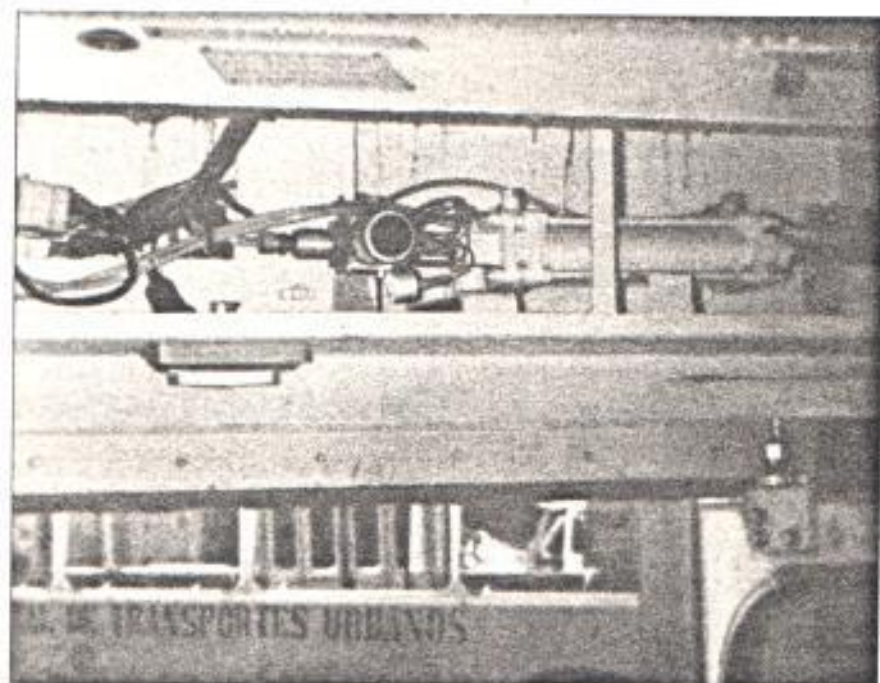


FIGURA No. 3.7 EQUIPO ELECTRONEUMATICO QUE ACCIONA LA PUERTA CORREDIZA.

El encristalado de la carrocería está hecho con vidrios tipo "stalinit" de dos tamaños; en tanto, que el parabrisas y el vidrio empotrado en la parte trasera tienen un espesor mayor que los laterales, pero la misma calidad.

Los pasamanos están hechos de tubos de acero guarnecidos con tubos de policloruro de vinilo, material también aislante que resguarda al pasajero de cualquier situación de peligro eléctrico.

La distribución de asientos de pasajeros (de una y dos plazas) se ilustra en la Fig. 3.6-b, el asiento del conductor tiene regulación en sentidos vertical y del ángulo de inclinación del respaldo de apoyo.

La ventilación del salón de pasajeros es afluyente y por aspiración; en verano el aire del salón es aspirado por el ventilador centrífugo del sistema de calefacción y se expulsa a la atmósfera. La afluencia del aire fresco al salón se lleva a cabo a través de las ventanillas de las ventanas, de las lumbreras y puertas. A continuación detallaremos a manera referencial, las dimensiones del trolebús SKODA, modelo sencillo, a pesar de que existen una variedad de vehículos tal como se indicó en el Capítulo II.

Dimensiones exteriores de la carrocería en mm. (Ver Fig. N° 3.5).

Longitud sin los toma corrientes (troles)	11.888
Anchura	2.500
Altura del trolebús no cargado (sin el equipo eléctrico en el techo).	2.587
Altura del trolebús no cargado con los troles bajados.	3.347

Vuelo de la carrocería en mm.

Delantera	2.282
Trasera	3.402

Superficie del piso para los pasajeros parados, incluyendo la superficie de los peldaños m ²	11,78
--	-------

3.3.2 Motor de tracción.-

Las condiciones de operación de los vehículos principalmente los mecanismos más estrictos y requerimientos eléctricos deben ser impuestos en los motores. La fuerza de aislamiento debe tener particularmente altos requerimientos; los ciclos de arranque y frenado frecuentes dan choques térmicos altos

en los motores, sin embargo éstos deberían ser capaces de aguantar sobrecargas ocasionales sin sufrir daños.

Estas condiciones pueden ser tomados en cuenta en el dimensionamiento y diseño de los motores. Sin embargo hay que tomar también especial atención al polvo, la humedad, la salinidad del lugar, etc. El diseño y las dimensiones externas de estos motores son determinados por las condiciones de instalación y ubicación en el bogie⁽²⁾. Los requerimientos generales a ser tomados en cuenta en el motor de tracción para servicio de transporte local pueden ser resumidos brevemente como sigue:

- Rendimiento durante el frenado y operación (motorismo).
- Torque
- Relación de la velocidad promedio a la velocidad máxima.

(2) Refiérase a la sección 3.5.1 donde se indica las dimensiones externas del motor.

- Diseño térmico
- Rango de posibles cortos (capacidad de sobrecarga).
- Inmunidad a los factores ambientales, tales como vibraciones, polvo, suciedad, sal y humedad.
- Auto ventilación máxima
- Adaptabilidad a los diferentes diseños de los bogies.

A esto se debe añadir los siguientes requerimientos secundarios:

- Mantenimiento mínimo durante la operación
- Bajos costos de producción.

El motor de los trolebuses al igual que para los tranvías pueden de devanado serie o devanado "compound"...

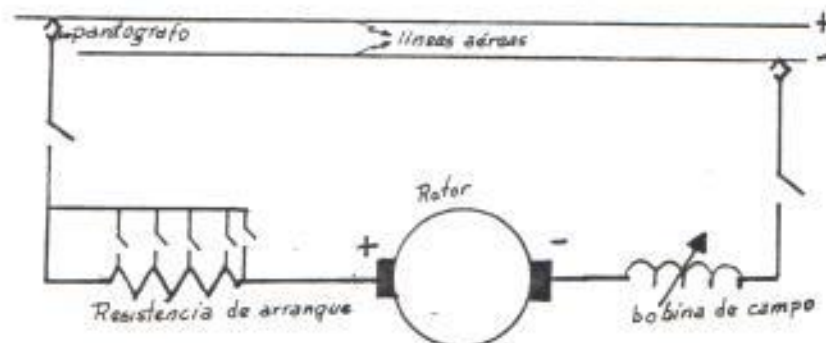


FIGURA No. 3.3 ESQUEMA ELEMENTAL DE MOTOR DEVANADO SERIE

El tipo de motor más estable para la dureza de tracción es el tipo conmutador en serie a corriente continua. Las mismas están regidas por las siguientes ecuaciones, basadas en las leyes de Kirchhoff.

$$V = E + (\Sigma I r + 2\Delta V) \quad (3.1)$$

Puesto que en un motor de esta naturaleza, la f.e.m. inducida (E) y la intensidad del inducido I_f están en oposición; lo mismo ocurre entre la f.e.m., inducida y la tensión en los bornes (V).

Donde la E para el motor viene dada por:

$$E = C_1 n \phi \quad (3.2)$$

en la que C_1 es una cantidad constante para una máquina dada.

La ecuación del par es:

$$T = 7,04 C_1 \phi I_f = \frac{7.04 E I_f}{n} \text{ lb-pie} \quad (3.3)$$

y $C_2 = 7,0C_1$ es una cantidad constante para una máquina en particular.

Combinado las dos primeras ecuaciones obtenemos la velocidad del motor:

$$n = \frac{E}{C_1 \phi} \quad (3.4)$$

Es conocido que en un motor serie, las intensidades de excitación y del inducido son iguales, entonces el flujo es igual a la corriente de inducido I_i .

$$\phi = f(I_i) \quad (3.5)$$

Los motores para los trolebuses como mencionamos anteriormente son de dos tipos:

MOTOR TIPICO CON DEVANADO SERIE:

La característica de este tipo de motor se ilustra en la Figura N° 3.9.

Se han trazado dos pares de curvas, expresando la relación de velocidad y esfuerzo de tracción en función de la corriente. La debilitación del campo mediante el shuntado o la disminución de las espiras puede variar

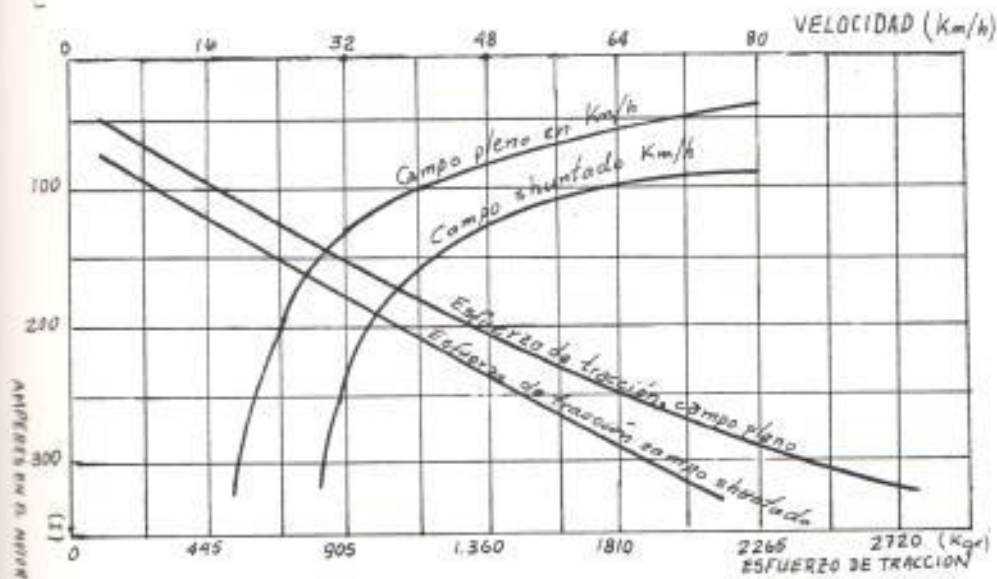


FIGURA No. 3.9. CARACTERISTICAS DE UN MOTOR SERIE

se dentro de los límites de carga y conmutación del motor. En el par de curvas referidas, la intensidad del campo se ha reducido a una mitad aproximadamente.

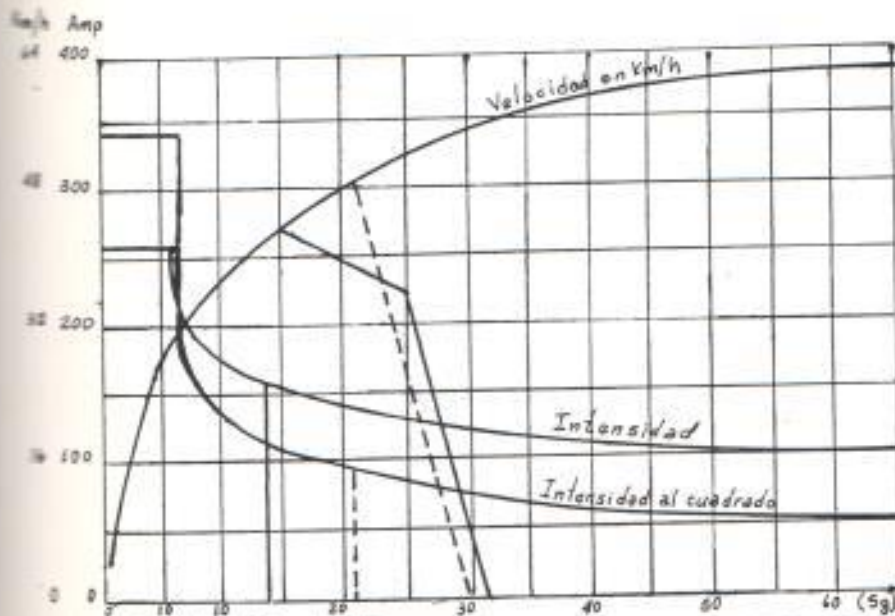


FIGURA No. 3.10. CURVA DE FUNCIONAMIENTO DE UN TROLEBUS DE UN MOTOR SERIE.

En la Figura N^o 3.10 se representan las curvas correspondientes a un recorrido típico del trolebús, obtenidas con el motor cuyas curvas se representan en la Figura N^o 3.9. Las líneas correspondientes a la marcha sin corriente y al frenado se han introducido para indicar la terminación de un trayecto a una distancia de 260 m. La curva en línea continua representa el viaje efectuado en 32 seg., marchando 11 seg., sin corriente o lo que equivale a un tercio del tiempo; la curva de trazos muestra un recorrido semejante, marchando con corriente completado en 30 seg.

La economía de energía debida a la marcha sin corriente, se representa por el área limitada por la curva de corriente entre las líneas de cortecontinua y de trazos.

Por precaución, un motor serie nunca debe conectarse a una línea si no hay certeza de que está en carga.

MOTOR CON DEVANADO COMPOUND:

El devanado compound permite regular la velocidad del trolebús manteniéndola muy cercana a la que lleva el trolebús precedente y marchar continuamente a esta velocidad. Puesto que el vehículo no está sujeto a una vía, esta ventaja es tal vez la de mayor valor del trolebús con respecto al tranvía y al ferrocarril.

Las características de este tipo de motor se ilustra en la Figura N^o 3.11.

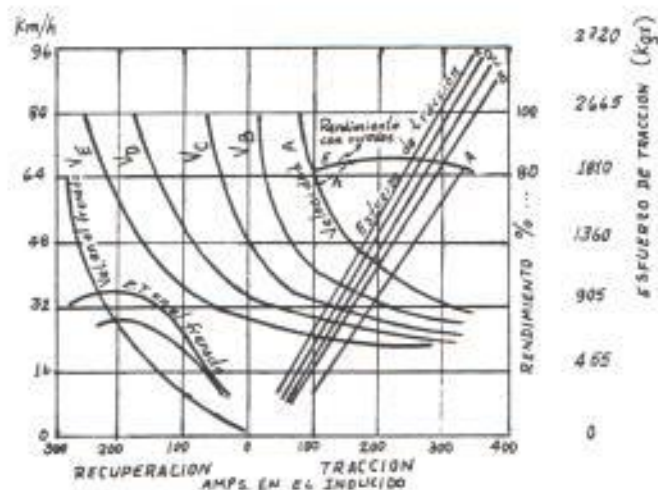


FIGURA No. 3.11. CARACTERISTICAS DE UN MOTOR COMPOUND.

Las curvas señaladas por A, corresponden al funcionamiento con el devanado shunt desco-

nectado, condiciones equivalentes a un motor simple serie de campo relativamente débil. Las otras curvas corresponden a distintos valores de la corriente en el devanado shunt, la velocidad decrece a medida que aumenta la intensidad de campo shunt.

La velocidad se hace más constante con diferentes intensidades en el inducido al aumentar la intensidad del campo shunt. Cuando las curvas de velocidad llegan a cruzar el eje de las ordenadas, se invierte la corriente en el inducido, indicando que, a partir de este momento, el vehículo marcha por sí mismo y generando corriente que manda a la línea. En otros términos: el motor actúa como un freno con recuperación. Se indica el esfuerzo de tracción negativo correspondiente a la curva de velocidades E, así como el esfuerzo cuando el motor en corto circuito para frenado reostático.

Las características de la carga a la que están sometidos los trolebuses corresponde a aquellas en las que la velocidad es ajustable dentro de una gama amplia para distintas

condiciones de funcionamiento y de par variable. Aparte del motor de tracción a este grupo pertenecen los motores que accionan: compresores en carga, las bombas, los molinos de bola y los transportadores. En estos además de carga existen rozamientos permanentes y considerables a vencer, especialmente cuando se tiene que arrancar después de una parada. Este tipo de carga requiere pares de arranque elevados para salir bruscamente de su inactividad y el par de arranques necesario llega a superar inclusive el 300%. Por esta razón, el trolebús necesita motor con elevados pares de arranque y se adapten mejor al servicio.

A continuación presentamos una tabla de características y aplicaciones de motores de c.c., lo que nos permitirá diferenciar la peculiaridad del motor de tracción.

Las aplicaciones típicas y observaciones generales de los motores SERIE, según especialistas está destinado a usos que requiera pares de arranque muy elevados y cuya velocidad sea ajustable satisfactoriamente. Es

TABLA No. V

COMPARACION DE LOS MOTORES COMUNES CON LOS DE TRACCION

APLICACIONES	TIPO	PARA DE ARRANQUE. %	PAR MAX. DE FUNCIONAMIENTO MOMENTANEO. %	REGULACION O CARACTERISTICA DE VELOCIDAD. %	CONTROL DE VELOCIDAD. %
Aplicaciones de vel.cte. Ej.: bombas centrífugas, ventiladores, compresores, etc.	Derivación de vel.cte.	Menos de 250 mediante resistencia.	Limitado a 200 mediante conmutación.	5-10	Hasta 200 con campo y tensión.
En aquellas que precisen control de velocidad ajustable y potencia cte.	Derivación de velocidad ajustable.	Menos de 250 mediante resistencia.	Limitado a 200 mediante conmutación.	10-15	Relación de 6 a 1 con campo y tensión de inducción.
En los que se necesita pares de arranque elevados y velocidad corriente, cargas pulsantes.	Compuesto	Hasta 450, dependiendo de la relación de excitación serie derivación.	Hasta 350	Variable 25-30.	Hasta 125 con control de campo.
En pares de arranque muy elevados y velocidad ajustable, aplicados especialmente en Motores de Tracción.	Serie	Muy elevado hasta 500.	Hasta 400	Muy variable desde plena carga a vacío.	Mediante reóstato en serie.

te motor denominado MOTOR DE TRACCION cuya carga debe ser accionada rígidamente mediante cardán y no mediante correas. Para evitar sobrevelocidades, las cargas más ligeras no deben ser menores que el 20 o 25% del par de plena carga.

TAMAÑO Y DISEÑO DE LOS MOTORES:

Los motores útiles en el transporte tienen un rango comprendido entre 70 y 400 Kw. y un torque de arranque entre 10.000 y 50.000 Nm. en el eje.

En respuesta al desarrollo y expansión del servicio de transporte público local, las diferentes compañías (fabricantes de estos equipos) han desarrollado motores de tracción interesantes como muestra la siguiente tabla.

Dependiendo de los requerimientos de operación y las necesidades de las compañías de transporte, ambos sistemas: control por contactores y chopper electrónicos están evaluados para control de esfuerzos de tracción.

TABLA No. VI

CARACTERISTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE MOTORES SERIE.

TIPO DE MOTOR	Clase de Aislamiento Rotor/Estator	Voltaje en el alambre de contacto.	Velocidad re/min continuo.	Torque en el eje durante el arranque.	Montaje en el bogie.	DRIVE
4ELG 1830	H/F	600	1730	1036	long.	vía cardan
4ELG 1830A	H*/F	1200	1842	1037	long.	vía cardan
4ELG 2030	H*/F	600	1512	1128	long.	acopl. dir.
4ELG 2052C	H/F	600**	1577	1874	long.	acopl. dir.
4ELO 2052K	H*/F*	600**	1670	2078	long.	vía cardan
4FLO 2050	H*/F*	575	1907	2167	long.	acopl.dir.
4ELG 2057	H*/F	600	1395	2256	long.	vía cardan

* Aislamiento tipo VERDUR⁽²⁾

** Motor aislado para 1.200 voltios

Acopl. dir. (Acoplado directamente a través de un engranaje hipoidal).

Long. (Montaje del motor en el bogie, longitudinalmente).

(2) VERIDUR (Explicación en el 2do. párrafo, pág.).

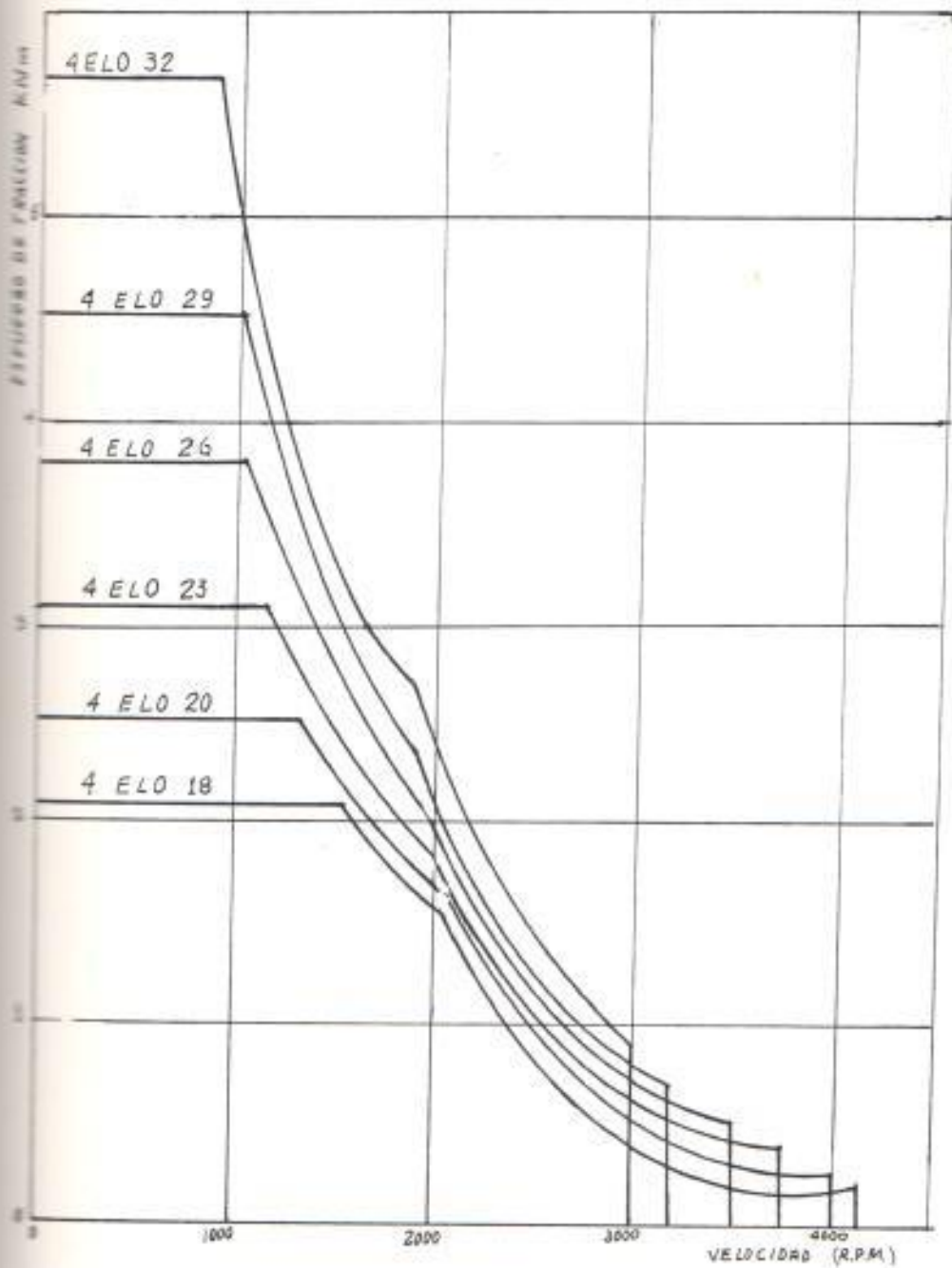


FIGURA No. 3.12. VALORES APROXIMADOS PARA LOS TORQUES DE ARRANQUE EN EL EJE Y MAXIMA VELOCIDAD DE OPERACION EVALUADOS CON LOS MOTORES SERIE K.

Es indudable que la existencia de una infinidad de tipos de motores complicaría tremendamente el estudio detallado de un tipo especial como el usado en el servicio de transporte de pasajeros sobre rueda (trolebuses). Por esta razón centraremos nuestra atención en motores de la SERIE K. (Denominación que recibe por los fabricantes BBC).

La BBC, recientemente ha hecho un estudio detallado adicional a los desarrollos en el diseño del motor conmutador para servicios de transporte local. El tipo del trabajo desarrollado tiene buena adaptabilidad eléctrica y varias posibilidades de instalar en los diferentes modelos de trolebuses.

El resultado del motor diseñado incorpora varios tamaños y rangos, basados en un principio modular. Estos motores conocidos como serie TK son descompensados cada vez que sea posible.

La Figura Nº 3.12 proporciona los valores aproximados para los torques de arranque en el eje y las velocidades alcanzadas durante

las operaciones con los motores en serie tipo K. En el mismo gráfico se puede observar las curvas simplificadas de los rangos y torques tomados como base para esta serie.

Tal motor de tracción que se muestra en la Figura N^o 3.13 está diseñado para control por resistencia y control por chopper sin limitar la agitación del componente de la corriente de armadura, porque el estator y los interpolos son laminados.

Este tipo de construcción también permite alta flexibilidad en la adaptación de la longitud del núcleo a los requerimientos de las dimensiones del motor (las dimensiones externas del motor se detalla en la sección 3.5.1).

La característica especial de este diseño, es que la armadura del núcleo laminado es directamente apilado en el eje. Con lo que durante el servicio de mantenimiento, se puede cambiar el eje fácilmente sin el riesgo de dañar la bobina ni el conmutador. El mé

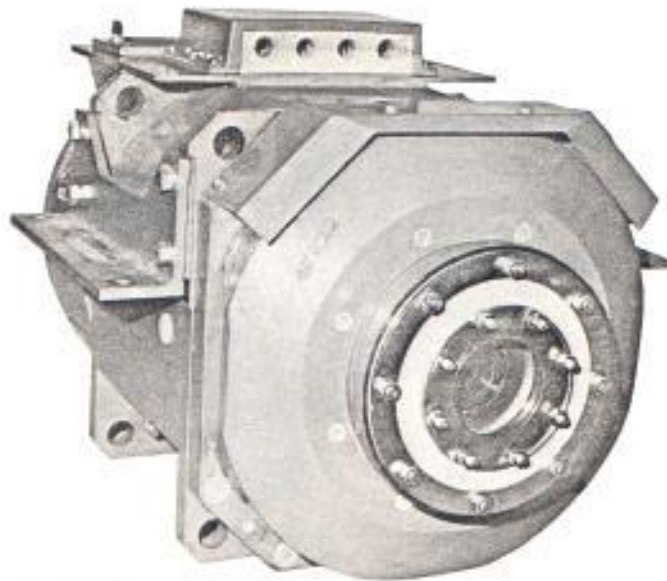


FIGURA No. 3.13. MOTOR EQUIPADO SERIE K CON BRIDAS Y AISLADO PARA ACOPLAR A LOS TROLEBUSES.

todo patentado requiere ser sujetado temporalmente del conmutador al núcleo de armadura por medio de tornillos reforzados; el daño puede ser entonces reparado afuera y ser colocado posteriormente o bien ser reemplazado por uno nuevo. El eje terminal de los motores son conectados al hueco axial del eje de engranaje a través de un acople según establece la norma DIN 5464, ver Figura N° 3.13.

La Figura N° 3.14 muestra la forma y características del rotor de los motores de la



FIGURA No. 3.14. ROTOR DE UN MOTOR SERIE K

serie K. Los ejes de estos rotores están disponibles en tres diámetros, cada uno de los cuales proporciona una adecuada regularidad para la máxima carga axial producida en el eje del vehículo, brindando de este modo al motor una elevada confianza durante su operación.

Para el aislamiento, se utiliza materiales de clase H y F en la construcción de los motores para servicio de transporte local, tanto en el estator como en el rotor; el aislamiento juega un papel importante en el diseño de los motores donde cada tipo de aislante protege hasta una determinada temperatu-

ra de seguridad. Los aislantes de clase H y F consisten en substancias aglomerantes y los barnices a base de silicona. Estos materiales usados conjuntamente con los materiales inorgánicos, producen un aislamiento que es capaz de resistir temperaturas más altas que los aislamientos clase B (usado para motores de la industria).

Los materiales clase H y F, unidos con un impregnante total de solvente libre de resina de silicón, dan excelentes propiedades y se conoce como VERIDUR, además imparte robustecimiento térmico excepcional al motor. El silicón utilizado tiene la ventaja que durante el chisporroteo (arco) no produce trayectorias conductivas en las bobinas. El teflón sella el conmutador sobre el lado del rulimán y el terminal del devanado de armadura se asegura con cintas tejidos de fibra de vidrio.

Para lubricar se usa grasa de alto grado de lubricación, basado en jabón de litium con aditivos de alta presión; lo cual permite la operación normal por períodos hasta 6 años

sin relubricación haciendo dispensar del control de flujo de grasa; por lo tanto, el daño en los rulimanes es extremadamente raro y si ocurre normalmente se debe al mal cuidado del vehículo.

La adecuación de la superficie permite instalar el motor en el trolebús por medio de vigas angulares, la extensión del terminal de empuje se lleva acoplado el borde, el mismo es aislado y diseñado para adherir al eje del cardán, vea la Figura N° 3.13.

3.3.3 Transmisión.-

El trolebús tiene una forma muy similar a los autobuses viajeros, por lo tanto la transmisión que posee tiene las mismas características, es decir que se trata de un equipo mecánico que consiste en un árbol cardánico con dos articulaciones sobre cojinetes de aguja.

En los tipos de trolebuses con motor único, la transmisión comprende el diferencial, en el que las ruedas pueden girar paralelamente.

te, aunque eventualmente el diámetro de los neumáticos sea ligeramente desigual y con inflación distinta.

Los trolebuses modernos tienen la transmisión por motor único cuyo caballaje depende de la severidad del servicio y motores de mayor caballaje tienen mejor rendimiento. La reducción de la velocidad está usualmente comprendida entre $9 \frac{1}{4}$ y $11 \frac{1}{2}$, utilizándose se ruedas y tornillos sin fin en el eje trasero. Algunos trolebuses antiguos tenían dos motores, entonces usaban transmisión sin fin o eje intermedio de doble reducción. Actualmente la transmisión con motor sencillo ha evitado complicaciones en el equipo de mando e instalación.

ENGRANAJE DE SIMPLE REDUCCION:

Las recientes locomotoras eléctricas que poseen motores de tracción de c.c., están generalmente accionados a través de un motor por el eje. El motor de corriente continua suele estar suspendida por un extremo con un engranaje cilíndrico de dientes de simple

reducción; en esta instalación el eje del motor es paralelo al eje del vehículo y se denomina instalación transversal del motor en el bogie, tal como se ilustra en la Figura N^o 3.31.

ENGRANAJE DE DOBLE REDUCCION:

Los motores de tracción con corriente continua (c.c.) de algunas locomotoras están colocadas con sus ejes formando un ángulo recto con el eje del vehículo a esto se le denomina montaje longitudinal del motor en el bogie, vea la Figura N^o , transmitiéndose su par a uno o más ejes por medio del eje cardán que los acciona a través de cajas de transmisión en ángulo recto, esta es la situación real en caso de los trolebuses donde el cardán comunica el par de giro a la caja y se transmite el movimiento a los ejes trasero del trolebús. En tal accionamiento puede incorporarse un engranaje de reducción doble, lo cual permite la utilización de motores de cualquier capacidad y velocidad. Los vehículos de tránsito sobre ruedas utilizan motores más pequeños y económicos com

parados con el de tranvía y ferrocarril, precisamente porque este método de transmisión ofrece esta ventaja. El principio de funcionamiento de esta transmisión se ilustra en la Figura No. 3.15.



FIGURA No. 3.15. PRINCIPIO DE REDUCCION POR TORNILLOS SIN FIN.

El acoplamiento del eje del vehículo a través del engranaje de accionamiento reduce significativamente el deslizamiento de las ruedas, cuyo radio de acción y maniobrabilidad sobre el pavimento se detalla:

Convergencia de las ruedas delanteras.	4 - 6°
Angulo de inclinación lateral de las ruedas.	1°

Inclinación transversal del pivote	8°
Inclinación longitudinal del pivote	1°8'

Angulo de viraje de las ruedas

Interior	49°
Exterior	40°

Ruedas sin discos, intercambiables y aseguradas al cubo con 6 sujetadores.

Número de ruedas

En el eje delantero	2
En el puente trasero	4
De repuesto	1

Cubiertas neumáticas con dibujo del protector para carretera de 16 capas con una presión en los neumáticos Kg/cm².

Eje delantero	6,7 ± 0.2
Puente trasero	6,7 ± 0.2

Aquí podemos incluir algunos detalles técnicos de maniobrabilidad del trolebús sobre la calzada.

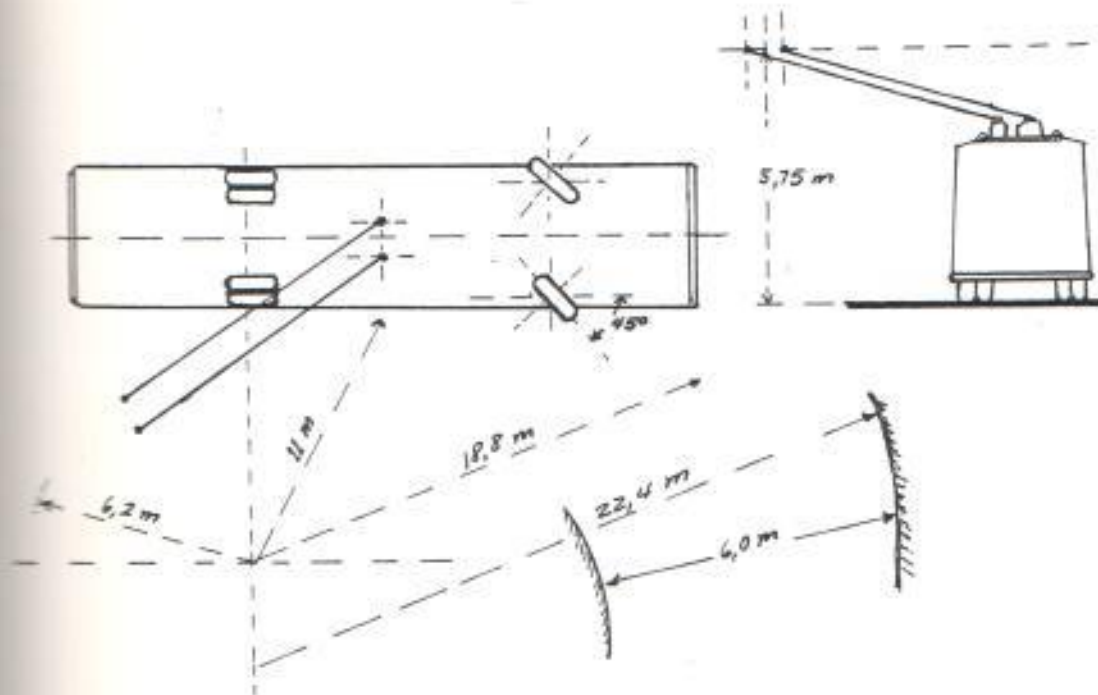


FIGURA No. 3.16 RADIO DE ACCION DEL TROLEBUS SOBRE LA CALZADA.

Radio mínimo de viraje del trolebús por el eje de la huella de la rueda delantera exterior (respecto al centro de viraje) m., no más de 9,4 metros.

Dimensión del radio de viraje exterior medida por el ángulo exterior delantero de la carrocería del trolebús, el más alejado del centro de viraje no más de 11 metros.

Dimensión del radio de viraje interior, medi

da por el perfil del revestimiento; el más próximo al centro de viraje no más de 5 metros.

Los datos indicados se ilustran en la Figura N° 3.16.

3.3.4 Pantógrafo.-

El pantógrafo es levantado por aplicación de aire comprimido a través de una válvula electroneumática a un cilindro, cuyos pistones mantiene la tensión del resorte del pantógrafo. Estos resortes llevan el pantógrafo con una tensión adecuada para conectar el trolley con el alambre de contacto; la presión que ejerce el resorte sobre los tubos que sirven de brazo móvil al vehículo para observar corriente desde la línea es mantenida sin cerrar los límites de la posición altísima y bajísima del pantógrafo.

El cilindro de aire y los resortes de tensión están montados en la base sobre el techo del vehículo como se muestra en la Figura N° 3.18b.

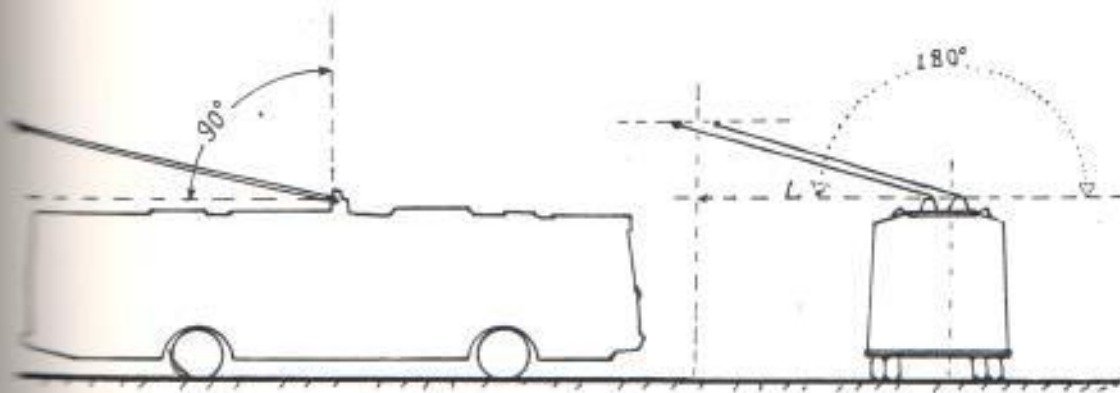
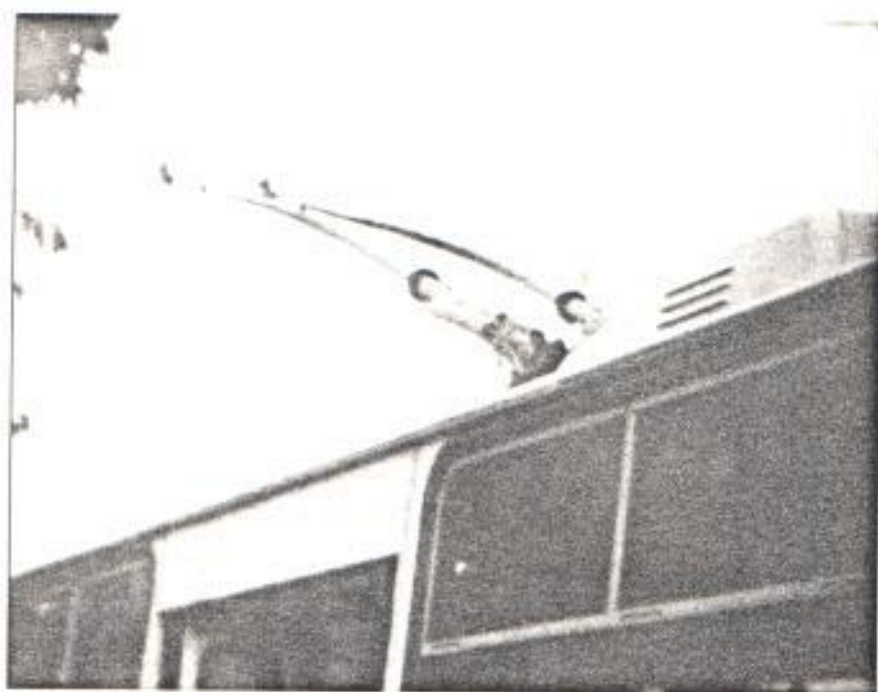


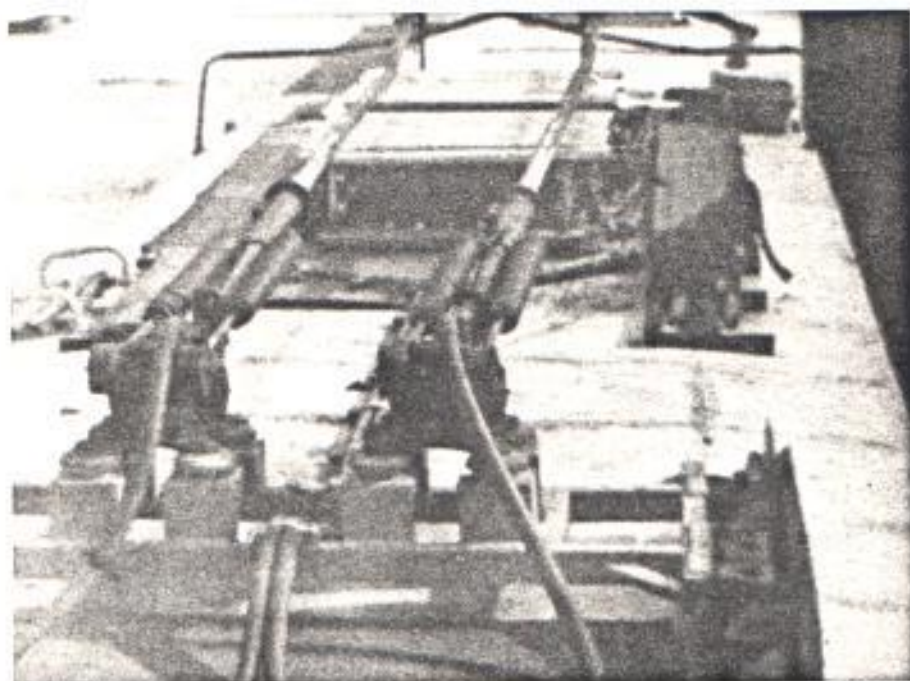
FIGURA No. 3.17 RADIO DE ACCION DEL TROLE

El trole, consiste en dos tubos de una longitud que varía según el vehículo tal como se ve en la Figura N^o 3.18a, tiene una longitud de 5 metros en tanto que la versión articulada tiene 6.335 m., de largo; en ambos casos el diámetro es variable; a través del tubo pasa un conductor N^o 2 trenzado y flexible con un revestimiento de caucho (aislante), este conductor se une al pantógrafo que consiste en un pequeño dispositivo que tiene la forma como se muestra en la Figura N^o 3.19.

El pantógrafo, se asegura en el tubo con el pasador que se ve en la parte anterior de la



A) TOMACORRIENTE (TROLE)



B) REGULADORES DE TENSION DEL TROLE

FIGURA No. 3.13

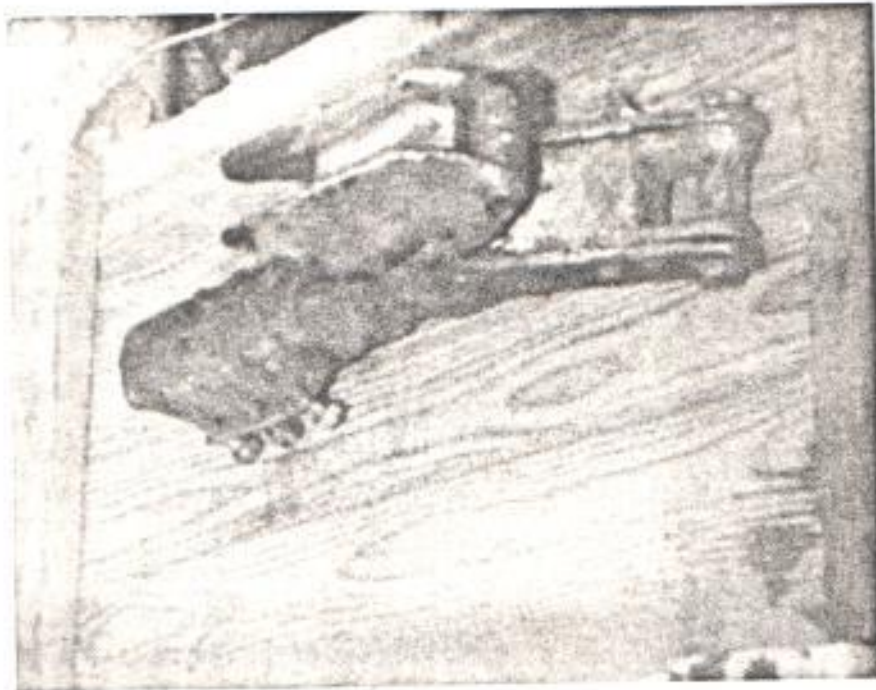


FIGURA No. 3.19. PANTOGRAFO

Figura N^o 3.19. La parte que hace contacto con el alambre es de carbón ubicado en la ranura, además está diseñado de tal forma que la canaleta siempre sigue la trayectoria del alambre; esto significa que el pantógrafo puede rotar hasta 90°

El trole en conjunto (vea la Figura N^o 3.17) puede moverse casi sin límite, tanto horizontalmente como verticalmente, dando la flexibilidad que caracteriza al trolebús frente a los otros sistemas de tracción eléctrica; la Figura N^o 3.17 describe los límites de

maniobrabilidad de un sistema sencillo.

En caso de que el trole se safe del alambre de contacto, se puede volver a su curso a través de un lazo portatrole que lleva el vehículo en la parte posterior enrollado en una polea.

El diseño del pantógrafo para el trolebús tiene una sola forma aunque el carbón puede cambiar de estructura en su composición dependiendo de la carga eléctrica o nivel de voltaje del circuito de contacto.

3.3.5 Transformadores.-

El vehículo eléctrico (trolebús) no requiere ningún transformador a bordo, puesto que no existe necesidad de transformación a parte de la unidad trabaja con corriente contfna obviamente es innecesario este equipo. El motor de tracción y los motores auxiliares que hay en el vehículo, son directamente alimentados con el nivel de voltaje que recolecta el pantógrafo y los controles que cumplen las diferentes funciones son alimentados por conjunto de baterías de 24 voltios.

3.3.6 Controles de tensión.-

En los vehículos con motor de tracción en serie alimentados con c.c., la tensión se regula y se corte por medio de tristores, por lo que la regulación de velocidad se hace sin pérdidas, pero en los trolebuses que estamos describiendo el control de velocidad y tensión se realiza por medio de contactores, vea la Figura N° 3.20.

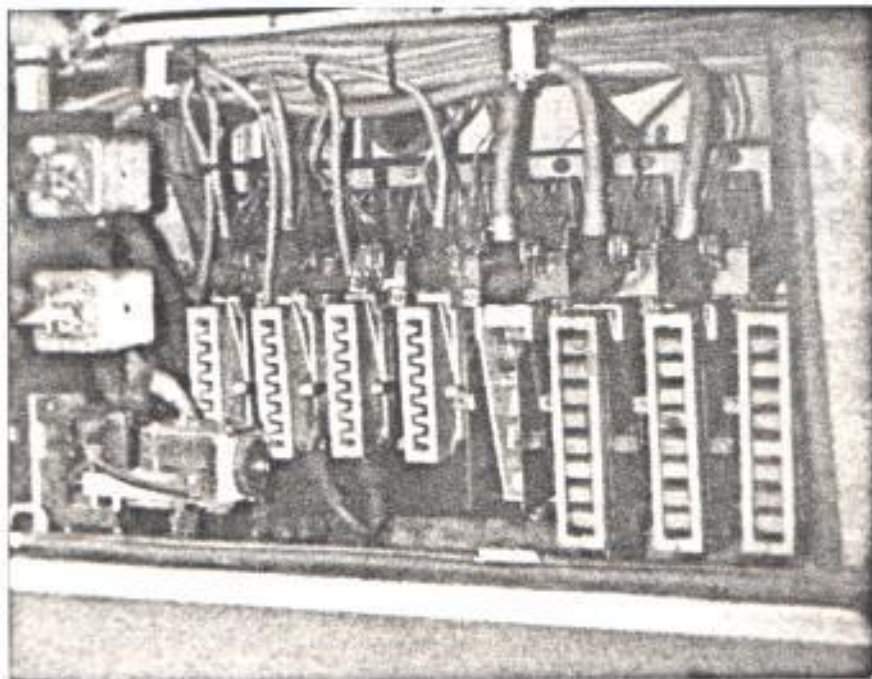


FIGURA No. 3.20. CONTACTORES PRINCIPALES DEL MOTOR DE TRACCION.

La regulación por contactores consiste en

desconectar sucesivamente una resistencia en serie, las mismas vienen en el vehículo como se muestra en la Figura N^o 3.21.

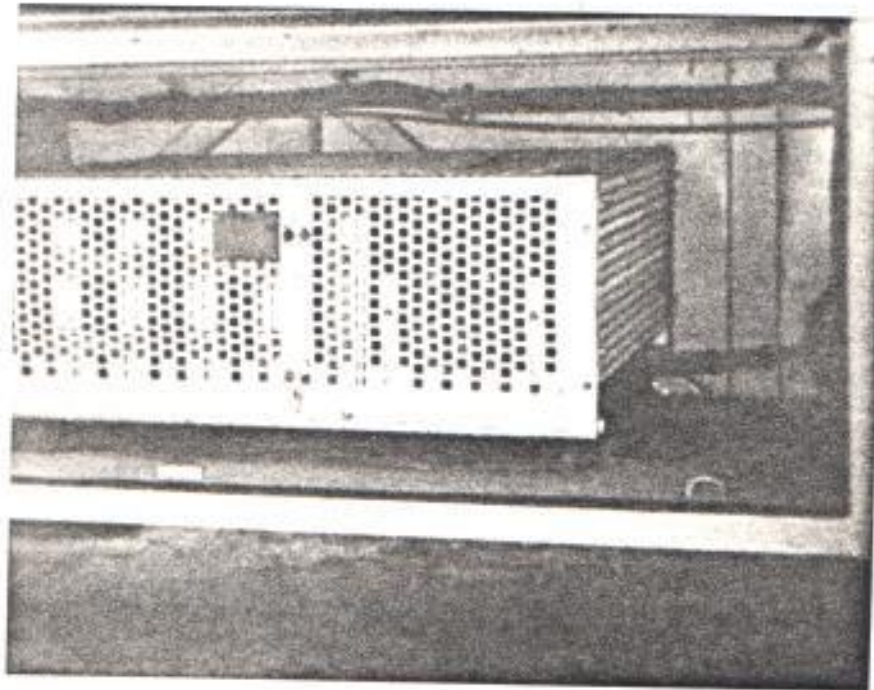


FIGURA No. 3.21. CAJA DE RESISTENCIAS DE REGULACION DE VELOCIDAD.

Las resistencias en la caja actúan como un reóstato común, accionado por el pedal de aceleración; con el que se consigue una regulación progresiva de velocidad que brinda comodidad a los pasajeros. La Figura N^o 3.22 ilustra un esquema de conexiones adoptado para el combinador de un motor, que limita el par motor en el arranque a un valor

de seguridad, la primera muesca de seguridad del combinador conecta el motor en serie con todas las resistencias en serie; en la segunda mantiene todas las resistencias en serie en el circuito y conecta el campo shunt, insertando una porción de la resistencia del circuito shunt. En el tercer paso, se reduce la resistencia serie, y en los pasos sucesivos el campo shunt es llevado al máximo, reduciendo la resistencia del shunt y al mismo tiempo que se disminuye gradualmente la resistencia serie.

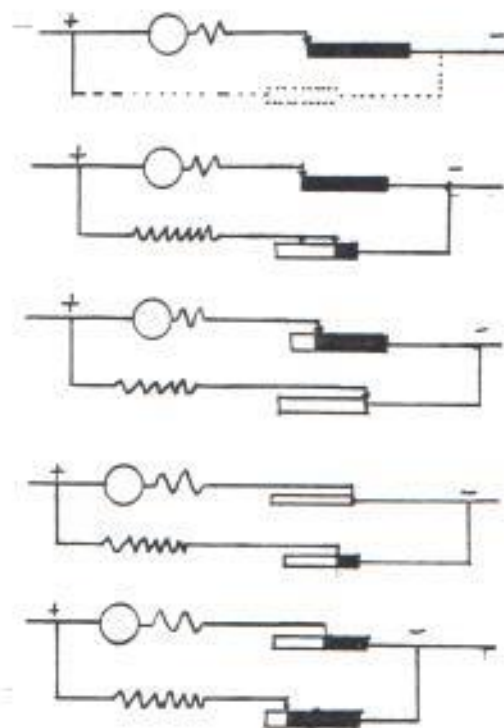


FIGURA No. 3.22. PASOS DE ARRANQUE DE UN MOTOR DE TRACCION

En el décimo paso, todas las resistencias quedan fuera; por lo tanto, la velocidad se regula variando la posición del pedal, con el cual el regulador se sitúa en el punto deseado, manteniendo la velocidad relativamente constante.

3.3.7 Rectificadoras de la locomotora.-

Obviamente la presencia de un rectificador se justifica donde existe energía de tipo alterna y se desea rectificar ésta, para cualquier uso en el vehículo, sin embargo en el trolebús no existe esa necesidad, más bien se utiliza un alternador accionado con corriente continua y que alimenta al banco de baterías, que cubre servicios auxiliares del trolebús.

Mencionaremos brevemente sobre rectificadores usados en locomotoras de ferrocarriles eléctricos alimentados con corriente alterna; generalmente, el rectificador de diodo está dividido en diversas unidades, una para cada motor y alojado en el armario de los aparatos. Por ejemplo en una locomotora de

tiristores, hay un convertidor común a toda la locomotora y está ubicada en las proximidades del transformador.

El rectificador de silicio y el convertidor de tiristores, están constituidos por diodos de silicio o tiristores conectados en serie y paralelo. En caso de que se use una unidad por cada motor de tracción, puede considerarse dicha unidad como perteneciente al grupo motor, siendo de este modo independiente del tamaño y de la alimentación de corriente.

Los diodos de silicio característico para este fin, poseen una corriente nominal media de 250 amperios, una corriente de punta de 500 amperios durante una media onda del rectificador y una punta máxima de inversión de 1.200 voltios (PIV). La caída de tensión en sentido directo está siempre comprendida entre 1 y 2 voltios/diodo a la corriente nominal.

Para la disposición de los diodos, los valores nominales conducen a un número teórico

de diodos montados en serie y en paralelo de acuerdo con el diseño del circuito. En cualquier disposición se debe tener en cuenta:

- La corriente de sobrecarga admisible que afecta al número de diodos en paralelo.
- Las posibles tensiones de choque que afecta al número de diodos en serie.
- La refrigeración, que determina la disposición del material del conjunto de rectificación.
- Los dispositivos de protección o de detección de fugas y los dispositivos indicadores de fallo de los diodos.

3.3.8 Grupo motor-generador para la locomotora.-

En la Figura N° 3.24 se ilustra un diagrama elemental del grupo motor -generador de un vehículo eléctrico (trolebús) que en otras palabras significa equipo de emergencia de energía eléctrica que suple al motor de trac

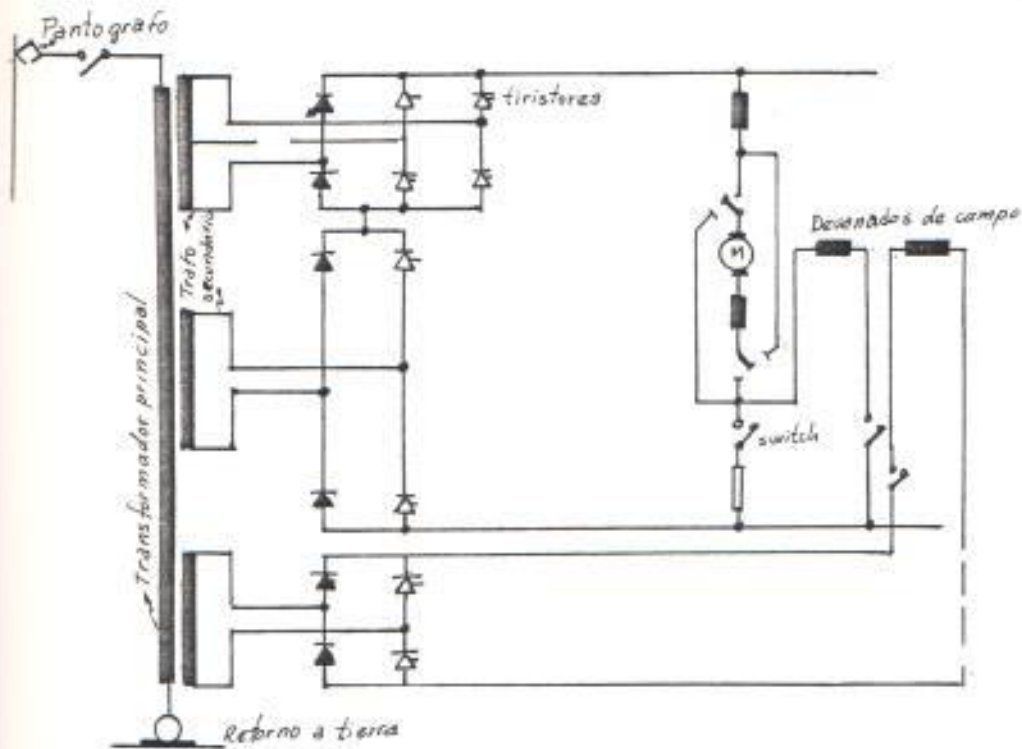


FIGURA No. 3.23. RECTIFICADOR EN LOCOMOTORAS DE CONTROL DE ARRANQUE.

ción en situaciones en las que el vehículo está obligado a separarse de la ruta electrificada, ya sea por falta de energía en la red o daños tanto en la red como en el camino.

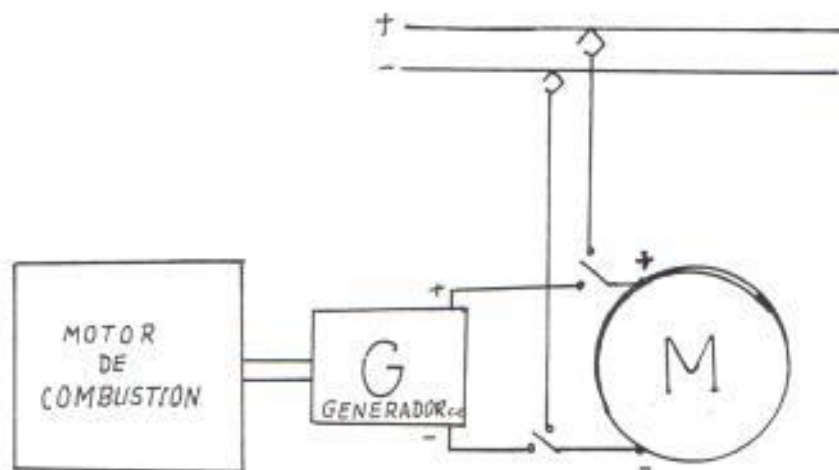


FIGURA No. 3.24 DIAGRAMA ELEMENTAL GRUPO MOTOR-GENERADOR

El grupo de emergencia está constituida por un motor de combustión interna, el mismo que transmite movimiento y en consecuencia energía mecánica al eje del generador de c. c., este último por efecto del movimiento giratorio del rotor, genera electricidad que posteriormente será absorbida por el motor de tracción del trolebús. La tensión de generación eléctrica es similar al de la línea aérea de contacto, pero la corriente es limitada, razón por lo que la velocidad del vehículo es relativamente más bajo que en condiciones normales de alimentación.

Por otra parte debemos señalar que no todos los trolebuses son accionados por el equipo motor-generador en casos de emergencia, sino que utilizan un banco de baterías, cuya desventaja de estos es notable frente al primero por tener un tiempo muy limitado de servicio y velocidad aún más baja que en el anterior.

En la Figura Nº 3.25 se ilustra dos modelos de vehículos con su respectivo equipo de energía auxiliar y su adecuada ubicación en el trolebús.

3.4 EQUIPOS AUXILIARES.-

Denominaremos equipos auxiliares, a todos los equipos restantes que están instalados a bordo del vehículo; los cuales cumplen una acción en particular permitiendo así el funcionamiento adecuado, tanto del motor de tracción (o de carga), motores auxiliares y la regulación de la unidad en sí.

A fin de dar una mejor visión de la ubicación de éstos, presentamos a continuación una figura en la que participan la mayor parte de los equipos incluyendo los principales: Por comodidad solo se esquematiza dos de los modelos de trolebús mencionados, que son los más adecuados para nuestro medio.

En la Figura N^o 3.25, la numeración corresponde a:

1. Motor de tracción a c.c. (600 voltios)
2. Chopper
3. Retardador
4. Unidad de frenado dinámico (caja de resistencia) ubicado en el techo.
5. Unidad de interrupción de 600 voltios
6. Panel de control de 24 voltios

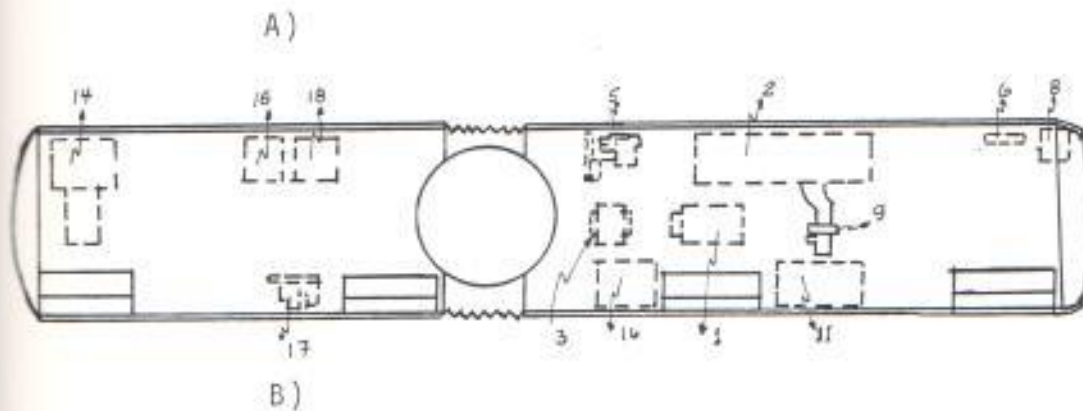
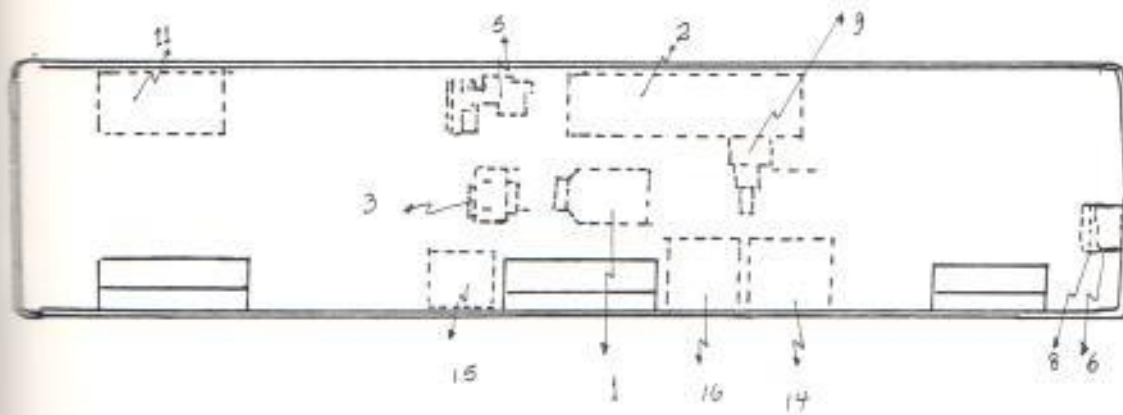


FIGURA No. 3.25. DISPOSICION DE EQUIPOS A BORDE DEL TROLEBUS:

- A) MODELO SENCILLO; Y
B) MODELO ARTICULADO

7. Unidad de control eléctrico
8. Ventilador para el chopper
9. Motores auxiliares para accionar el compresor y el alternador.
10. Unidad de potencia de emergencia (termoeléctrica).

11. Tanque de combustible
12. Batería de almacenamiento
13. Unidad de protección
14. Controles para la unidad de emergencia

PANEL DE CONTROL Y MANDO:

El panel de control (o mando) del trolebús, consiste esencialmente de una serie de botones, switches, manivelas y otros dispositivos que controlan los diferentes equipos que contiene el vehículo. La persona que conduce un trolebús, vé este trabajo mucho más sencillo que operar una unidad a combustión interna puesto que este último demanda mayor esfuerzo, sobre todo en lo que respecta a la sincronización de velocidades (caja de cambios); en tanto que un trolebús no tiene este dispositivo y lo único que hace el operador es pisar el pedal si desea regular la velocidad del vehículo y este por acción de un circuito interno acciona una serie de contractores que permiten el paso de la corriente hacia el motor de tracción, regulando automáticamente la velocidad.

En el siguiente gráfico se puede observar los diferentes dispositivos de control que acciona el conductor del trolebús con diferentes fines.

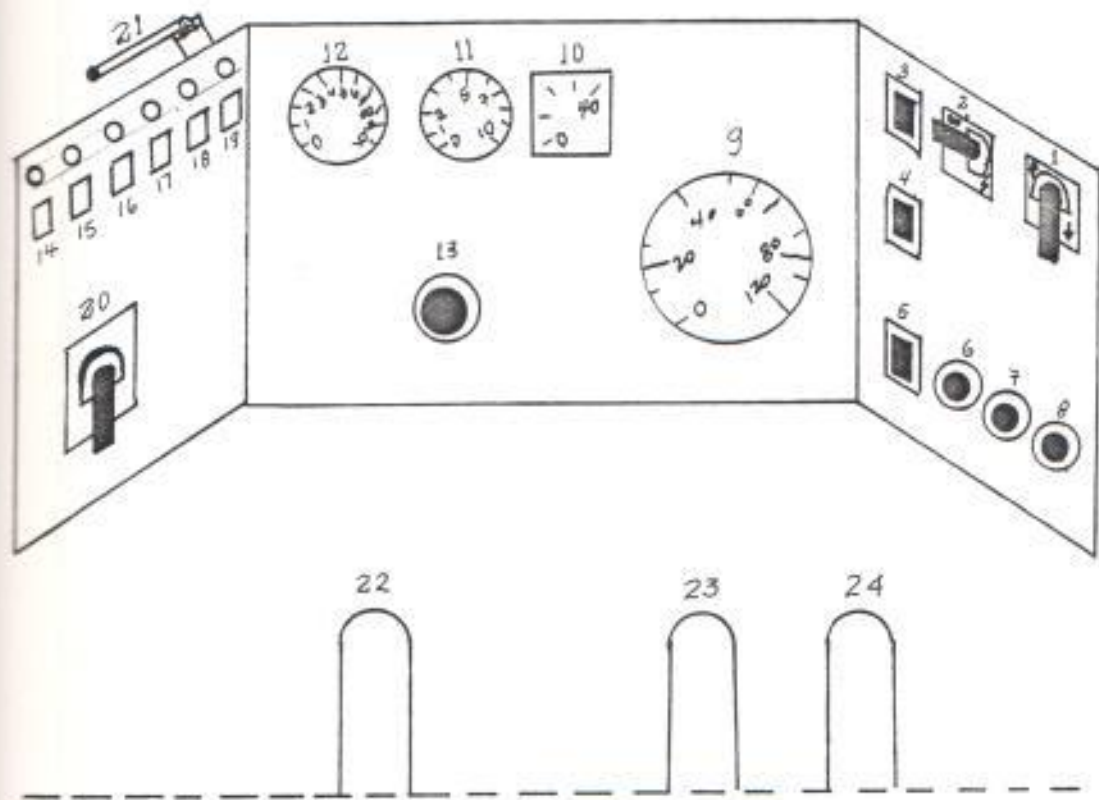


FIGURA No. 3.26. DISPOSITIVOS DE MANDO DEL VEHICULO

El esquema de la Figura N° 3.26 completa el propósito de mejorar la vista del panel de control que no se logra simplemente con las fotografías mostradas en las Figuras N° 3.27.



FIGURA No. 3.27. PANEL DE CONTROL

La numeración que se ha adoptado en el esquema es totalmente arbitrario en donde cada elemento cumple la siguiente función:

- 1 = Selector de marcha, con el que el conductor selecciona libremente la marcha ya sea adelante o atrás.

- 2 = Selector de energía; mientras el vehículo está operando con energía absorbida de la línea de contacto a través del trole, no existe necesidad de mover este dispositivo sino que solamente en caso de emergencia, cuando por motivo de fuerza mayor debe tomar una ruta que no tiene electrificación o en caso de falta de energía en la línea.

- 3, 4 y 5 = Son interruptores que conectan al vehículo para el encendido; el vehículo tiene una memoria electrónica que al accionar los interruptores antes mencionados deja lista para que arranque el motor de tracción. Por lo tanto, siempre que se desee mover el carro deberá tener especial atención de que estos tres botones estén aplastados.

- 6, 7 y 8 = Son switches que permiten controlar las puertas plegales delantera, central y trasera respectivamente. El control de las puertas se realiza por un dispositivo electro-neumático cuyo aparato puede verse en la Figura N^o 3.7.
- 9 = Es un velocímetro común y corriente que está diseñado para representar velocidades que van desde 0 a 120 Km/h. El principio de funcionamiento de este aparato es similar a los velocímetros que usan los vehículos a combustión interna.
- 10 = Es un voltímetro común y corriente que censa la corriente generada por el alternador; en una escala de 0-40 amperios.
- 11 y 12 = Son manómetros que miden la presión producida por el compresor de aire y la presión existente en el tanque que alimenta el freno de aire; a propósito, en la Figura N^o. 3.28 se muestra el grupo de tanques, las mismas están ubicadas bajo el piso del trolebús y a un costado.

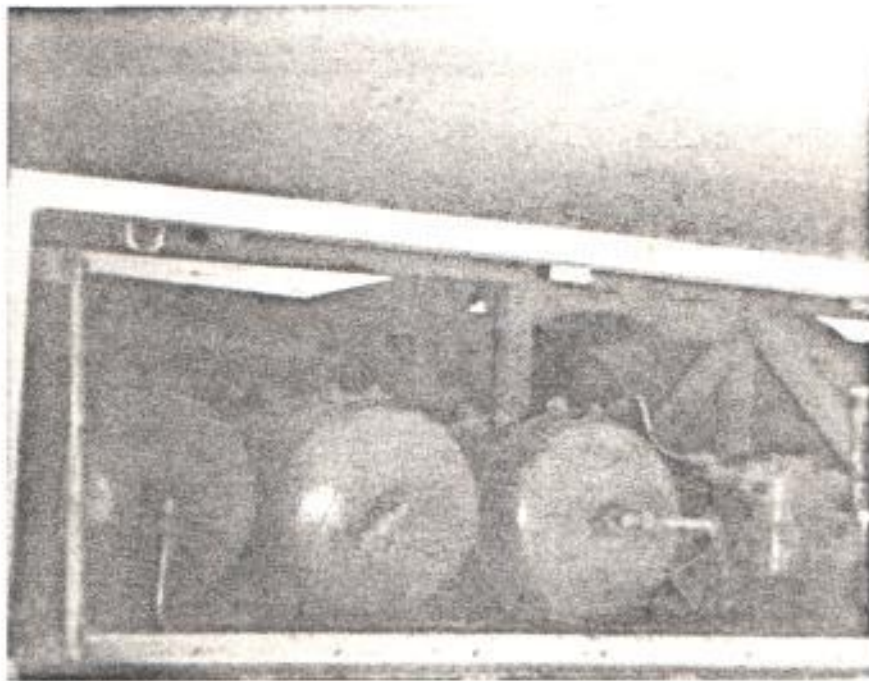


FIGURA No. 3.28. GRUPO DE TANQUES DE COMPRESION

- 13 = Es un switch que controla las luces estacionarias.
- 14, 15 Son switches que controlan las luces del salón.
- 16 = lón.
- 17 = Es un switch que controla las luces de intensidad.
- 18 = Es un switch que controla el encendido del compresor de aire.
- 19 = Es switch que indica la desconexión del tro

le de la línea de contacto; además cuando sucede esto, paralelamente suena una alarma que con este switch se detiene el sonido.

- 20 = Selector de ambiente, es decir conecta la calefacción o bien acciona el ventilador.
- 21 = Es una manivela que sirve de freno de emergencia o más comúnmente llamado freno de mano.
- 22 = Es un pedal del freno de aire
- 23 = Es un pedal de frenado dinámico; algunos vehículos llevan un solo pedal para accionar ambos tipos de frenado.
- 24 = Es el pedal de aceleración, la misma que acciona un grupo de contactores que según la fuerza que se ejerza sobre ellos abren o cierran el paso de la corriente hacia el motor de tracción, creemos importante mostrarles una fotografía del grupo de contactores, cuyas bobinas funcionan con 24 voltios y ellos están equipados con extinguidores de arco; vea la Figura N^o. 3.20.

Finalmente el conductor puede accionar dos manivelas más, que están ubicadas en el timón de mando, donde uno de ellos acciona el motor eléctrico que funciona con 24 voltios y mueve los brazos del limpia parabrisa; en tanto que el otro sirve para cam
biar las luces de alta a baja o v
iciversa y en otra posición controla las direccionales.

El trolebús al igual que cualquier vehículo común posee un timón de mando o volante cuyo rango de v
iraje de las llantas ya explicamos anteriormente.

A fin de simplificar el trabajo, a continuación s
o ennumeraremos los equipos eléctricos auxiliares restantes. El equipo eléctrico del trolebús se s
ub
divide en dos circuitos de corriente continua:

De alto voltaje para una tensión de 600 v.

De bajo voltaje para una tensión de 24 V.

Entre el equipo de alto voltaje tenemos p
rimera
m
ente el electromotor de tracción, hecho con aislamiento de s
ilicona con prevalencia de excitación en serie y va dispuesto en el bogie debajo del p
iso del trolebús; electromotor auxiliar que acciona el a
lternador para la carga de la b
atería; y f
inal

mente un electromotor que acciona al compresor de aire; estos dos últimos se ilustran en la Figura N° 3.29.

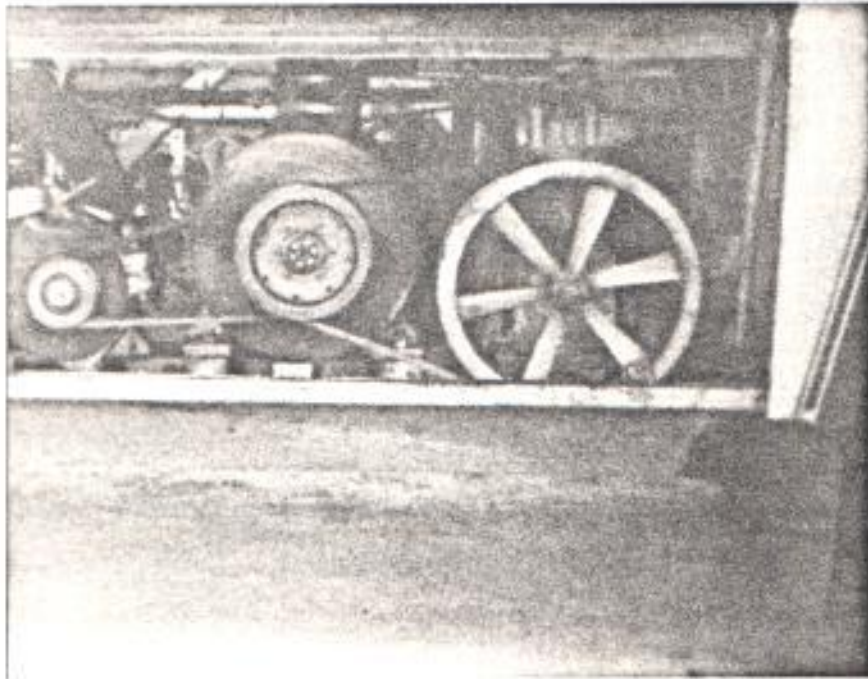


FIGURA No. 3.29. DISPOSICION DE LOS MOTORES AUXILIARES

Además a este nivel de voltaje funcionan: El interruptor automático, Panel de contactores, Resistencias de arranque, Resistencias de derivación, Interruptor de energía, Combinador reostático, Combinador de mando y la Resistencia.

El equipo de bajo voltaje, está alimentado por una

batería de acumuladores alcalina de 40 amperios.

Entre los equipos que pertenecen a este nivel de voltaje, tenemos: Motor de bomba hidráulica de la servodirección; grupo regulador o relé, similar al de los autobuses; mando de la puerta, para el que posee un motor modificado según el esquema bifilar con excitación en serie en lugar de paralelo; limpia parabrisas de un cepillo de dos velocidades, derecho e izquierdo. Finalmente, el circuito de 24 voltios, alimenta el alumbrado del salón de pasajeros, cabina del conductor y luces externas (faros, direccionales, etc.).

3.5 COMPONENTES MECANICOS.-

La mayor parte de los componentes mecánicos existentes en el trolebús hemos ido detallando en los diferentes acápite del presente capítulo, tal es el caso de la transmisión, carrocería, etc.

3.5.1 Bogies o chasis.-

El bogie es el componente mecánico más importante del vehículo, su construcción in-

fluye muchísimo en las cualidades de rodadura del mismo en la calzada. Los bogies de los trolebuses están provistos de amortiguadores hidráulicos.

La posición del motor de tracción eléctrico define el modelo del bogie, por ejemplo el trolebús tiene el motor montado longitudinalmente, como se ilustra en la Figura N° 3.30, permitiendo al motor operar con los ejes a través de un reductor sin fin vía cardán, en otros vehículos el eje del motor está directamente conectado al hueco del engranaje; en este caso la tracción del vehículo estará solamente en uno de los ejes.

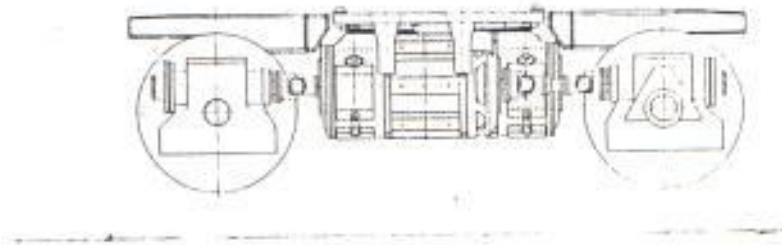


FIGURA No. 3.30. INSTALACION LONGITUDINAL DEL MOTOR EN EL BOGIE.

Ambos tipos de conexión permiten realmente elevadas relaciones de transmisión con la ventaja de que sus dimensiones son pequeñas y los motores resultan económicos en el logro de velocidades más altas; montar el motor longitudinalmente equivale a ahorrar un motor comparado con un montaje transversal, en donde es necesario el uso de dos motores de la misma capacidad para dar transmisión en ambos ejes del vehículo (atrás y adelante), en el siguiente gráfico podemos observar la disposición transversal de los motores usados en los ferrocarriles.

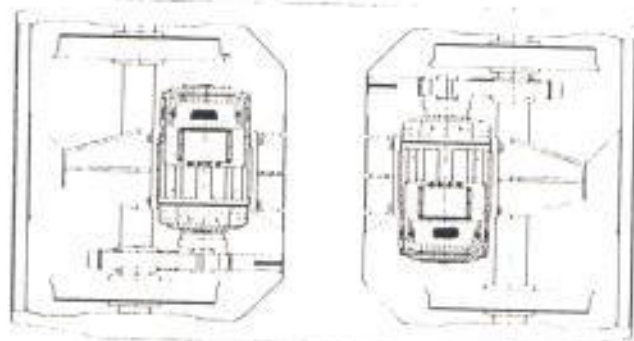


FIGURA No. 3.31. INSTALACION TRANSVERSAL DE LOS MOTORES EN EL BOGIE.

La consistencia y dimensiones del bogie, depende de las dimensiones externas del motor, porque el material empleado en su construc-

ción debe estar en capacidad de contrarrestar las fuerzas de empuje del motor de tracción; y sus dimensiones, adecuadas para conectarse con las bases del motor y permitir la libre operación de las partes móviles del vehículo.

Las dimensiones externas del motor que deben ser conocidas por los fabricantes de los bogies según la Figura N^o 3.32 son:

- a, b, c = dimensiones para conectar el eje con el hueco del grupo de reducción (engranaje).
- d = longitud de la carcasa (variable)
- e = altura del motor
- f = ancho del motor
- g = longitud total del motor que variable dependiendo de la longitud de la carcasa y del conmutador.
- KS = ventana del conmutador
- VS = ventana del ventilador

3.5.2 Frenos y dirección (mecánicos).-

Todos los trolebuses antiguos disponían de

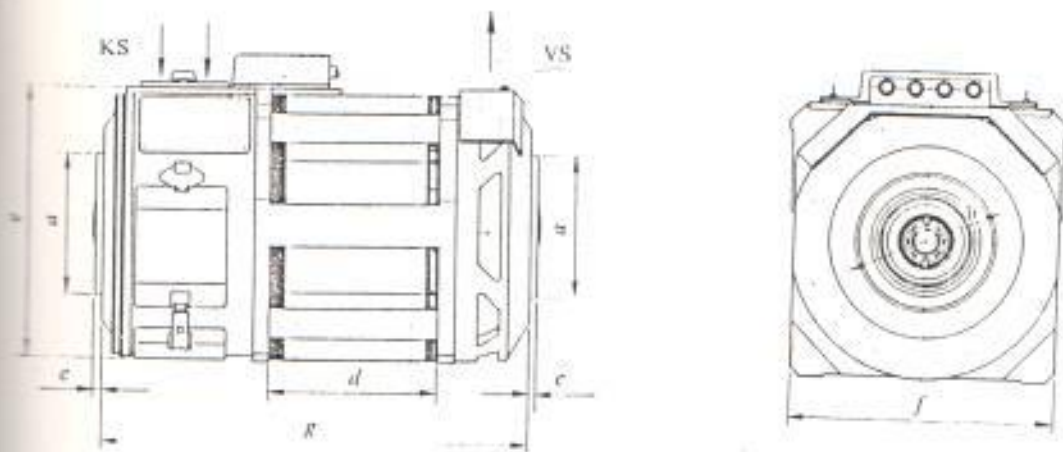


FIGURA No. 3.32. DIMENSIONES EXTERNAS DEL MOTOR DE TRACCION

frenos por aire de un tipo algo parecido a los usados en los tranvías. Con los adelantos alcanzados en el frenado eléctrico fue considerado adaptable el trolebús. La corriente generada por los motores cuando se desconectan de la línea y se cortocircuitan a través de resistencias adecuadas origina un potente esfuerzo de frenado, el cual se halla bajo el gobierno del conductor. Las conexiones difieren algo según sea el motor con devanado; serie o "compound"; pero en cualquier sistema el esfuerzo de retención puede ser tan elevado como se desee, y puede regularse hasta este límite, el freno de aire o neumático pueden usarse para completar la parada desde una velocidad reducida, en cuya marcha el freno eléctrico es muy débil.

Para el frenado eléctrico existe una caja de resistencias en los cuales se insertan resistencias en serie con el circuito motor, y el campo shunt se incrementa, por lo cual el inducido genera una corriente al marchar el vehículo por su propia energía cinética acumulada. Tan pronto como la velocidad disminuye, se aumenta la intensidad del campo shunt, hasta que toda la resistencia queda fuera del circuito. Después, cuando la velocidad viene a ser muy pequeña, para detener el vehículo se recurre al frenado neumático.

El freno neumático es de dos sistemas de acción independiente sobre las ruedas, tanto en el eje delantero como en el puente trasero. El diámetro de los tambores de freno para un trolebús sencillo es:

Delantero	420 mm
Traseros	420 mm
Anchura del forro delantero del freno.	140 mm
Anchura del forro trasero del freno	180 mm
Superficie de los forros delanteros del freno.	2250 cm ²

Superficie de los forros traseros del freno.	2900 cm ²
Esfuerzo máximo en el pedal de freno, no mas de.	40 Kgf

El freno de parada manual de zapata tiene acción solamente sobre las ruedas traseras y asegura el estacionamiento del trolebús, tiene acción inclusive cuando el vehículo está parqueado en un declive de hasta 15°

El compresor del freno neumático es de tipo émbolo con dos cilindros monoetápicas, el bloque con el electromotor se muestra en la Figura N°. 3.29.

3.5.3 Amortiguadores.-

En diversos tópicos de esta tesis, hemos mencionado e ilustrado que el trolebús es un vehículo similar a un autobús convencional con motor de combustión interna, en lo que respecta a las partes mecánicas; por lo tanto, la suspensión (amortiguadores), chasis, frenos mecánicos, etc., no constituye ninguna novedad.

Entrar en detalles, como el principio de funcionamiento, dimensiones y otros; es en realidad trabajo del ingeniero mecánico; por lo tanto en el presente trabajo respecto a este tema nos limitaremos a indicar que el amortiguador es un componente mecánico del vehículo, que como su nombre indica, amortigua las vibraciones verticales, producto de desnivel de la calzada por donde transita el vehículo que se produce entre las ruedas y la carrocería.

Los amortiguadores que utilizan los trolebuses son hidráulicos, la siguiente figura nos ayuda a ilustrar mejor la idea y la respectiva ubicación de éstos en el vehículo.

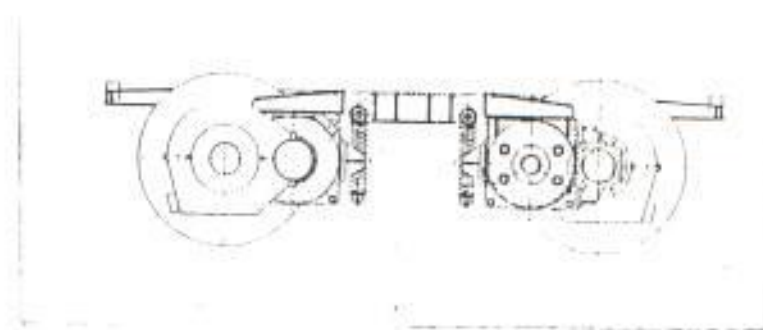


FIGURA No. 3.33. EQUIPO DE SUSPENSION DE LOS VEHICULOS DE TRACCION ELECTRICA.

Entrar en detalles, como el principio de funcionamiento, dimensiones y otros; es en realidad trabajo del ingeniero mecánico; por lo tanto en el presente trabajo respecto a este tema nos limitaremos a indicar que el amortiguador es un componente mecánico del vehículo, que como su nombre indica, amortigua las vibraciones verticales, producto de desnivel de la calzada por donde transita el vehículo que se produce entre las ruedas y la carrocería.

Los amortiguadores que utilizan los trolebuses son hidráulicos, la siguiente figura nos ayuda a ilustrar mejor la idea y la respectiva ubicación de éstos en el vehículo.

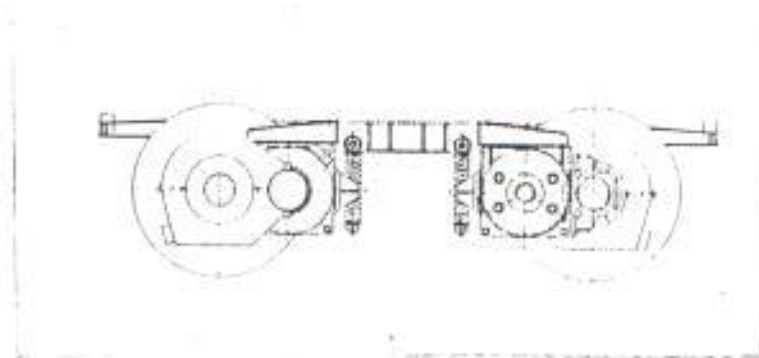


FIGURA No. 3.33. EQUIPO DE SUSPENSION DE LOS VEHICULOS DE TRACCION ELECTRICA.

3.6 CIRCUITOS DE CONTROL.-

El circuito de control de estos vehículos es tremendamente complejo, tal es así, para que la máquina entre en funcionamiento, existe una memoria electrónica con centenares de elementos, por otro lado si observamos la Figura N° 3.34 donde la cantidad de breakers, fusibles y relés reflejan la complejidad del sistema, por esta razón en esta sección nos limitamos a explicar ligeramente el control de la máquina durante el arranque y el frenado.

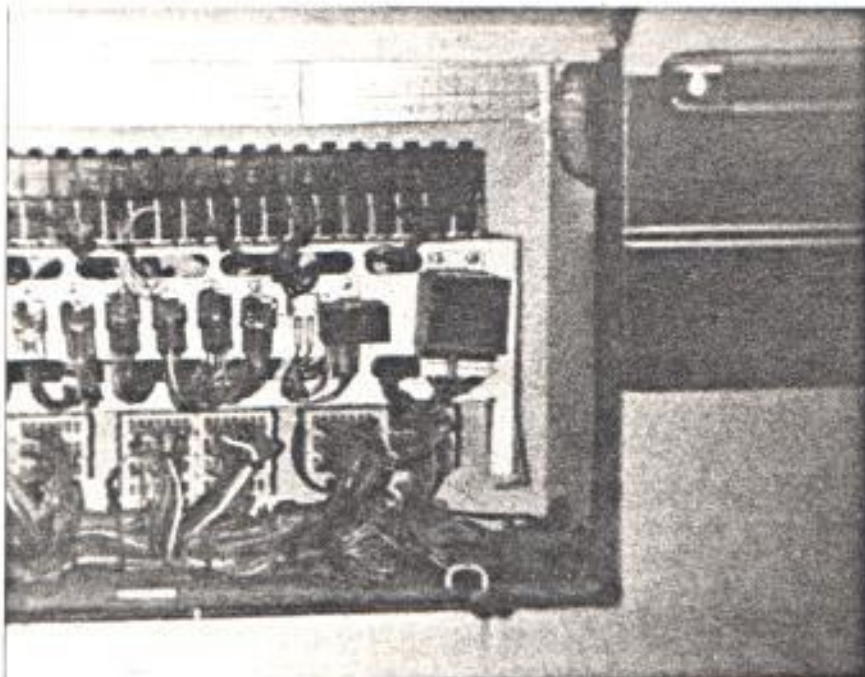


FIGURA No. 3.34. CAJA DE FUSIBLES DEL TROBELUS

En el instante en que el motor arranca, la f.c.e.m., es nulo, porque el inducido no está girando, esto implica la necesidad de intercalar alguna resistencia exterior en serie con la reducida resistencia del bobinado del inducido para compensar la falta de f.c.e.m., y evitar que alcance valores excesivos, la intensidad de corriente del inducido.

Cuando el motor vá acelerando, esa resitencia se vá eliminando gradualmente hasta cero, momento en que el inducido queda directamente a la línea de contacto y el vehículo marcha con su máxima velocidad.

Otra función importante del circuito, es la de con seguir que el motor se detenga rápidamente; para es to el vehículo posee tres tipos de frenado:

- Freno de mano o mecánico
- Freno de aire
- Frenado eléctrico (dinámico)

Los dos tipos de frenado mecánico no es de nuestra incumbencia, sin embargo observe la sección 3.5.2. En tanto que el frenado dinámico consiste en lograr que el motor actúe como generador; es decir, si las

bornas de conexión del inducido se desconectan de la red de contacto, se trasladan inmediatamente a la resistencia, de modo que la f.c.e.m., antagonista invierte el sentido de la corriente en el inducido, tratando de invertir el giro del motor, este proceso se ilustra en la Figura N^o 3.35.

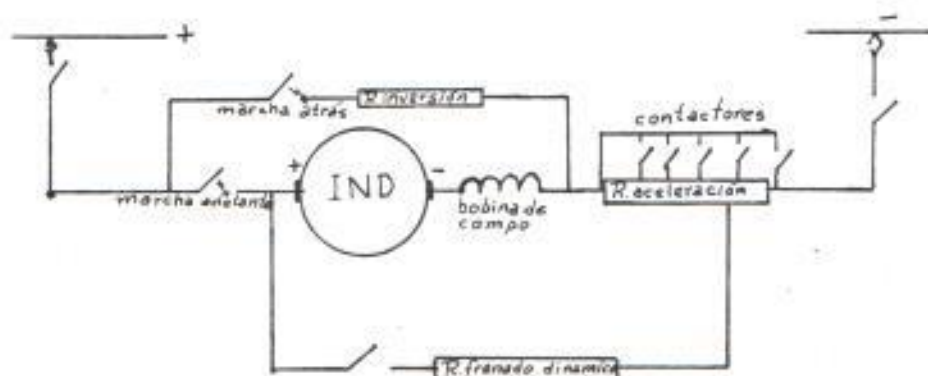


FIGURA N^o. 3.35. CONTROL DE ACELERACION Y FRENADO DEL MOTOR DE TRACCION.

Quizá sea oportuno aclarar que la f.c.e.m., es una tensión generada que resulta de la rotación del inducido, la cuál a su vez depende de la energía mecánica almacenada en el conjunto giratorio. Por consiguiente el vehículo va reduciendo su velocidad al ser solicitado a girar en sentido contrario, pero como el vehículo logra detenerse, no queda ninguna energía mecánica y no se produce la inversión.

La rapidez de la parada depende de la velocidad de conversión de energía, lo cual a su vez viene determinado por el valor de la resistencia.

3.7 FUENTES DE ALIMENTACION.-

La alimentación de potencia del trolebús es de dos tipos, interno (emergencia) y externo (línea de contacto).

En el primer caso la unidad de emergencia genera energía eléctrica a 600 voltios d.c., a base de un motor de combustión interna, a veces otras unidades en vez de generadores llevan banco de baterías a bordo del vehículo.

La alimentación normal del vehículo consiste en recolectar energía de red de contacto a través del trole a 600 voltios d.c., sin embargo las fuentes de energía para alimentar la red de contacto, proviene de una variada gama de fuentes como ser: petróleo o carbón quemado en plantas de poder termal, combustible nuclear en otros países y generación hidroeléctrica especialmente en el Ecuador. Mayores detalles de las fuentes de energía se explica en la sección 5.3.

CAPITULO IV

ELEMENTOS DEL SISTEMA ELECTRICO PARA TRANSPORTE

4.1 INTRODUCCION.-

En la electrificación del sistema que alimente un propósito especial como es el transporte de pasajeros urbanos, tiene ciertas características particulares, comparados con el sistema de distribución comercial en c.a. a 60 hertz. En el caso de transportes, se tiene doble circuito una de ellas denominado circuito de alimentación y el otro circuito de contacto; ambas redes están emplazadas generalmente en un mismo poste, con muy pocas excepciones; sin embargo, ambas redes tienen un mismo potencial y dos polos (positivo y negativo). La diferencia entre el circuito de alimentación y circuito de contacto es:

La red de alimentación tiene la capacidad de conducir la carga para alimentar todos los segmentos del circuito de contacto, por lo tanto, el primero tiene un conductor muchísimo más grueso que el circuito de contacto.

El circuito de contacto, está construido a base de un conductor de cobre de características especiales y tiene la capacidad de conducir la carga para los vehículos que en un determinado sector estén rodando.

Habiendo descrito de manera muy superficial esta nueva red, resulta sencillo diferenciar de una red común que se conoce en nuestro medio; por lo general, estas redes de distribución en c.a., están constituidas por tres conductores aéreos o subterráneos, sin embargo nuestro sistema nuevo en c.c., tiene dos conductores donde la red de alimentación no tiene mayor peculiaridad en cuanto a elementos se refiere; en tanto que el circuito de contacto necesita algunos elementos especiales para este propósito, sobre todo en puntos de bifurcación o puntos de cruce, donde se emplea aparatos especiales que se detallan en el presente capítulo.

De manera general los elementos necesarios para la electrificación de un sistema en corriente continua, son los mismos que se emplea en todo sistema eléctrico, con las consideraciones especiales que cada caso requiere, según el nivel de voltaje y la intensidad de carga del sistema.

4.2 CLASES DE ELECTRIFICACION.-

Cuando se usa una unidad con suministro externo, aparece una variedad de sistemas a ser evaluadas. La fuente inicial de suministro para una larga proporción de servicios de tracción es el sistema de corriente alterna trifásico, la misma que se utiliza en la industria, comercio, servicio doméstico, etc. De este sistema derivan el sistema monofásico y el sistema de corriente continuo, éste último se consigue al rectificar la c.a., las mismas sirven de suministro de potencia a las unidades de tracción a c.c. ó c.a., dependiendo del tipo de motor que tenga el vehículo. Una vez fijado el sistema, se puede distribuir ya sea aérea o subterránea para alimentar dichas unidades de tracción.

La electrificación aérea consiste en la distribución de energía a través de conductores que van a la interperie y una determinada altura con respecto al suelo; este propósito se consigue utilizando estructuras o medios de soporte.

Aquí podemos clasificar nuevamente los sistemas de suministro aéreo en sistemas de c.a. y sistemas de c.c.

Los sistemas de c.a. pueden ser monofásicos o trifásicos donde este último sistema ya no está vigente para la alimentación de sistemas de transporte de pasajeros por ser costoso e impráctico, más bien se ha destinado en la actualidad hacia la industria y muy poco en los sistemas de transporte rápido subterráneo. En tanto que el sistema monofásico se está imponiendo en los modernos sistemas de transporte eléctrico, como ser el transporte ligero (ferrocarril eléctrico). El sistema monofásico de c.a., lleva una sola línea aérea por esta razón se denomina sistema de un hilo.

4.2.1 Sistema de un hilo.-

Cuando se usa este sistema, el trole recolecta la corriente, por contacto del pantógrafo como el conductor de retorno en caso de transporte sobre rieles; en tanto que para el trolébus se necesita otro conductor para dicho efecto, este conductor también es aéreo y está montado a una distancia apropiada con respecto a la línea positiva.

Con el sistema de un hilo están electrificados miles de kilómetros alrededor del mundo,

sin embargo el voltaje y la frecuencia de la línea varía según el lugar; tal como es el caso: En los EE.UU., han adoptado electrificar a 11.000 voltios y 25 Hz, en tanto que los europeos, para la misma tensión prefieren usar 15 o 16 $\frac{2}{3}$ Hz.

También existen líneas electrificadas a 50 Hz., en cuyo caso la tensión del trole oscila entre 6.600 y 25.000 voltios. Cuando se utiliza el sistema de un hilo, los medios de propulsión normalmente poseen convertidores, rectificadores o motores monofásicos de excitación en serie⁽¹⁾.

La tendencia en futuras electrificaciones, es utilizar una red de 25.000 voltios y frecuencias comerciales de 50 o 60 Hz. El sistema de contacto monofásico con sus interruptores de potencia, resulta de poco peso y tiene un costo de instalación más reducido que cualquier otro sistema haya logrado.

(1) Refiérase a la sección 3.2.2

La electrificación con el sistema de un hilo es posible únicamente en ferrocarriles, puesto que el retorno puede hacerse a través de rieles, en cambio un trolebús tiene un aislamiento entre su masa y la tierra a través de sus llantas, por ello necesita un conductor adicional, entonces no se puede electrificar con este sistema.

En el sistema de un hilo simple regularizado, el hilo de contacto es sostenido directamente de los sopsortes; allí se utiliza una suspensión flexible de unos a 10 metros como se ilustra en la Figura N° 4.1, con ello se consigue flexibilidad constante a lo largo de toda la línea. Por medio de equipos tensores se regulariza la tensión mecánica del hilo de contacto para mantenerla constante.

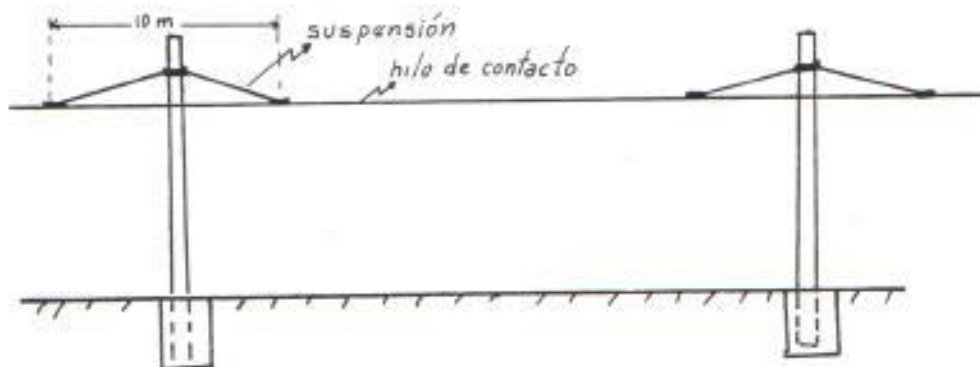


FIGURA No. 4.1. LINEA AEREA EN EL SISTEMA DE UN SOLO HILO.

En vista de la disminución en los costos de construcción de este tipo de línea y de su satisfactorio comportamiento para velocidades medianas, las compañías de ferrocarril eléctrico, lo han adoptado más que los otros sistemas que mencionaremos posteriormente.

El sistema de un hilo normalmente se usa para alimentar las locomotoras descritas en el Capítulo III.

La instalación del sistema monofásico de un hilo es el más sencillo que cualquier otro sistema conocido, puesto que el diseño de su catenaria es muy simple, además requiere una sección muy reducida de cobre; sin embargo la mayor desventaja de este sistema radica en el diseño del motor de tracción, puesto que requiere una frecuencia baja de alimentación a fin de reducir la FEM de retorno cuyo efecto es negativo, especialmente cuando la unidad está parada o bien deslizándose a baja velocidad.

El hecho de que se debe alimentar a una baja frecuencia, implica la utilización de

convertidores rotativos de frecuencia en cada subestación o generar energía a baja frecuencia, aumentando finalmente su costo.

4.2.2 Sistema de dos hilos.-

Este sistema es parte de la distribución trifásica de c.a. En este caso utiliza dos hilos de contacto aéreos en cada línea, conectándose la tercera rama del circuito trifásico al carril con un potencial cero (tierra) (ver Figura N° 4.2).

Este sistema han utilizado e implementado aquellos quienes pensaron que el motor de tracción más robusto permite obtener un elevado torque de arranque, por supuesto han elegido el motor trifásico de rotor devanado, a fin de esto les permita la inserción de resistencia durante el arranque y no así el motor jaula de ardilla puesto que esto no permite realizar la inserción. Además, con este sistema (MIJA) en servicio puede ser obtenido solamente 2 o 3 velocidades económicas. Aunque si se acoplara un convertidor de frecuencia rotativa se podría obte-

ner un amplio rango de velocidades, pero en la práctica resulta una solución incómoda y es otra de las razones por lo que este sistema se ha limitado para el uso en las industrias.

Este sistema de dos hilos, implica el uso de dos catenarias; esto obviamente complica la instalación, operación, aislamiento, reducción de voltaje, etc. A esto se suma la necesidad de usar dos pantógrafos, uno por cada unidad de tracción haciendo de esta manera más costosa esta disposición o sistema.

Aunque la disposición de tres hilos han desaparecido casi completamente de la utilidad en el transporte de pasajeros, se han realizado algún esfuerzo en aplicar un tercer riel conductor trifásico trifilar para la alimentación de potencia en las líneas de tránsito rápido.

En vista de los elevados costos de (instalación) mantenimiento y la relación de incidentes de estas locomotoras con motores trifásicos y fuentes variables de frecuencias, este

tipo de electrificación ha sido ya abandonado casi por completo.

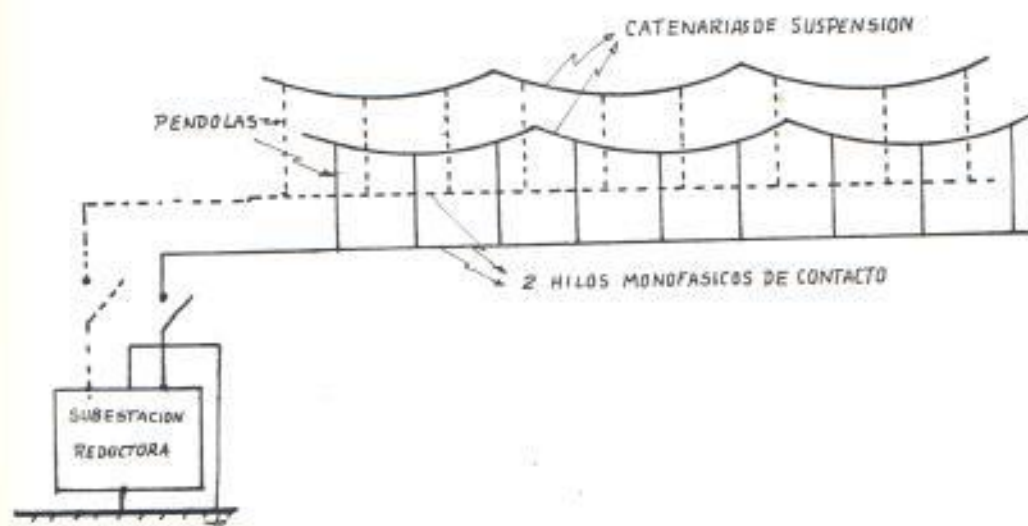


FIGURA No. 4.2 SISTEMA DE DOS HILOS

Entre los sistemas de electrificación aérea, previamente expuestas podemos añadir el sistema de alimentación con corriente continua.

SISTEMA DE DISTRIBUCION CON CORRIENTE CONTINUA:

La distribución en este sistema se realiza a tensiones nominales que van desde 600, 1200, 1500, 2400, hasta 3000 voltios, donde las tensiones más elevadas normalmente van por hilos aéreos y se utilizan en la electrificación de ferrocarriles.

En este sistema al igual que la red monofásica de c.a., el pantógrafo hace contacto con el conductor aéreo de cobre y el retorno o negativo se conecta al carril de rodadura, si se trata de ferrocarril; en tanto que para el trolebús se tiende otra línea similar al primero.

Obviamente cuanto mayor sea la tensión, menor será la sección del cobre necesario en los circuitos de distribución; sin embargo permanecen constante las demás variables relacionados con la red, entonces las subestaciones pueden quedar más separadas.

Cuando se utiliza este sistema de distribución (c.c.), los circuitos pueden tolerar mayores fluctuaciones de tensión que los circuitos comerciales (c.a.), en los que, las caídas de tensión ocasionan problemas a los usuarios como parpadeo o inclusive puede quemar equipos eléctricos. La caída de tensión en el sistema que alimenta a carros eléctricos provoca la disminución en su velocidad, si esto persiste produce a su vez inconvenientes en el servicio eficiente, ya

que es capaz de modificar el horario o itinerario con la consecuente protesta de los usuarios.

Las caídas de tensión del orden de 10 a 15% en sistemas de c.c., se consideran normales, inclusive el 20% no es considerado como caída excesiva, la tensión puede ser mantenida en el valor deseado por medio de alimentadoras ramales, ubicando subestaciones en el tramo intermedias de la ruta que recorre el trolebús o ferrocarril.

El tema central del presente trabajo consiste casualmente en describir y diseñar un sistema o red que alimente carros con corriente continua a 600 voltios (d.c.), nivel de voltaje estandard para este propósito, por esta razón expondremos con el detalle que amerita la situación en los siguientes acápite o subtemas.

4.3 ALIMENTACION DE POTENCIA.-

Antes de describir los tipos de alimentación es necesario resaltar la importancia de los rectificad-

res controlados de semiconductores de elevada potencia, los que han dado una nueva perspectiva a la electrificación de los transportes urbanos eléctricos a corriente continua. El campo de aplicación de los tiristores en la ingeniería en potencia, es toda una revolución, cuyas ventajas podemos resumir como sigue:

- Los componentes electrónicos están libres de problemas de inercia.
- No exigen mantenimiento alguno y pueden funcionar en cualquier posición.
- Al no ser afectados por la vibración son superiores desde cualquier punto de vista, comparado con los dispositivos clásicos usados en la rectificación de la corriente alterna en continua.

Las ventajas descritas y otras más complejas, están alterando los enfoques de electrificación de transportes, sobre todo en lo que respecta al diseño de las subestaciones.

La potencia de alimentación para los trolebuses proviene desde una subestación rectificadora usual-

mente ubicada al inicio de la ruta del vehículo, o más propiamente dicho en el garaje de la unidad. La alimentación de potencia para trolebuses se distribuye a través de dos líneas aéreas a 600 voltios corriente contínua.

La disposición elemental de las líneas se ilustra en la Figura N° 3.2, las características del diseño, los elementos que se utilizan para electricicar un sistema de esta naturaleza, enfocaremos oportunamente.

4.3.1 Alimentación aérea.-

La alimentación a la que nos estamos refiriendo en este acápite es la línea que sale de la subestación rectificadora y no el alambre de contacto desde donde se suministra energía al vehículo por efecto de la fricción que hace el trole (pantógrafo), por esta razón las alimentadoras para el tipo de vehículos que estamos estudiando normalmente son aéreas, aprovechando de esta manera la misma estructura de soporte utilizada en la red de alambre de contacto, además con esta disposición resulta fácil suministrar energía al circuito secundario (alambre de contacto).

Quizás para un mejor entendimiento , se debería iniciar con el diseño de la subestación, sin embargo este tema trataremos al final del presente capítulo.

En un sistema de alimentación aérea en corriente continua, la energía una vez rectificada en la planta (subestación) sale a una tensión nominal de 600 voltios hacia las barras positivas y negativa al ser conectado el contactor que se muestra en la Figura N^o

4.3

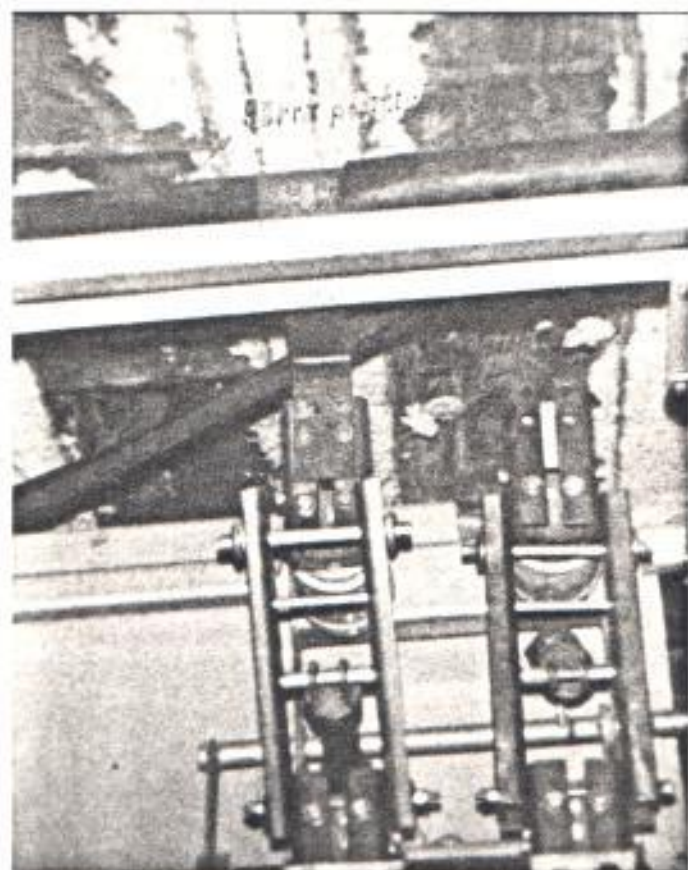


FIGURA N^o. 4.3 BARRAS DE SALIDA EN UNA PLANTA RECTIFICADORA.

La Figura N^o 4.4 ilustra las conexiones que se hacen en la barra de las líneas positiva y negativa, para la salida hacia la red del circuito primario o de alimentación.

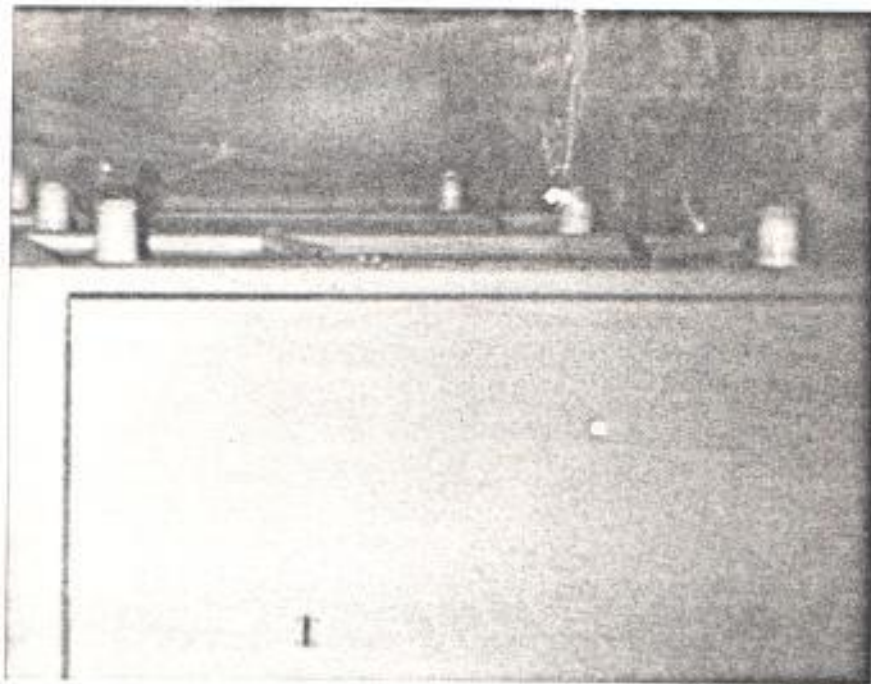


FIGURA No. 4.4 DISPOSICION DE LAS BARRAS POSITIVA Y NEGATIVA Y LAS CONEXIONES DE SALIDA HACIA LA ALIMENTADORA AEREA.

Desde la subestación al primer poste, este último ya ubicado en la calle, los cables de alimentación salen a través de unos conductos subterráneos y el cable utilizado en esta ocasión, cumple con las normas establecidas de electrificación subterránea.

Desde el primer poste en adelante la línea de alimentación recorre la ruta establecida para el servicio de pasajeros en trolebús en forma aérea como se puede apreciar en la Figura N^o 4.5.

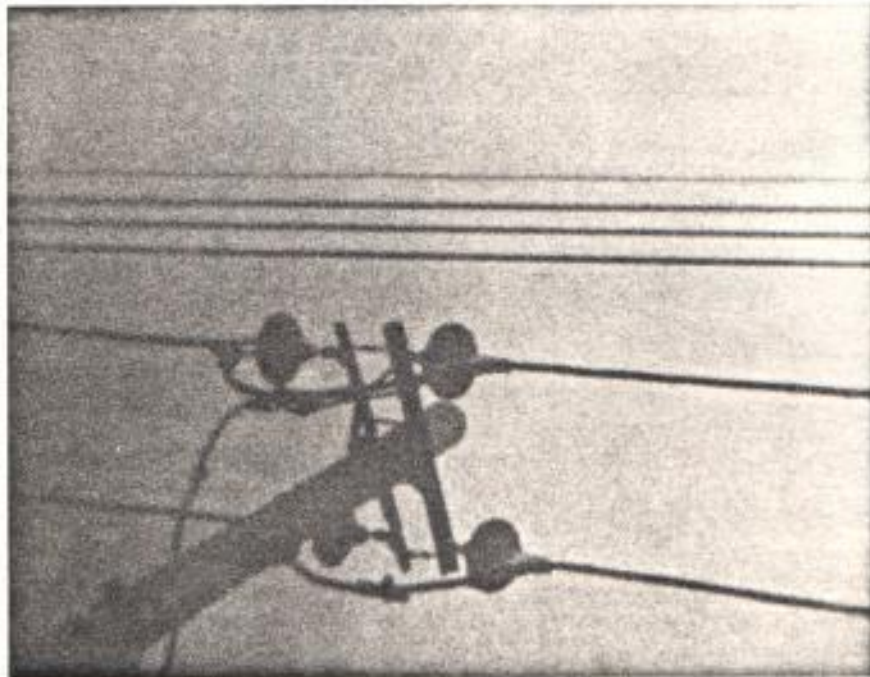


FIGURA No. 4.5 DISPOSICION DE UNA ALIMENTADORA AEREA EN LA CALLE.

La red de alimentación de c.c., tiene normalmente todos los elementos que pueda tener una red de distribución comercial común y se conecta con el alambre de contacto cada 300 a 500 metros dependiendo de la carga

de los vehículos y la frecuencia con que circulan éstos. La Figura N^o 4.6 ilustra dicha conexión denominado bajante.

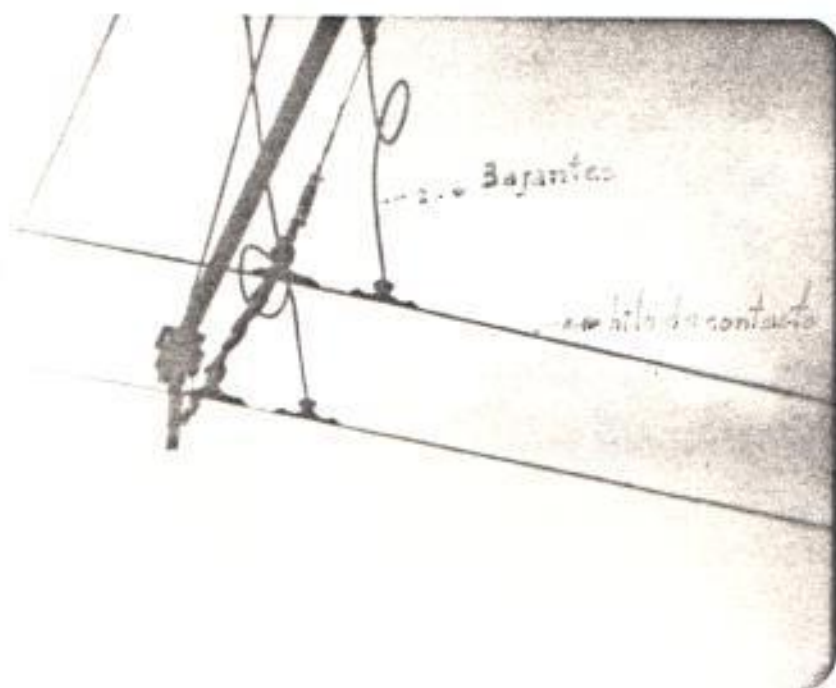


FIGURA No. 4.6 UNA DISPOSICION QUE MUESTRA LA FORMA COMO SE CONECTA LA LINEA ALIMENTADORA A TRAVES DE LOS BAJANTES HACIA LOS ALAMBRES DE CONTACTO.

4.3.2 Alimentación subterránea.-

La alimentación de esta naturaleza, para el servicio de transporte local en trolebuses no sólo resultaría caro; sino que sería más desventajoso que suprimir los hilos aéreos, considerados de antiestéticos por estar tendidos al aire. Sin embargo la forma más económica de electrificar el sistema de trolebús precisamente es por vía aérea, porque las líneas de contacto solo pueden estar en dicha disposición, aún cuando la red de alimentación vaya por subsuelo.

La alimentación subterránea más bien está destinada a sistemas de transporte rápido como Metros y Ferrocarriles, los mismos que toman energía a través de un tercer riel, denominado "carril de contacto", en cuyo caso, se conduce energía desde las subestaciones a través de cables subterráneos recubiertos de plomo o de cables aislados con material sintético, en cualquier caso estos cables se tienden en canales de ladrillo perfilado. La sección de los cables de alimentación varía entre 300 y 750 mm², dependiendo

de la carga; si la carga es más elevada, los cables se colocan de manera múltiple, tal como se puede apreciar en la Figura N° 4.7



FIGURA No. 4.7 EMPALME DE UNA ALIMENTADORA SUBTERRANEA A UN CARRIL DE CONTACTO.

El retorno de la corriente se efectúa a través de los rieles, dependiendo de la carga, a veces tienen que establecerse secciones suplementarios mediante el tendido de cables con secciones cercanas a 300 mm^2 que van desde las rieles a la subestación.

Las vfas principales se sueldan en general de manera continua, las juntas de bridas se puntean con dos cables aislados flexibles,

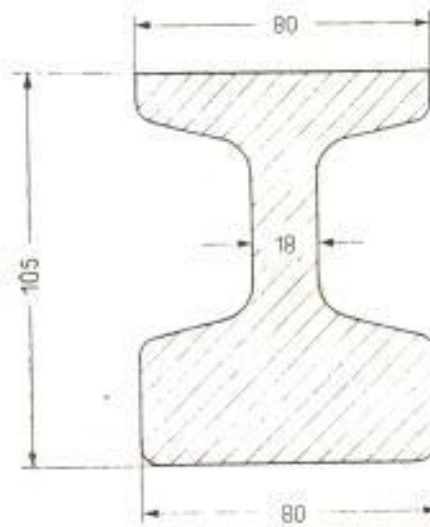


FIGURA No. 4.3 PERFIL Y DIMENSIONES (MM)
DEL CARRIL DE CONTACTO.

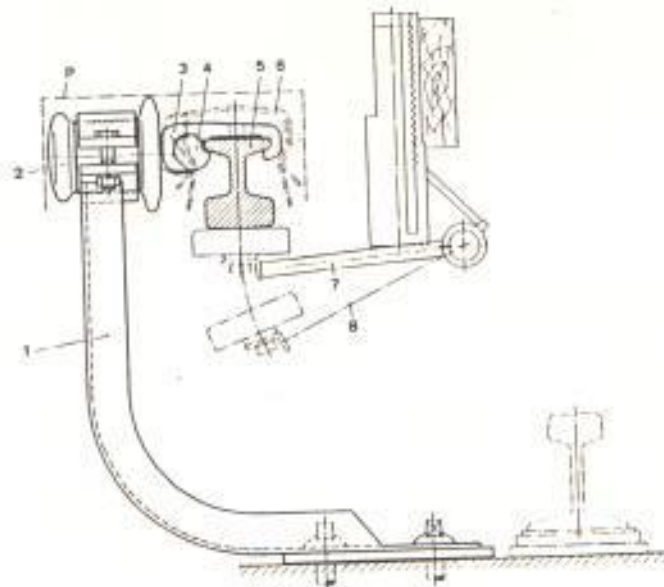


FIGURA No. 4.9 PUNTO DE APOYO DEL CARRIL DE
CONTACTO.

1= Soporte del carril de contacto; 2= Aislador;
3= Garra; 4= Cuña; 5= Carril de contacto; 6= Cu-
bierta de protección; 7= Dispositivo de toma co-
rriente; 8= Perodesconectado; P= Perfil para la
ubicación del punto de apoyo.

principalmente delante y detrás de los puntos de parada o a ciertas distancias del trayecto.

La alimentación subterránea es también el más indicado para alimentar carriles de contacto de los vagones de carga de materia prima o acabado en las industrias y la minería especialmente.

El carril de contacto comparado con la línea aérea, tiene mayor robustez y seguridad de servicio, con una mejor uniformidad de rozamiento por tener una gran sección de contacto que alcanza aproximadamente 5.100mm^2 de hierro que equivale a unos 700mm^2 de cobre y es capaz de soportar hasta 2800 amperios de corriente permanente. El carril de contacto consiste en un perfil de hierro cuyas dimensiones y forma se ilustra en la Figura N° 4.8. La sección de contacto, depende del consumo de corriente y va dispuesto al lado de la vía, para ser rozado por arriba lateralmente o por abajo, por los dispositivos de toma corriente, (trole) montados en el vehículo. La Figura N° 4.9, ilustra uno de los tipos de carril de contacto.

Las secciones de carril de contacto, son su ministrados en longitudes variables y se sueldan eléctricamente, para construir la red de contacto. En recorridos por el tu nel, las longitudes pueden ser de hasta 180 metros, en tanto que en recorridos exteriores de hasta 90m. El carril de contacto se suspende en los puntos de apoyo a determina das distancias del borde superior del carril y del centro de la vfa, tal como se ilustra la siguiente Figura N° 4.10.

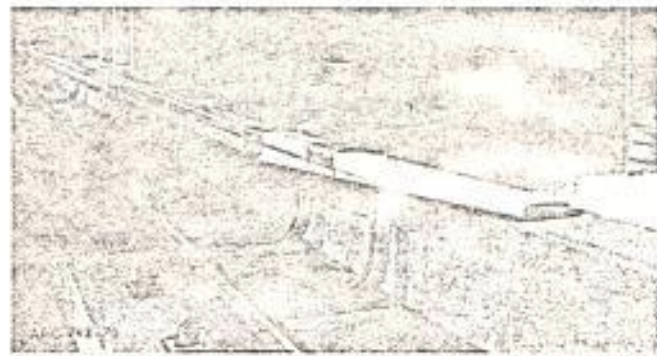


FIGURA No. 4.10 PUNTO DE APOYO DE CARRIL DE CON-
TACTO EN EL TUNEL.

A fin de que los dispositivos de toma co- rriente se deslicen perfectamente sobre el carril de contacto, en el extremo final e

inicial se montan entradas de contacto, mientras que en los puntos de corte eléctrico o cambios de carril de contacto de uno a otro lado de la vía, se hacen inclinaciones de entradas y salidas. El carril de contacto debe protegerse por seguridad; para este efecto, normalmente se usa madera, pero debido a que ésta presenta algunos inconvenientes como: aislamiento deficiente por la humedad, gran peso, montaje incómodo y mantenimiento muy frecuente, modernos sistemas subterráneos están recurriendo a otras técnicas para aislar carriles de contacto.

4.4 CATENARIA Y ELEMENTOS DE SUJECION.-

Todos los elementos que mencionaremos en lo que resta del capítulo pertenecen a la electrificación del sistema de corriente continua a 600 voltios que alimenta los motores de tracción de los trolebuses.

El término catenaria deriva de "catena" que significa cadena y se trata de la curva que adopta esta forma un material completamente flexible que cuelga libremente entre dos apoyos y está cargado uniformemente en toda su longitud.

Cuando el nivel de voltaje de alimentación de una unidad de tracción es 600 voltios o más, la potencia normalmente es transmitida mediante conductores aéreos; si las velocidades son reducidas como en el caso del trolebús, el hilo del trole va directamente suspendido en el tramo prefijado para el recorrido del vehículo. Si la velocidad es elevada como en los metros y algunos ferrocarriles interdepartamentales, la catenaria es construida en otras formas como catenaria compuesta.

Cuando la potencia es distribuida por medio de conductores aéreos normalmente se forma una catenaria, aunque sea con el sistema de un hilo que ya se explicó brevemente en un subtema anterior. Para la alimentación de los trolebuses existen dos tipos de catenaria que son:

SISTEMA DE HILO SIMPLE REGULARIZADO:

En este sistema el hilo de contacto está directamente sujeto al brazo del poste a través de su correspondiente cadena de aisladores, sin necesidad de ninguna péndola ni hilo de suspensión que sostenga al hilo de contacto, vea la Figura N^o 4.11.

Este sistema es el más apropiado para electrificar sistemas de transportes como el trolebús, por cuanto éstas, están destinados al servicio de transporte de pasajeros en la urbe, donde obviamente existen numerosas redes aéreas de corriente alterna para los diferentes servicios de la comunidad. Además de ayudar en su presentación (estética) resulta económico por su fácil instalación y menor empleo de cables.

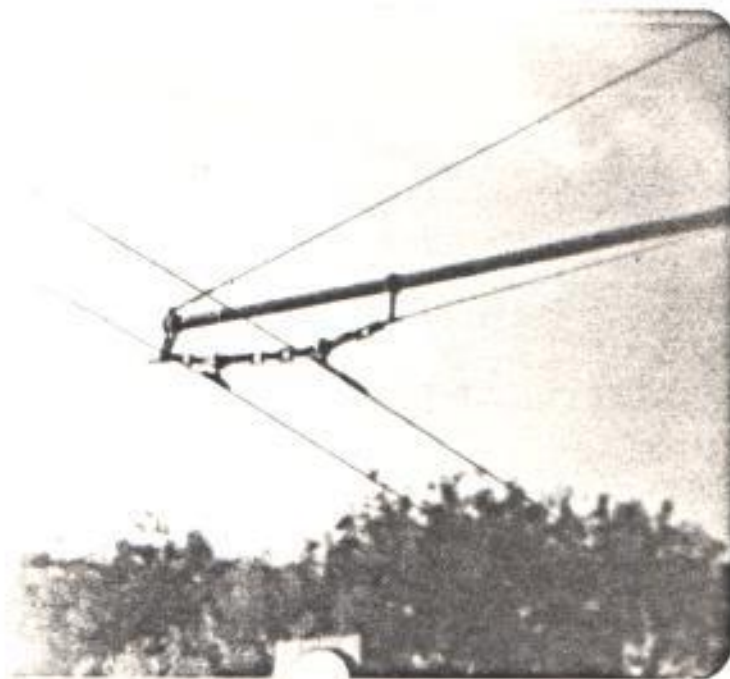


FIGURA No. 4.11 VISTA PARCIAL DEL SISTEMA DE UN HILO SIMPLE REGULAZIDADO.

Sin embargo, este sistema tiene la desventaja de

ser menos confiable que el otro sistema, porque cualquier tensión fácilmente puede interrumpir la continuidad eléctrica de la red, por ejemplo la ilustración de la Figura N° 4.12, nos permite evidenciar la poca confiabilidad del sistema, en el que se puede observar que la ruptura del guía tensora obstruye la circulación de los vehículos, la disposición normalmente horizontal de los alambres de contacto, se ha ladeado para tornarse en una disposición vertical de estos cables de contacto.

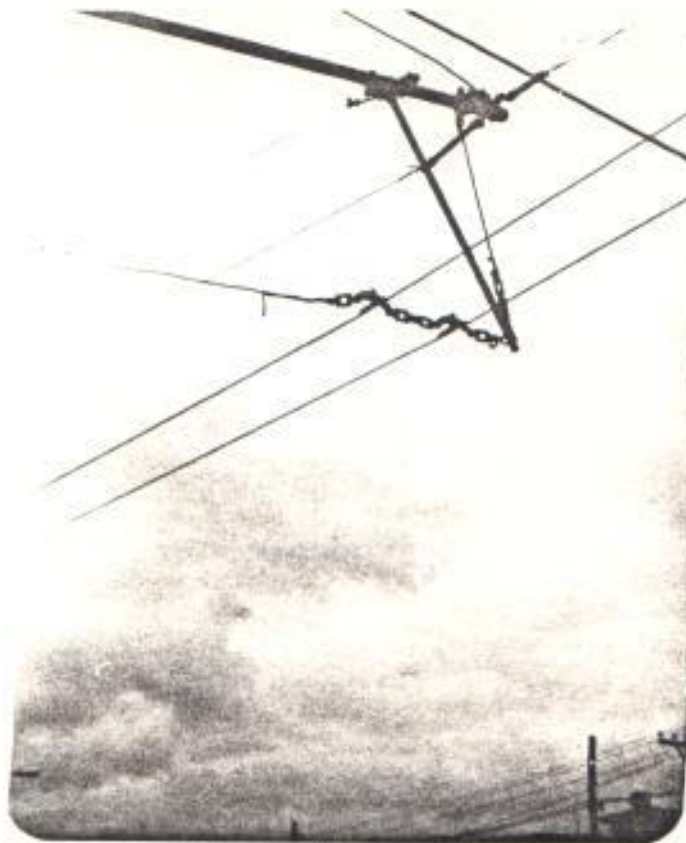


FIGURA No. 4.12 DAÑO EN LA GUIA TENSORA

CATENARIA SIMPLE:

Para construir este tipo de línea, se tiende un cable portador entre los soportes, el cual adquiere la forma de la catenaria y el hilo de contacto se suspende del portador por medio de péndolas. Como en el sistema de un hilo simple regularizado, aquí también se utiliza equipos tensores tanto para el hilo de contacto como para el cable portador, con este sistema, el hilo de contacto adquiere una mejor uniformidad (horizontalidad) para el contacto con el trole, con lo que el trolebús puede recorrer a una velocidad mayor que en el sistema anterior. La Figura N^o 4.13 muestra que el esquema de una catenaria simple.

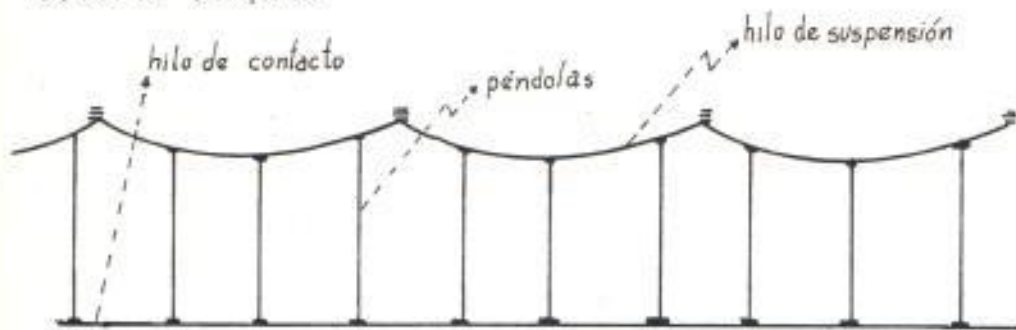


FIGURA No. 4.13 CATENARIA SIMPLE

Al utilizar las péndolas, el hilo de contacto se proyecta de manera que queda normalmente casi horizontal y paralelo al tramo de recorrido del trole-

bús, siendo el cable de sustentación el único que toma la flecha.

La catenaria tiene como elementos: el cable de suspensión muy indispensable en la electrificación de vehículos de tracción eléctrica, sobre todo en los ferrocarriles porque mantienen suspendido y prácticamente horizontal al cable de contacto.

El material utilizado para la construcción de la catenaria, varía según el lugar, dependiendo de factores como: La conductividad eléctrica, la que tiene gran importancia en los sistemas de distribución c.a., de baja tensión, en tal caso lo ideal sería usar cable de cobre, sin embargo, éste tiene la desventaja de ser poco resistente a la tracción (fuerza). Algunos utilizan como cables de suspensión, bronce por su mayor resistencia a la tracción y a la corrosión, también suele utilizarse una aleación de bronce con cobre de 40 a 60% de conductividad. Una alternativa más económica resulta utilizar aleaciones de acero tratadas térmicamente y galvanizadas, cuya ventaja es una elevada resistencia a la tracción pero sujeto a serias corrosiones en atmósferas húmedas. Por último podemos indicar que es posible usar acero inoxidable en la construc

ción de catenarias como cable de suspensión, obviamente este es el más resistente a la fuerza tracción, corrosión, etc., pero también es el más caro frente a las otras alternativas.

HILO DE CONTACTO:

Para el hilo de contacto en sistemas de tracción de cualquier tensión de distribución, se emplea cable de cobre duro cuyos tamaños varían desde 2/0 a 6/0. El hilo de contacto es de cobre duro electrolítico para el caso de trolebuses tiene una sección de 80 mm² estandar; el hilo de contacto tiene dos ranuras longitudinales de donde se sujetan con las agarraderas y las uniones, de modo que su parte inferior queda libre para permitir el contacto del pantógrafo y pueda deslizarse sin ningún impedimento. Las secciones transversales del hilo de contacto se muestra en la Figura N^o 4.14.

Las características principales del hilo de contacto y del portador se resume en la siguiente Tabla N^o VII .

En el caso de catenaria simple, el hilo de contacto es suspendido por el portador por medio de péndolas

TABLA No. VII

CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES Y DE LA CATENARIA

	PORTADOR	HILO DE CONTACTO	HILO DE CONTACTO
Sección (mm ²)	65	80	107
Diámetro (mm)	10,5	10,5	12,24
Constitución	redondo	hilo ranurado	hilo ranurado
Peso específico (Kg/m)	0,615	0,825	0,950
Tensión de ruptura (Kg)	4300	3450	3950
Coefficiente de dilatación	17×10^{-6}	17×10^{-6}	17×10^{-6}
Coefficiente de elasticidad	118×10^{-6}	102×10^{-6}	91×10^{-6}

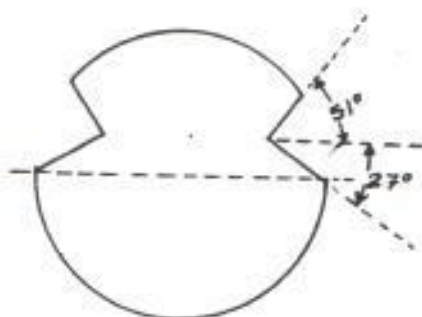


FIGURA No. 4.14 SECCION DEL HILO DE CONTACTO (COBRE DURO).

hechos en hilo redondo de cobre duro; la distribución de las péndolas depende de la longitud del vano y normalmente esta distancia de una péndola a

otra es de 10 metros, vea la Figura N° 4.15.

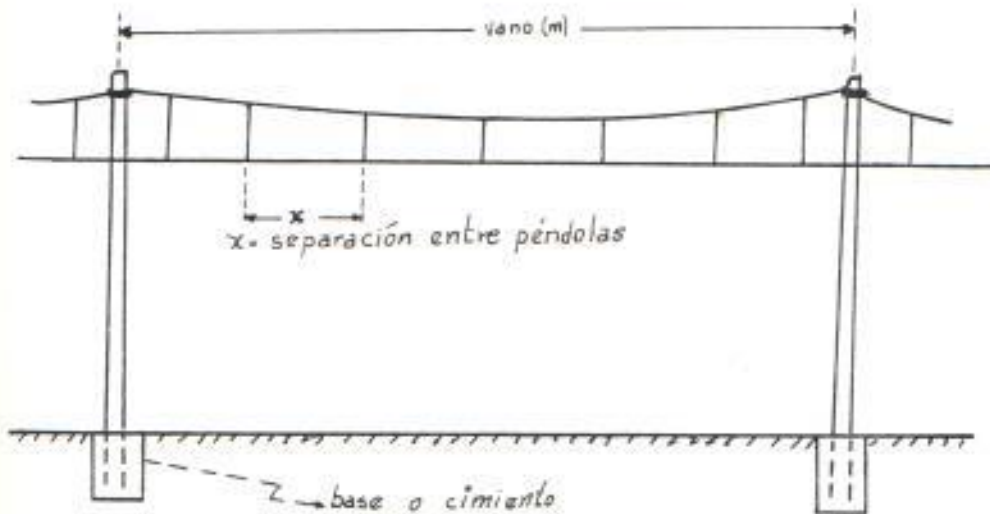


FIGURA No. 4.15 DISTRIBUCION DE LAS PENDOLAS EN VANO X.

Entre otros elementos de la catenaria, se tiene el soporte que es la encargada de mantener el peso de la catenaria y está montada en los mismos postes que llevan la línea de alimentación.

La variedad de tipos de soportes es difícil de enumerar sobre todo si se toma en cuenta que el alambre de contacto puede estar suspendido a través de un cable transversal, este sujeto entre dos postes ubicados frente a frente o bien en las paredes de los edificios en ciertas calles estrechas.

Los soportes más comúnmente utilizados en la electrificación para alimentar trolebuses son:

MENSULA o brazo, construido de un tubo de acero galvanizado cuya longitud es variable según las necesidades de la calle y los momentos de torque aplicados en ellos. La ménsula está unida a la abrazadera a través de un pin o pasador, el mismo que le permite cierta flexibilidad al brazo en caso de existir esfuerzos de tracción radial al poste. A esto se suma los cables tensores que bajan con una determinada inclinación desde el poste y se unen con la ménsula en su extremo exterior como se muestra en la Figura N^o 4.16.

Por último se tiene un tensor guía que mantiene o sostiene la cadena de aisladores en una posición adecuada, evitando de esta forma el movimiento transversal de los alambres de contacto.

En el sistema de catenaria simple, se usa péndolas cuya función ya mencionamos, estos elementos pueden ser de acero galvanizado laminado en frío y redondos. La longitud de las péndolas se determina teniendo en cuenta que la longitud de cada péndola es equivalente a la flecha del cable de suspensión

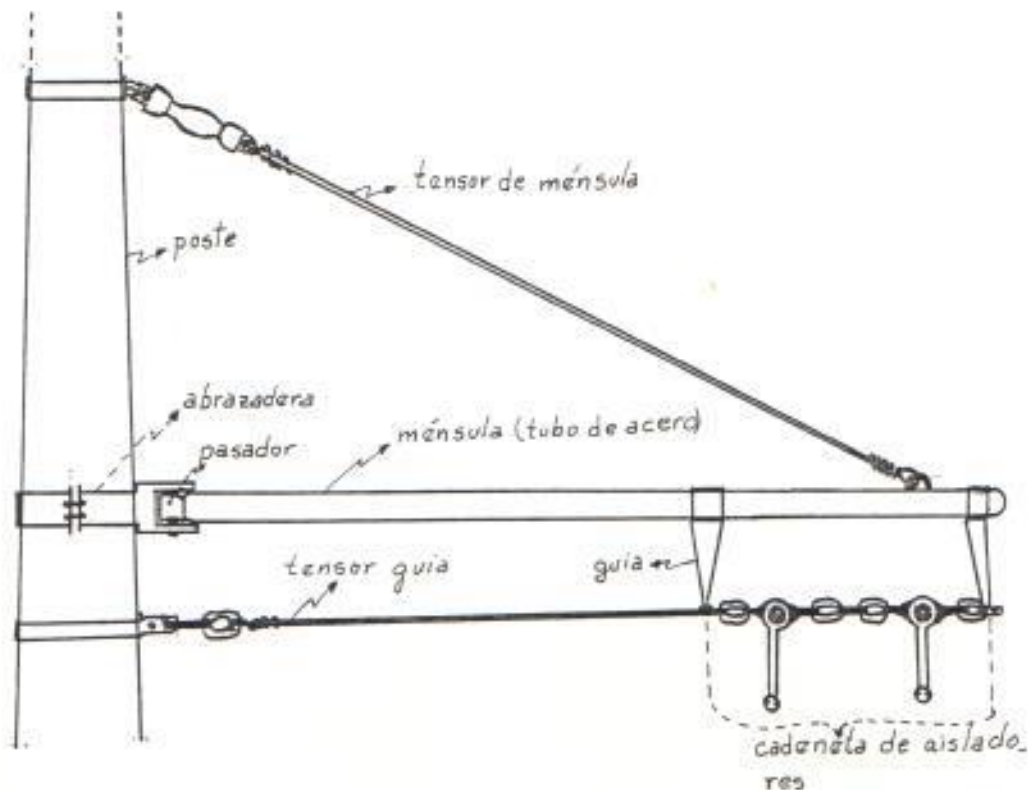


FIGURA No. 4.16 SOPORTE DE LOS CABLES DE CONTACTO TIPO MENSULA Y SUS ELEMENTOS.

en un vano cuya longitud sea igual a dos veces la distancia existente entre la péndola y el punto más bajo del vano, más un valor constante que representa la longitud de la péndola más corte del vano.

$$L_p = D + C$$

Donde $D = \frac{P \cdot l}{8T}$ $l = 2s$

siendo s = la distancia entre cada péndola y el punto más bajo del vano.

C = longitud de la péndola más corta

También podemos mencionar como elementos de sujeción las agarraderas, éstas sujetan directamente el alambre de contacto y están ubicados en la cadena de aisladores, vea las Figuras N^o 4.16 y 4.17.

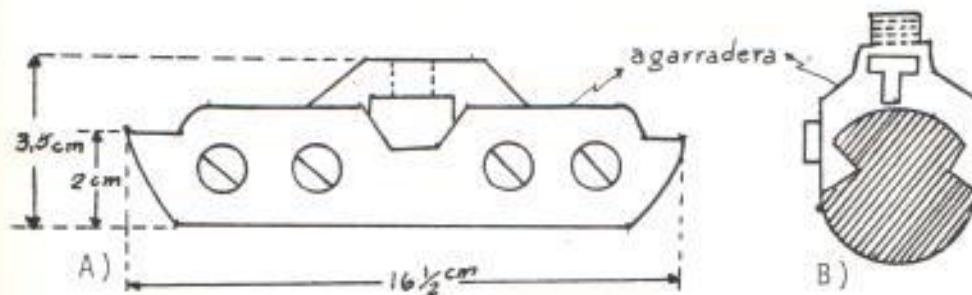


FIGURA No. 4.17. A) AGARRADERA DE ALAMBRE DE CONTACTO (VISTA LATERAL),
B) AGARRADERA DE ALAMBRE DE CONTACTO (VISTA FRONTAL).

Para la unión de dos tramos consecutivos del alambre de contacto o en caso de ruptura de un tramo del alambre se utilizan uniones o empates, éstas pueden ser de diversas formas; pero siempre se utiliza con el fin de dar una continuidad mecánica y eléctrica al alambre de contacto, las Figuras 4.18 y 4.19 ilustran dos tipos de uniones.

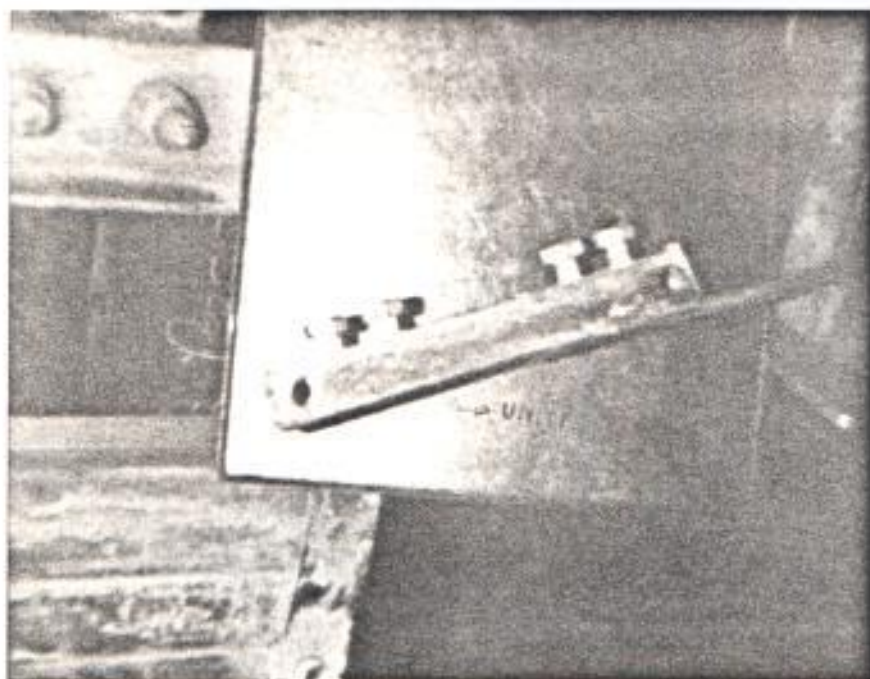


FIGURA No. 4.18 UNION RANURADO

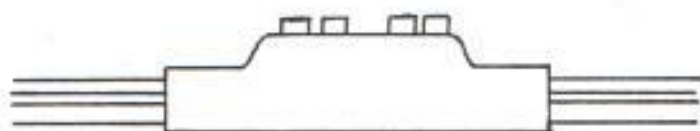


FIGURA No. 4.19 UNION TIPO TUBULAR DE BRONCE

SOPORTE TIPO CATENARIA TRANSVERSAL:

El soporte tipo catenaria transversal se utiliza por diversos motivos:

- Cuando en el tramo resulta difícil ubicar un pos-



(A)



(B)

FIGURA No. 4.20. A) SOPORTE RECTO CON TENSOR DE MENSULA Y TENSOR DE GUIA.

B) SOPORTE SOLO CON TENSOR DE MENSULA

te; entonces se aprovecha las paredes de los edificios (frente a frente) para tender un cable que atraviesa transversalmente la calle, el mismo que soporta los alambres de contacto; la Figura N^o. 4.21 ilustra dicha disposición.

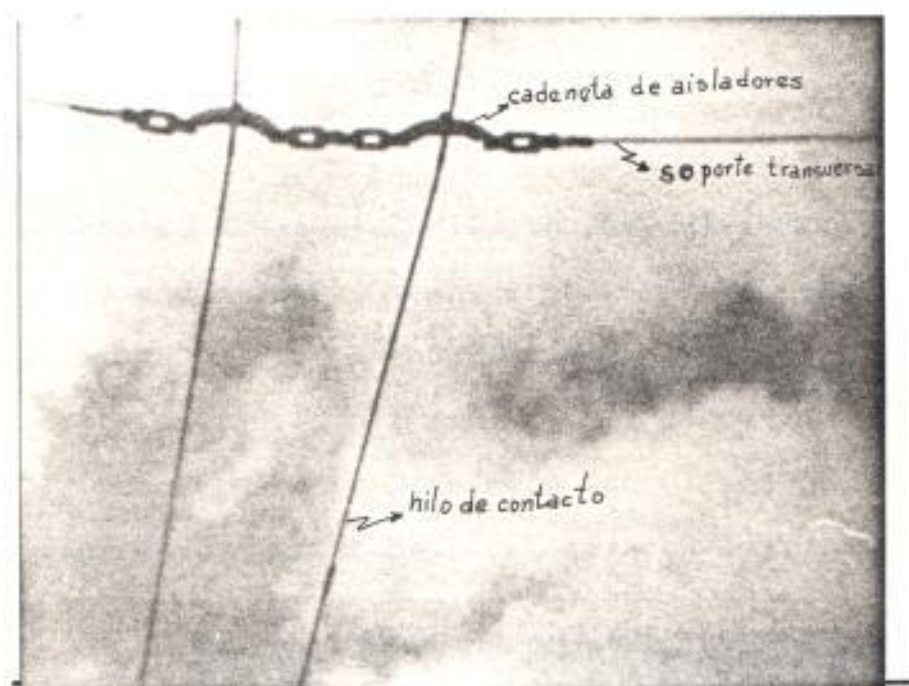


FIGURA No. 4.21 SOPORTE TRANSVERSAL CON CADENETA

- Cuando por alguna razón, la ménsula (brazo) montado en el poste resulta muy largo, por lo tanto resulta débil para soportar la tensión mecánica, se construye un soporte tipo pórtico, como ilustra la Figura N^o 4.22.

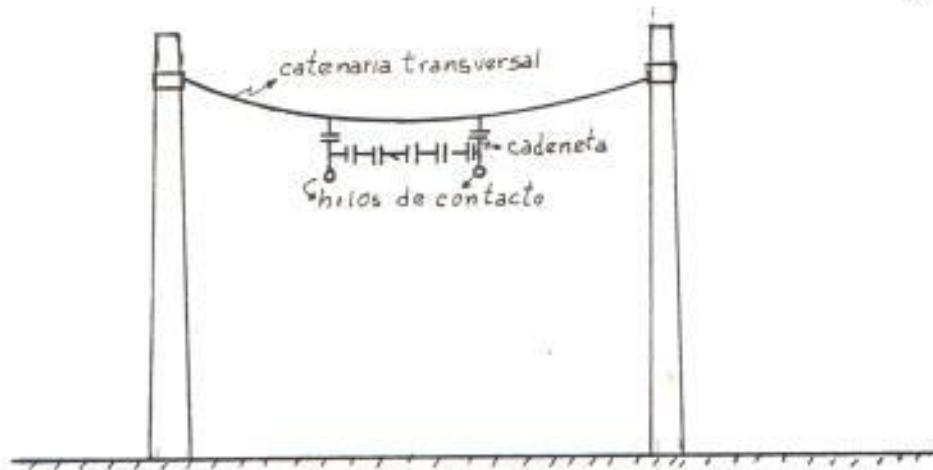


FIGURA No. 4.22 SOPORTE TIPO PORTICO

- Cuando se desea electrificar dos rutas paralelas, el tipo de soporte transversal, resulta económico y más confiable; además una misma línea de alimentación puede suministrar a ambos circuitos y sujetar los alambres de contacto con el bajante de la línea de alimentación, la Figura N° 4.23 ilustra este caso.

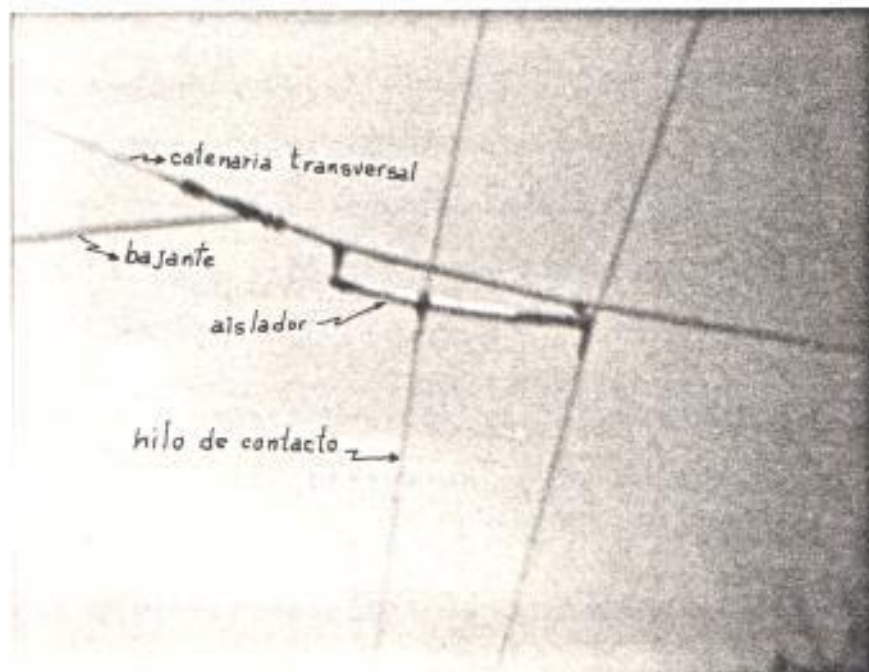


FIGURA No. 4.23 SOPORTE TIPO PORTICO EN EL QUE LA CATENARIA TRANSVERSAL ES UN BAJANTE DE ALIMENTACION.

El soporte tipo catenaria, cuando se construyen pórticos tiene la desventaja de aumentar la densidad de postes en la calle y limita la circulación de vehículos con una altura mayor a la que está instalada la catenaria; sin embargo frente al soporte tipo ménsula ésta tiene la ventaja de mayor confiabilidad y ahorro en los tubos del cual se construyen las ménsulas.

AISLADORES:

Otro elemento importante de la red de contacto es la cadeneta de aisladores, desde donde cuelgan los dos alambres de contacto que alimenta al trolebús. Las cadenetas se construyen de diversas formas, dependiendo de los aislantes que se dispone para este fin. La cadeneta por aisladores tipo hebilla es el más comúnmente usado, la misma tiene la forma de un eslabón de una cadena como se puede apreciar en la Figura N° 4.24 y está hecho de fibra de vidrio.

La cadeneta se construye con varios elementos o hebillas, para ello se utiliza un perno pasador con tuerca que asegura la una hebilla con otra; a su vez a un aislante especial denominado aislante casi esférico "tipo Ruso", el que se enrosca con la aga

4.5 FACTORES AMBIENTALES SOBRE LOS PARAMETROS DE LA CATENARIA.-

En el proyecto del sistema, los pesos deben incluir no solamente el peso propio del material de construcción, sino que además carga horizontal debido al viento que se supone por regla general de 39 Kg/m^2 (3) sobre los $2/3$ de la proyección de cada cable y péndolas. El propósito de incluir esta variable es considerar el caso más desfavorable como la tensión máxima en donde las flechas deben fijarse a fin de brindar seguridad al sistema.

4.5.1 Efecto de la temperatura.-

El efecto de mayor consideración en nuestro medio, es la temperatura, porque ésta tiene incidencia directa en la flecha del alambre de contacto o en el cable de suspensión si la electrificación es catenaria simple, en cuyo caso el vano dependerá de la temperatura, permaneciendo constante el resto de los elementos o parámetros. Por lo tanto, la flecha de la catenaria debe determinarse de manera que "a menor temperatura y suponiendo aplicados los efectos de viento y otros, la

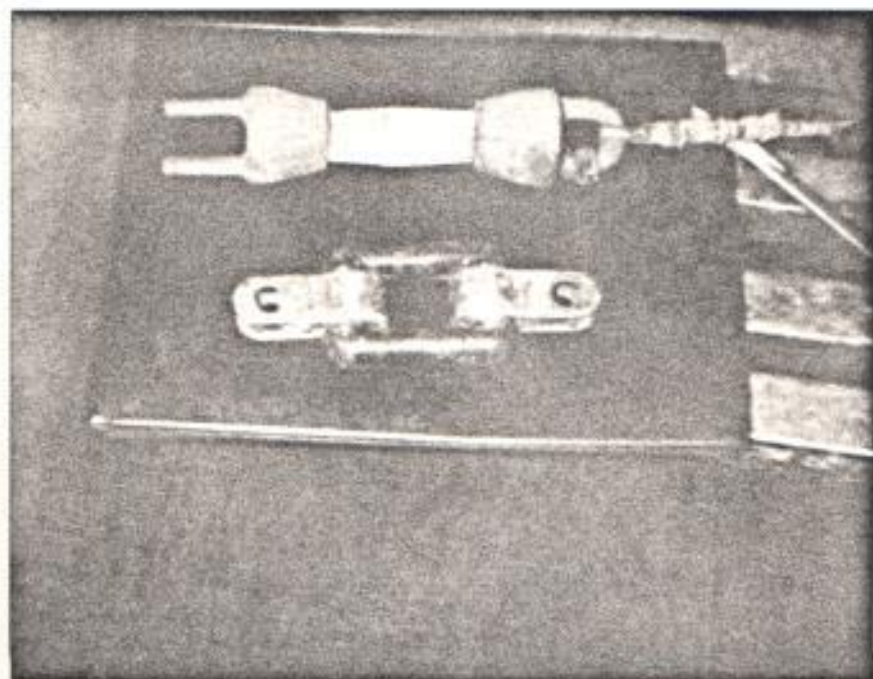


FIGURA No. 4.24 AISLADORES, EN LA PARTE SUPERIOR AISLANTE DEL CABLE TENSOR Y ABAJO AISLANTE TIPO HEBILLA DE LA CADENETA.

rradera que sujeta los alambres de contacto, observe la Figura N^o 4.16.

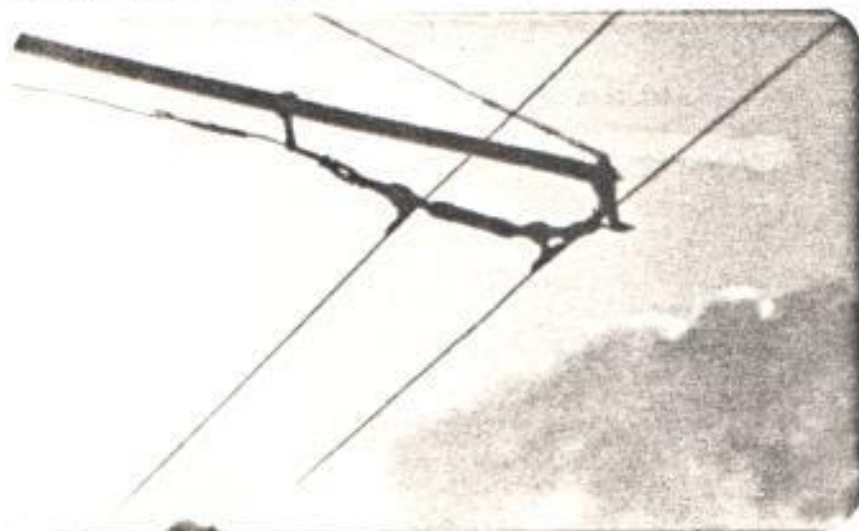


FIGURA N^o 4.25 CADENETA FORMADA POR UN AISLADOR DE BARRA INTERMEDIA.

tensión no supere al valor máximo admisible. Es decir, la tensión en el momento de su instalación no debe estar sujeto a tensiones superiores que las admisibles a temperaturas más bajas, ni cuelgue demasiado a temperaturas elevadas, este efecto se ilustra en la Figura N^o 4.26.

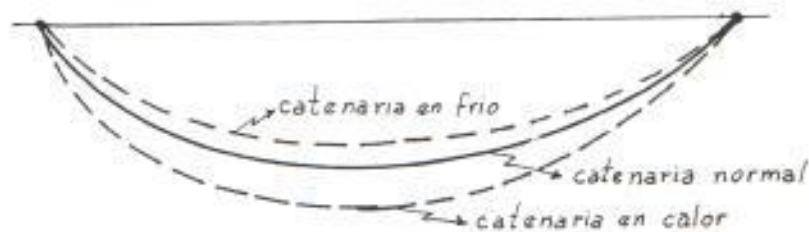


FIGURA No. 4.26. EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN UNA CATENARIA.

La curva tensión temperatura es prácticamente una línea recta, por lo que si los dos límites tensión máxima y mínima se fijan correctamente el cable se comportará satisfactoriamente. La Figura N^o 4.27 ilustra el comportamiento del alambre de contado para bronce y cobre en una curva tensión-temperatura.

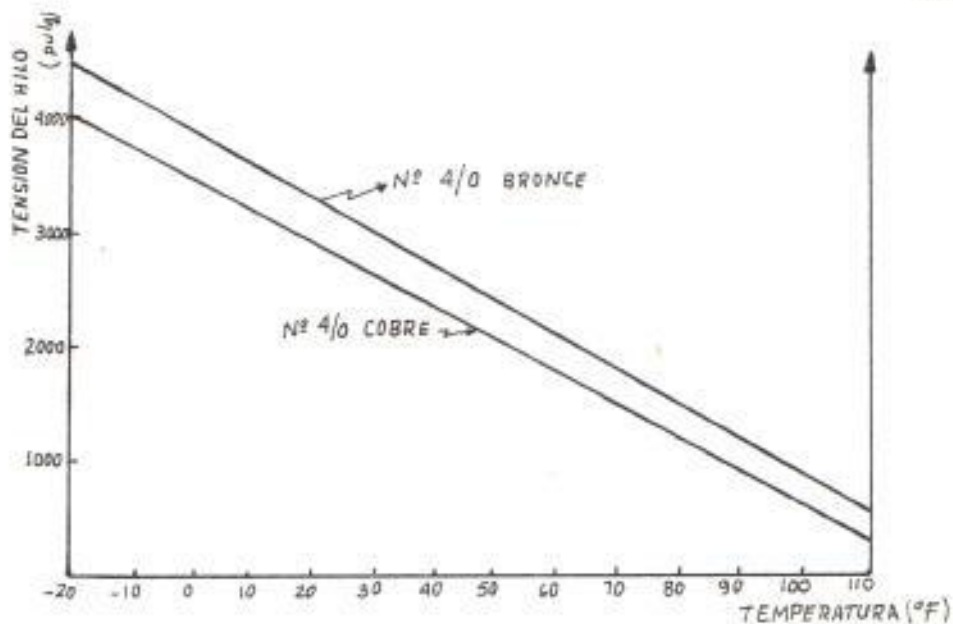


FIGURA No. 4.27 TENSIONES EN LOS HILOS DE TROLE DE BRONCE Y COBRE A DISTINTAS TEMPERATURAS.

4.5.2 Flecha del cable de suspensión.-

Partiendo del diseño mecánico de un conductor, en donde existe la influencia de las tensiones, por estar éste suspendido entre las cadenas ocasionan una pequeña flecha así como de las condiciones de carga (propio peso) y temperatura.

Las condiciones requeridas para el diseño de las flechas del alambre de contacto son:

- Determinar en forma segura que de acuerdo

a las condiciones de carga y temperatura; exista una separación adecuada con respecto a la altura del trolebús incluyendo el trole.

- Determinar en forma segura, que bajo condiciones de esfuerzos en el cable no superen a los valores permitidos del material que son fabricados.

- Determinar en forma segura, que la línea ya bajo condiciones de carga y temperatura con sus flechas y tensiones establecidas; cumplan con las condiciones anteriores cuando las cargas y temperaturas varíen.

La curva que forma un conductor al estar suspendido entre dos cadenas, dependiendo de la separación entre ellas forma una catenaria, en los diseños prácticos se ha sustituido este tipo de curva por la de una parábola, porque esta permite establecer una ecuación más sencilla de resolver, observe la resolución de esto en la sección 5.4.4.

4.5.3 Longitudes del vano.-

Los vanos en cualquier tipo de electrificación normalmente son inciertos y sobre todo para el propósito de electrificar un sistema de corriente continua, que alimentar a los trolebuses escapa a las normas establecidas para situaciones similares; por ejemplo al electrificar un sistema para alimentar trenes se acatan reglas de diseño, porque en el tramo no tiene que adaptar a la infraestructura existente, sino que el diseño es completamente independiente a las líneas eléctricas que hay en el lugar.

En tanto que para alimentar un trolebús que tiene que circular en la ciudad, es muy difícil predecir la longitud exacta del vano o la ubicación del poste, porque en las calles existen muchos tipos de postes; además la distribución de las cuerdas es muy compleja; por esta razón es necesario considerar el sector a ser electrificado, para que de acuerdo a la infraestructura existente se pueda adoptar postes a las exigencias locales. Sin embargo al planear la construcción

de la catenaria en el sistema de catenaria simple, es conveniente proyectar de manera que los grupos de las péndolas y las flechas de los cables de suspensión sean simétricos cada punto de sujeción.

La longitud del vano para este tipo de sistemas fluctúa en aproximadamente entre 30 y 50 metros, lo cual demuestra que las flechas son casi nulas, por no decir que el alambre de contacto una vez tensado queda prácticamente horizontal, mayor detalle en el Capítulo V.

4.5.4 Otros efectos de menor consideración.-

Entre otros factores ambientales que tienen incidencia en la flecha de la catenaria, podemos considerar los pesos de las posibles cargas de hielo que puede depositarse en el cable, el mismo según National Electrical Safety Code del U.S., corresponde a suponer un cilindro de 1/2 pulgada de radio alrededor de los conductores, en lugares calificados como de carga de nieve pesada y 1/4 de pulgada en distritos calificados como de car

ga de nieve media; este efecto en nuestro medio es desconocido; por lo tanto, debido a este factor la catenaria no sufrirá ninguna modificación.

4.6 CASOS ESPECIALES DE CATENARIA.-

En un tramo a ser electrificado existen muchos obstáculos tales como curvas, inclinaciones, cruces de vía (puentes), etc. La topografía y las condiciones del terreno son variables en el recorrido, por esta razón enfocaremos cada uno de ellos independientemente.

4.6.1 Curvas.-

Es un caso especial de la catenaria la curva del tramo a ser electrificado; el procedimiento que se sigue es, instalar la catenaria alrededor de la misma siguiendo una serie de tirantes o tensores según requiera la situación en especial, de manera que la ordenada media de cualquier cuerda permita que la zapata del pantógrafo esté siempre en contacto con el hilo de contacto. De esta manera el perfil es paralelo al tramo por donde tiene que girar el vehículo.

Obviamente el espaciado de los tensores o tirantes depende de la curvatura y se determina considerando la máxima longitud entre dos tensores sucesivos de una cuerda para una curva de un radio dado.

Si en una curva se mantiene el cable de contacto por medio de una agarradera, directamente desde el tirante, los puntos de amarre de los conductores forman los vértices de un polígono como se puede apreciar en la Figura N° 4.28; esto constituiría un estorbo a la zapata colectora porque el contacto de éste con el alambre de contacto necesita de un camino prácticamente recto o curva suave, entonces para solucionar este problema se monta en la curva un herraje que facilita el deslizamiento del pantógrafo y resuelve el problema durante el montaje de la red en las curvas. El herraje puede observarse en las Figuras N° 4.29 y 5.11.

4.6.2 Catenarias inclinadas.-

Tiene caso estudiar este tipo, considerando que la electrificación es de tipo catenario,

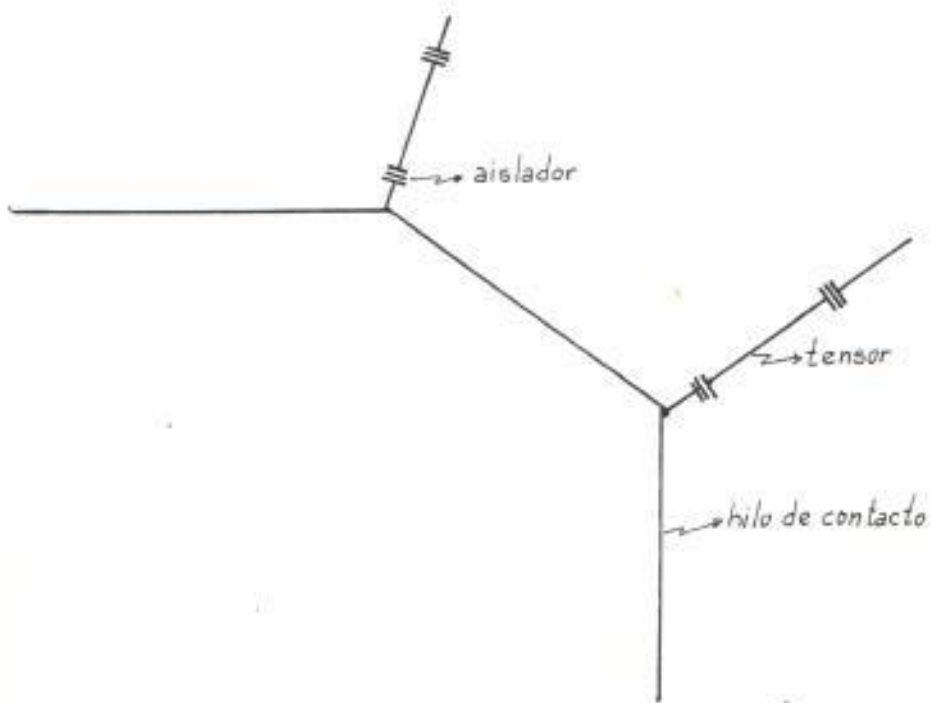


FIGURA No. 4.28 VERTICES DE UN POLIGONO EN UNA CURVA

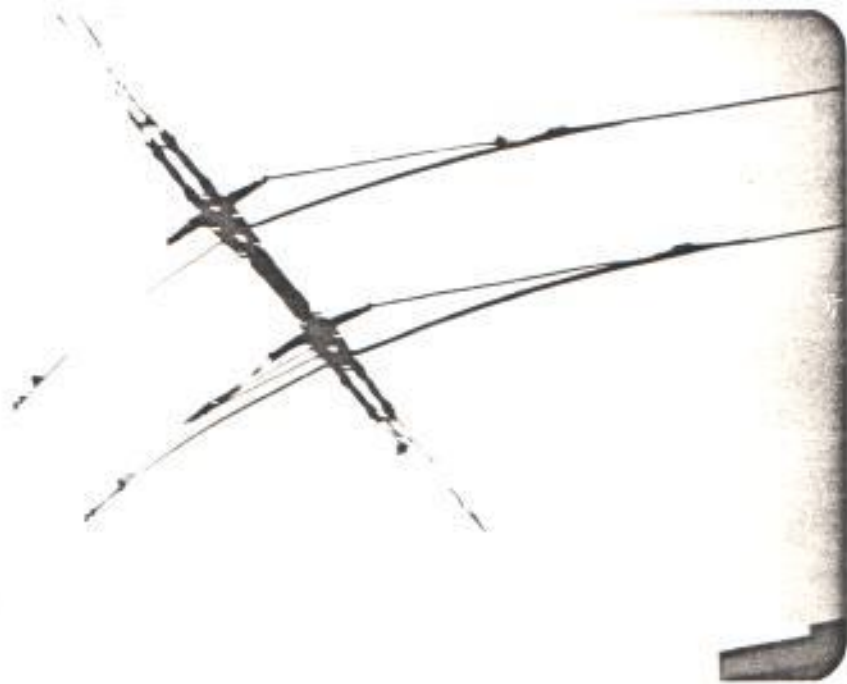


FIGURA No. 4.29 APARATO QUE CORRIGE LOS VERTICES DE UN POLIGONO EN UNA CURVA.

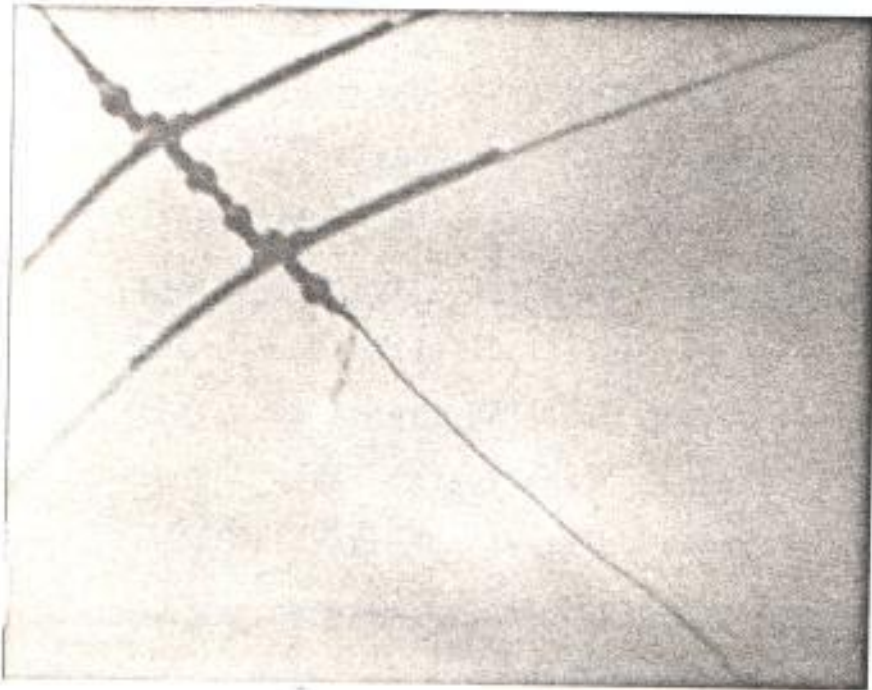


FIGURA No. 4.30 OTRO HERRAJE QUE AYUDA AL PANTOGRAFO A DESLIZARSE EN UNA CURVA MAYOR A 90° .

es decir cuando se utiliza un hilo de sujeción para tender el hilo de contacto, ya que en el sistema simple de un solo hilo regularizado como lo estamos haciendo, cuando se tiene pendientes en la recta se sigue con los criterios expuestos en el punto 4.5.2

En el sistema de catenaria simple, en una recta, el cable de contacto se sitúa del mismo plano del portador; pero en curvas se aparta de este plano y se acerca al centro

de la curva, debiendo coincidir con el eje del pantógrafo. Esta catenaria forma en el espacio una superficie ladeada cuya inclinación varía con la temperatura y con la presión del viento, razón porque recibe el nombre de catenaria inclinada, la misma se ilustra en la Figura N^o 4.31. El punto de soporte del cable de suspensión está desplazado hacia el exterior de la curva hasta el punto que permita que el cable de suspensión posea a la vez una flecha vertical y horizontal.

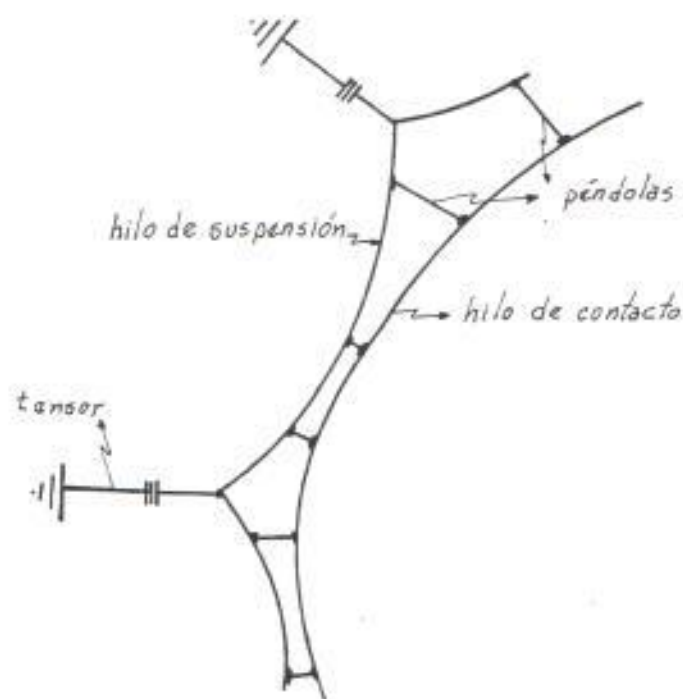


FIGURA No. 4.31 CATENARIA SIMPLE INCLINADA EN UNA CURVA

4.7 ESTRUCTURAS DE SOPORTE.-

En la electrificación a 600 voltios c.c., se utilizan una variedad de postes o soportes sobre todo si se toma en cuenta las existentes en las calles que aumentan más la variedad señalada.

Tal vez sea oportuno recordar que para alimentar un carro eléctrico (trolebús) es necesario la construcción de dos redes en el que: uno de ellos es la línea de alimentación y el otro es la línea de contacto; hasta este momento gran parte de lo desarollado corresponde al alambre de contacto inclusive ya mencionamos los elementos del que está constituido y los tipos de soportes empleados para su montaje, por esta razón en los siguientes acápites vamos a estudiar la línea de alimentación y sus elementos.

4.7.1 Postes.-

Los postes empleados para esta clase de servicio podemos clasificar tomando en cuenta el material empleado en su construcción:
Postes metálicos y postes de hormigón arma-
do similares a los empleados en redes de dis

tribución de 13.800 voltios c.a., en la ciudad de Guayaquil.

La longitud de estas varían desde 8,00 a 14,90 metros teniendo en cuenta que este poste puede ser empleado para los diferentes circuitos de diversa utilidad y tensión, la Figura 4.32 ilustra un poste muy común, en el que se puede observar los diferentes tipos de redes; tales como: En la parte superior, red de distribución trifásica a 13.800 voltios c.a., la que sigue en orden de arriba hacia abajo, está la red de alimentación a 600 voltios corriente continua; luego el circuito de alumbrado público y la red de distribución trifásica a 220 voltios c.a. Finalmente, podemos ver una catenaria transversal que sirve de soporte al circuito del alambre de contacto.

El poste mostrado en la figura anterior tiene una longitud de 14,90 metros y está hecho de cemento; el otro tipo de postes empleados para con finalidad, están contruidos de metal, cuya altura también es variable según los requerimientos secundarios del lugar o



FIGURA No. 4.32 POSTE MULTIUSO

bien tiene 11 metros si su función es únicamente soportar el cable de alimentación y el alambre de contacto c.c. Los postes de metal son pintados para proteger contra la oxidación y se empotran en las bases con una contraflecha calculada de manera que ellos vuelven a quedar verticales cuando son cargados.

Para su mejor identificación, los postes que

pertenecen a la empresa de transportes urbanos, son pintados de un color distinto a los postes pertenecientes a otras empresas. y el anclaje de los vientos. La forma de estos cimientos se adapta a las condiciones del sitio y sus dimensiones se determinan teniendo en cuenta los momentos de derribo, a los cuales están sometidos los postes y la naturaleza del suelo.

4.7.2 Crucetas.-

Las crucetas utilizadas en la línea de alimentación para los trolebuses, es de hierro angular con una longitud de 60 cm. y 8 cm. de ancho, la Figura N° 4.33 ilustra sus características.

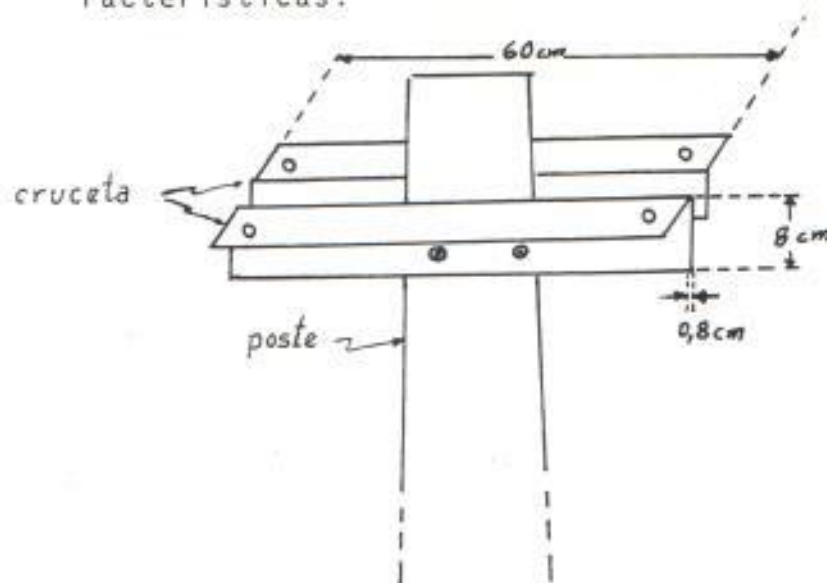


FIGURA No. 4.33 DIMENS ES Y FORMA DE UNA CRUCETA

La disposición de las crucetas en el poste varía de acuerdo a las necesidades tales como: trayectorias curvas, trayectorias rectas y ramificaciones, las Figuras N^o 4.34 y 4.35 ilustran mejor esta disposición de cruceta.



FIGURA No. 4.34 POSTE CON CRUCETAS DE HIERRO ANGULAR MONTADOS ADECUADAMENTE PARA UN CAMBIO DE RUTA DE LA LINEA DE ALIMENTACION.

Entre otros elementos de la línea de alimen
tación podemos mencionar:

TIPO DE CONDUCTOR:

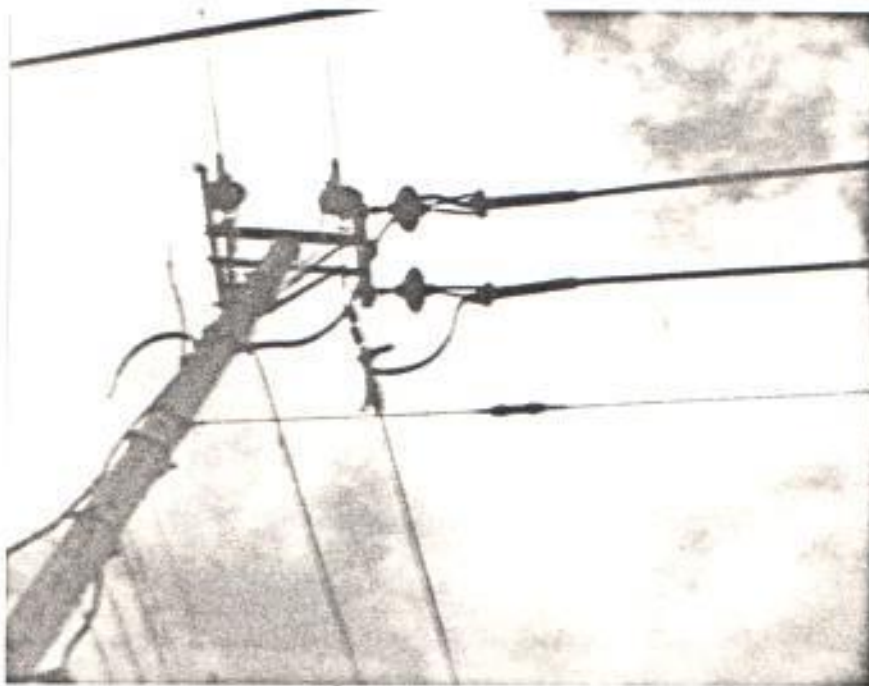


FIGURA N^o 4.35 POSTE DE ANCLAJE O DE RAMIFICACION CON DIFERENTE DISPOSICION DE CRUCETAS.

El conductor utilizado en la línea de alimentación es de aluminio trenzado, cuya sección varía según la carga de la línea compuesto por varios hilos como se muestra en la Figura N^o 4.36.

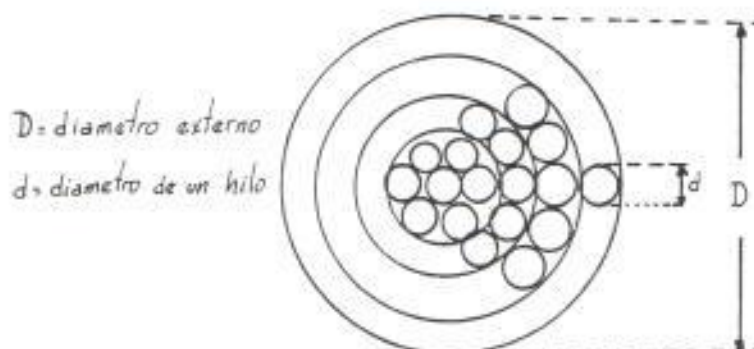


FIGURA No. 4.36 CONDUCTOR DE ALUMINIO TRENZADO

La separación entre el conductor positivo y el conductor negativo es apenas de 50 cm, debido a que los soportes o puntos de apoyo del mismo son tan cercano que no producen prácticamente ninguna flecha en el vano; el vano de la red de alimentación es similar que el existente en los alambres de contactos, con muy pocas excepciones la línea de alimentación se separa de la red de contacto.

Los conductores de aluminio tienen la particularidad que la superficie se cubre de una fina capa de óxido la cual es adherente y además impermeable que sirve de medio de protección al conductor. Estos conductores están formados de varios hilos, y al estar suspendidos entre dos postes, los hilos trenzados se apretan más unos contra otros, de modo que cualquier influencia atmosférica ataca a la superficie del conductor el cual está de antemano protegido por el óxido formado en él.

La resistencia de los conductores es la causa principal de la pérdida de energía en las lí

neas de transporte de energía como las de transmisión, subtransmisión y de distribución.

En un sistema de corriente continua, la resistencia efectiva es igual a la resistencia del conductor, en tanto que la falta de uniformidad en la distribución de corriente produce el denominado efecto piel en los circuitos de corriente alterna y aumenta la impedancia de los conductores.

La resistencia en corriente continua viene dada por la fórmula:

$$R_0 = \frac{p \cdot l}{A} \text{ (ohmios)}$$

donde:

p = resistividad del conductor

l = longitud del conductor

A = área de la sección transversal

La resistividad del aluminio a 20° es de $2,83 \times 10^{-6}$ ohmios/cm². Obviamente la re-

sistencia de un conductor trenzado es mayor que el de un solo conductor, por cuanto la corriente tiene que recorrer en todos los hilos, este incremento en resistencia que forman los hilos trenzados está calculado en 1% más para conductores de tres hilos y un 2% más para los hilos concéntricos.

AISLADORES:

Se usa dos tipos de aisladores, principalmente en este sistema resulta más sencillo y económico el tipo espigado hecho de porcelana, cuyas características se ilustran en las Figuras N^o 4.37 y 4.38.

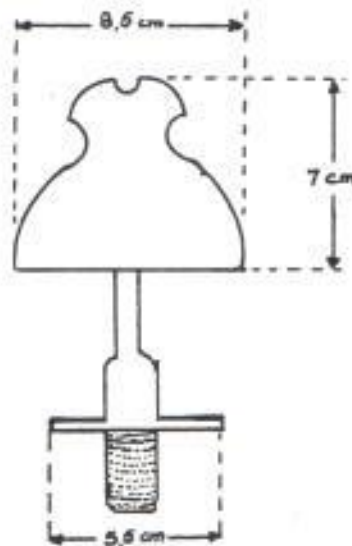


FIGURA No. 4.37 MEDIDAS DE UN AISLADOR TIPO ESPIGA

El aislador tipo espiga es de una sola capa y se monta directamente en la base de la cruceta, de modo que la base del aislador descansa sobre ella y se asegura con la tuerca que se vé en la parte inferior del aislador.

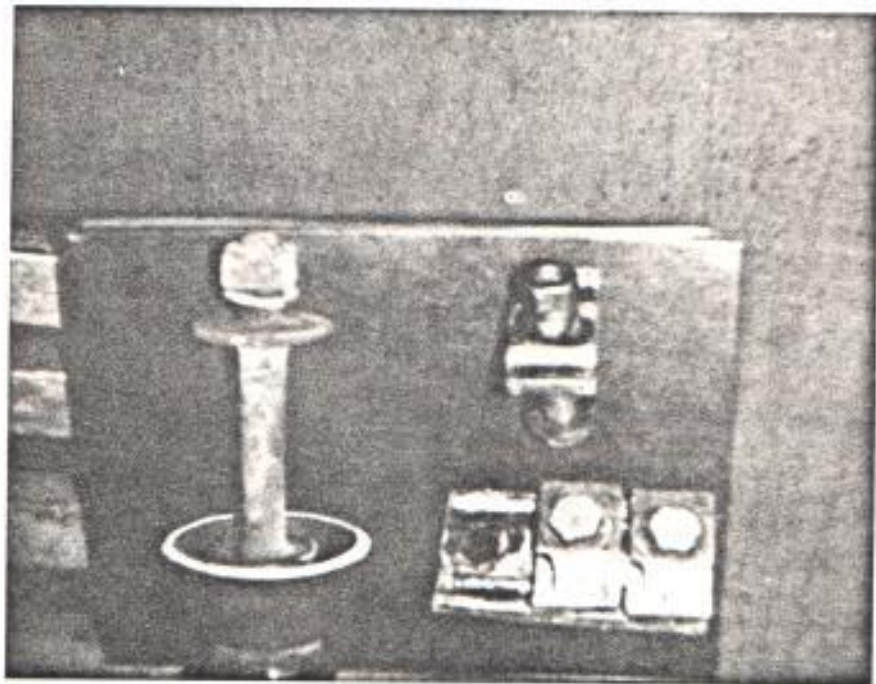


FIGURA No. 4.38 A LA IZQUIERDA UN ELEMENTO DE UNION DE CABLES DE ALIMENTACION Y DERECHA AISLADOR TIPO ESPIGA.

El otro tipo de aislador utilizado en este sistema es conocido como aislador tipo suspensión que se muestra en la Figura N° 4.39.

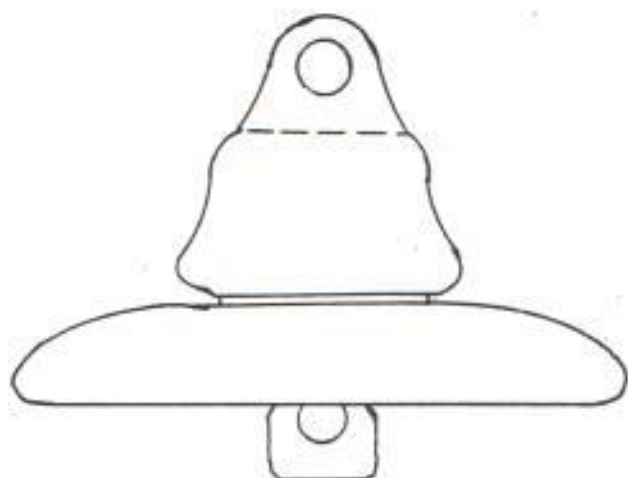


FIGURA No. 4.39 DOS VISTAS DE UN AISLADOR TIPO SUSPENSION

Estos aisladores se utiliza normalmente en los postes de ramificación del circuito o curvas tal como se puede apreciar en la Figuras N^o 4.34 y 4.35; las mismas están unidas a un aparato tensor o sujeción de las líneas de alimentación ilustradas en las Figuras N^o 4.40 a y b.

Finalmente se usan aisladores tubulares para sujetar las líneas de alimentación en curvas de un ángulo mayor a 90° , esta situación se presenta en tramos ondulados en el que la línea cruza de una acera a otra debido a situaciones especiales, o bien cuando el vano tiene mayor longitud de lo normal y la catenaria tiene flecha, entonces se usa

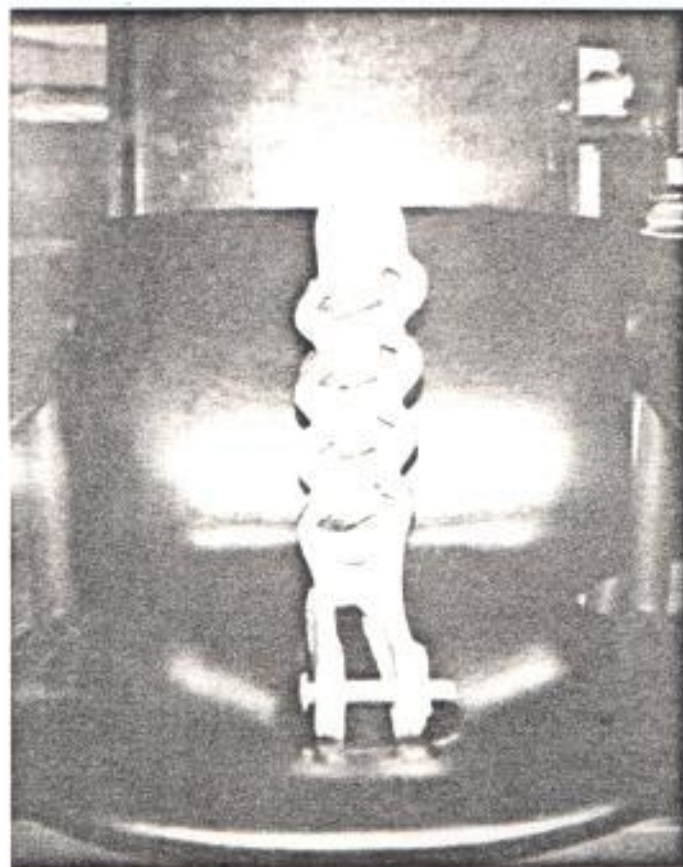


FIGURA No. 4.40 ELEMENTO TENSOR UTILIZADO EN POSTES DE ANCLAJE Y CAMBIOS DE DIRECCION VISTA FRONTAL.

A)

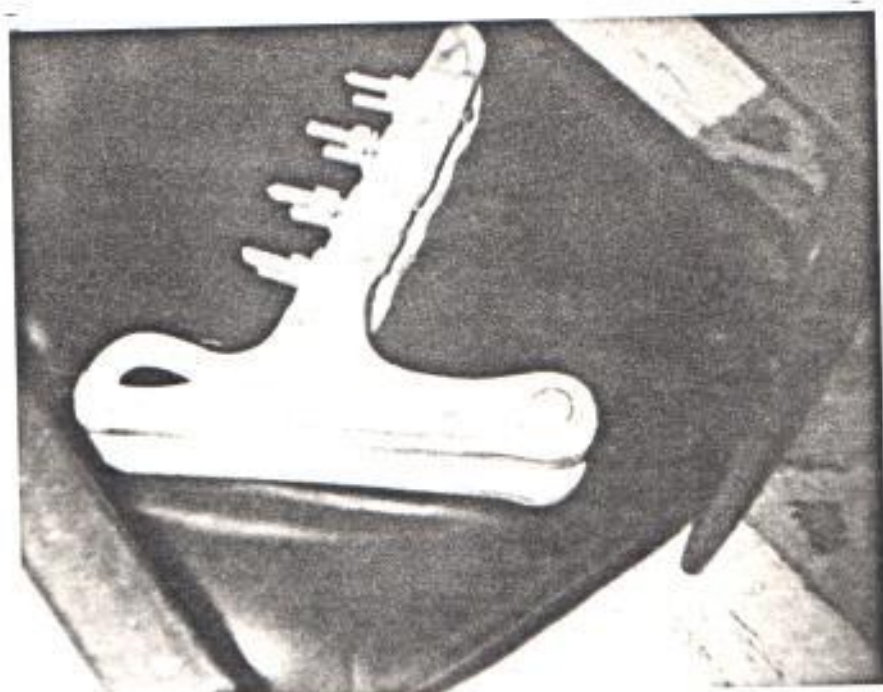


FIGURA No. 4.40 APARATO TENSOR VISTO LATERALMENTE

B)

aisladores de este tipo para separar las líneas, la Figura N° 4.41 ilustra uno de estos casos.

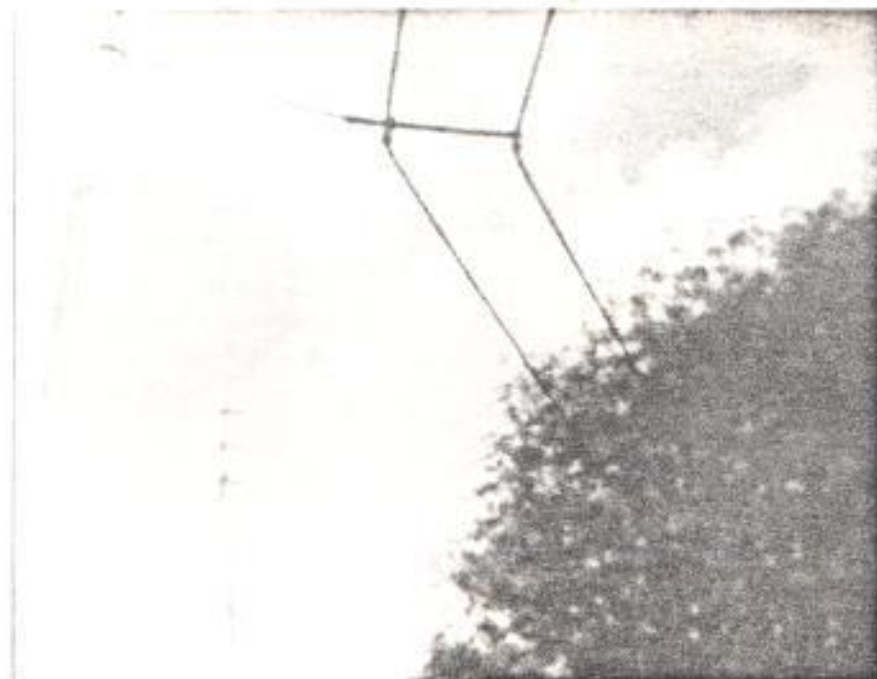


FIGURA No. 4.41 AISLADOR TIPO TUBULAR USADO EN TRAMOS ONDULADOS O CURVAS DE LINEAS DE ALIMENTACION.

Otro elemento utilizado en las líneas de alimentación son las abrazaderas o uniones, que como su nombre indica es usado para empatar una sección del tramo a otro o bien para unir el bajante de la línea de alimentación a la línea de contacto, estas unio-

nes no tienen dimensiones estandarizadas y varían según el diámetro de los conductores a ser empatados, observe las Figuras N^o 4.38 y 4.42.

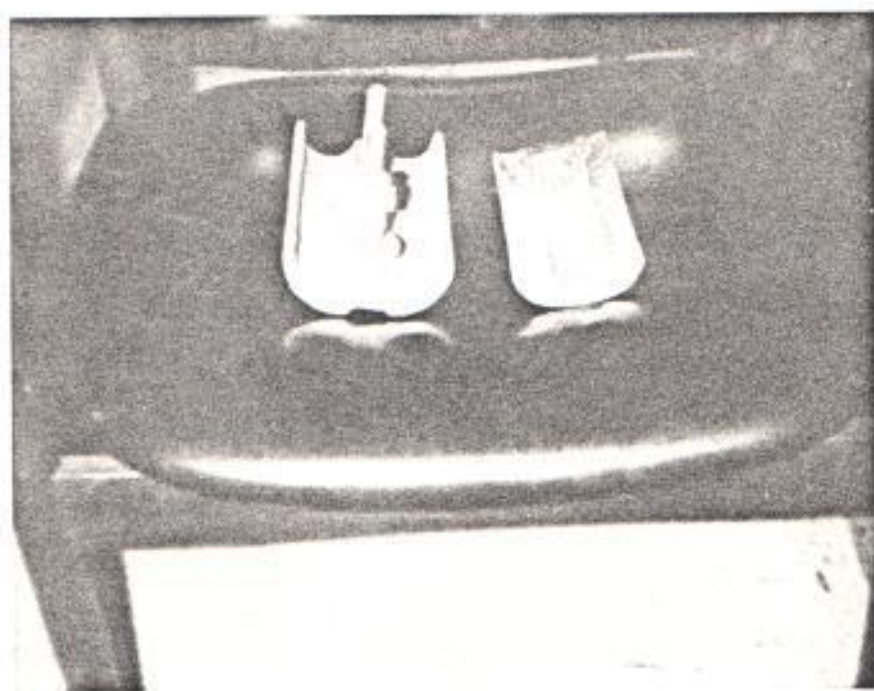


FIGURA No. 4.42 ABRAZADERAS DE HIERRO GALVANIZADO

4.8 SUBESTACIONES.-

Para una electrificación de unidades de transporte, las subestaciones están bajo techo, sobre una área de aproximadamente 200 m². La disposición de los aparatos en el edificio depende las condiciones particulares de cada caso, tales como: la superfi-

cie disponible, la configuración de la misma y la seguridad de servicio deseado. Por esta razón es necesario conocer la disponibilidad del terreno para la construcción del edificio para proyectar la planta rectificadora o subestación.

El edificio se construye normalmente utilizando los materiales comunes para este propósito, con todas las comodidades requeridas; tales como puertas, ventanas e iluminación adecuada; dando a ésta una imagen razonable de lo que contiene en ella y que el operario pueda realizar mejor su acometido en una ambiente agradable.

Otro aspecto importante para seleccionar el lugar donde debe estar ubicada una planta rectificadora depende de las líneas de alimentación cercana a dicha planta.

4.8.1 Tipos de subestaciones.-

Las subestaciones predestinadas al servicio de electrificación de transporte público con corriente continua se puede clasificar en tres tipos: manuales, automáticas y control de supervisión.

- Las subestaciones manuales necesitan vigilantes para arrancar y parar las máquinas, abrir y cerrar los interruptores y supervisar las demás operaciones.

- Las subestaciones automáticas; en este caso los relés reemplazan al vigilante en todas las operaciones como respuesta a la carga o tensión del sistema. Todo diseño automático está hecho de manera que también pueda operarse manualmente cuando las necesidades así lo requieran.

En las subestaciones con control de supervisión, la operación de los relés se realiza desde un punto central, donde el encargado lleva un cuadro de distribución de carga y según sea necesario, activa los circuitos que conecten los relés en la subestación, muy similar a las operaciones que realizan las compañías eléctricas de servicio público.

Habiendo expuesto los tipos de subestaciones existentes para este propósito, a nuestro criterio un sistema combinado de los tres re

sultaría adecuado para un servicio confiable y seguro de la energía para el transporte eléctrico.

El sistema combinado consistiría: Primeramente, la planta debe constar con un vigilante, encargado de supervisar y comunicar al jefe de división (ingeniero) la correcta y oportuna operación de la maquinaria y equipos existentes en la subestación, Por otra parte toda subestación moderna ya sea de elevación o reducción de potencial en c. a., y subestación de rectificación en c.c., siempre posee aparatos de disparo y reconexión automático que además tiene una cabina de control donde se monta la mayor parte de los equipos de protección de la planta y de la línea.

4.8.2 Elementos de una subestación.-

Una planta rectificadora de corriente alterna a 13.800 voltios en corriente continua a 600 voltios, posee los siguientes elementos:

ACOMETIDA DE SERVICIO PRINCIPAL Y AUXILIAR:

La empresa eléctrica de la región provee servicio de corriente alterna a 13.800 voltios y 60 Hz. El tipo de conductor utilizado depende de la capacidad del transformador y puede ser subterráneo o aéreo, la siguiente figura ilustra una acometida que tiene la "EDTU" en la planta "Minuto de Dios" (Bogotá).

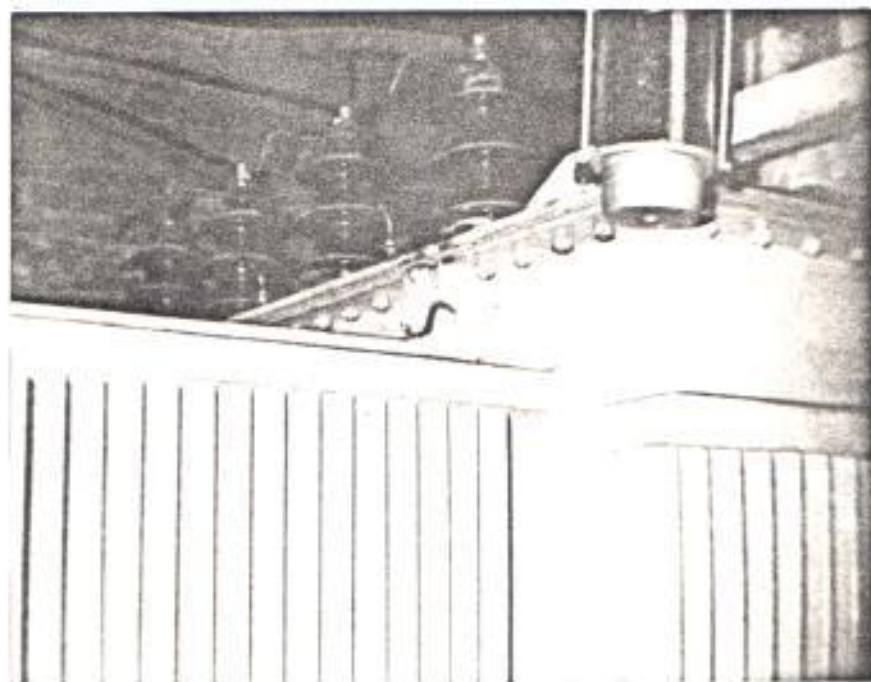


FIGURA N 4.43 ACOMETIDA DE LA BARRA DE 13.800 VOLTIOS A LOS BORNES DEL TRANSFORMADOR (PRIMARIO)

La empresa eléctrica como en toda industria,

instala medidores de potencia, en consecuencia transformadores de corriente y de voltaje, lo cual en este caso también se cumple. Obviamente la acometida de la empresa regional de electrificación llega primero hasta unas barras de cobre desde donde se distribuye la energía para los diferentes requerimientos de la planta.

La acometida está provista de:

- Pararrayos
- Interruptores automáticos desde elevada tensión.
- Transformadores reductores de voltaje y de corriente.

La subestación posee también transformadores auxiliares reductores de 13,800/220 voltios, cuya capacidad varía según los requerimientos de servicio auxiliar de la planta.

RECTIFICADOR:

Para la rectificación, se reduce el voltaje primario de alimentación 13,800 ó 69,000 vol

tios c.a., y por cada fase del sistema primario, se saca dos grupos de bobina en el secundario, obteniéndose en total seis fases en el secundario del transformador; en la sección 5.6.4 se hace un estudio detallado de este sistema en general.

En las siguientes figuras se ilustran las celdas con equipos de rectificación y los elementos de rectificación (diodos de potencia).

4.8.2.1 Estructuras, aisladores, herrajes, grapas, terminales, etc.-

Al instalar una subestación existen centenares de elementos que en este acápite procuraremos mencionar ligeramente algunos de ellos.

CONDUCTORES:

Existe una infinidad de conductores en los diferentes sectores de la planta, los de mayor uso son: AWG # 1/0 usado para conectar la barra principal con los terminales prima

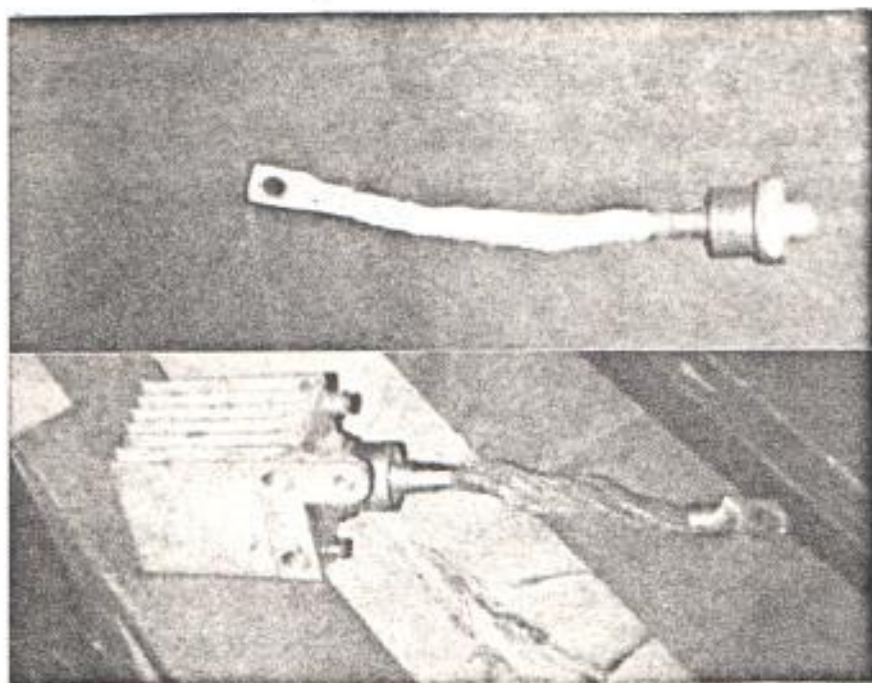


FIGURA No. 4.45. DIODOS DE POTENCIA DE SILICIO ABAJO EL MISMO DIODO CON ALETAS QUE AYUDAN A DISIPAR EL CALOR.

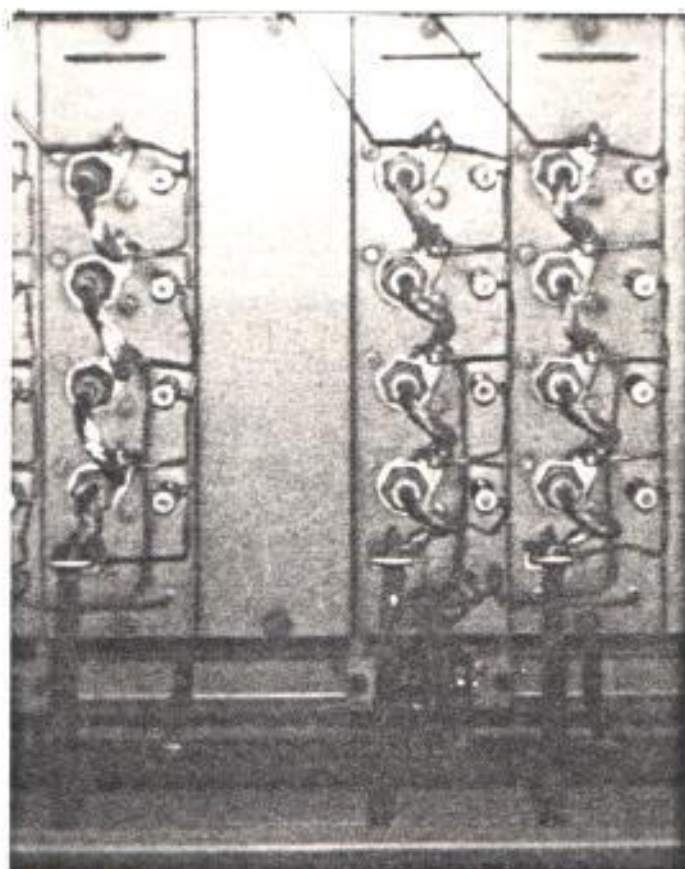


FIGURA No. 4.44. VISTA DE UNA FASE RECTIFICADORA IMPLEMENTADA.

rios del transformador principal; 250 MCM de cobre utilizado para conectar el neutro del transformador principal con la barra negativa del sistema de alimentación en c.c., este mismo conductor se utiliza para conectar la barra positiva con el panel de rectificación; las barras positiva y negativa de salida de corriente continua, hechos de cobre. La conexión de los transformadores para servicio auxiliar y sus correspondientes barras se hace con conductores de cobre N° 4 y 1, etc.

Las estructuras empleadas tanto para la llegada de la acometida en corriente alterna como para la salida en corriente continua están hechos de hierro angular recubiertos de pintura antioxidante, las mismas pueden servir para construir celdas que brinden seguridad al operador y ahorrar espacio instalando los contactores y circuitos de control en dichas cabinas cuando éstas sean debidamente aisladas como se ilustra en la Figura N°. 4.47.

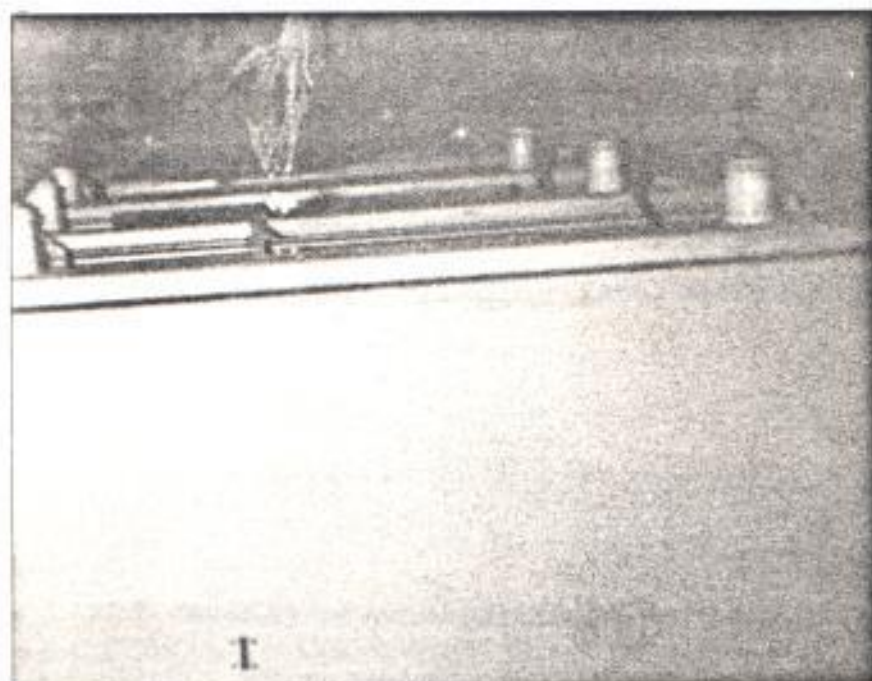


FIGURA No. 4.47 ESTRUCTURAS EN DONDE DESCANSAN LAS BARRAS POSITIVA Y NEGATIVA DE SALIDA C.C.

AISLADORES:

La gama de estos elementos en una subestación es difícil de prescribir, sin embargo podemos anotar que estos deben ser montados en sitios de libre acceso para su fácil reposición o mantenimiento en caso de daños.

En general los elementos que existen en una planta rectificadora para servicio de transporte, son los mismos que requiere cualquier subestación de reducción para distribución de energía c.c., al público.

4.8.2.2 Transformador y clases.-

El transformador principal de las subestaciones es el tipo bañado en aceite, denominada así porque la cantidad de calor producido se refrigera por circulación de aceite en los radiadores. La circulación se realiza por el principio de termosifón, cuya superficie exterior se aumenta por ála bes, además está provisto de un control de protección Buchholz, tal como ilustra la Figura N^o. 4.48. Los contactores que conectan al transformador con la barra están bañados en aceite (interruptores de aceite tipo UB).

Las características del transformador utilizado en la subestación de rectificación es prácticamente similar a los que se emplea en las subestaciones de distribución comercial es decir:

- Voltaje primario 13.800 0 69.000 voltios, dependiendo del sistema eléctrico regional.
- Voltaje secundario 600 voltios en doble fase.

- Capacidad nominal, según los requerimientos de carga que se calcula en el siguiente capítulo.
- Frecuencia 60 Hertz
- El esquema eléctrico, se ilustra en la sección 5.6.4.

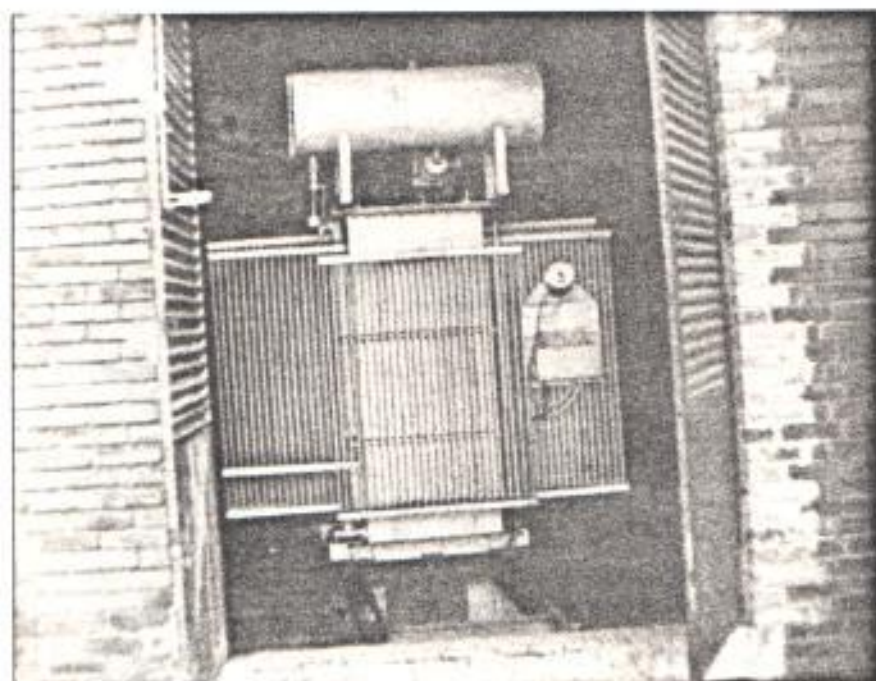


FIGURA No. 4.48. TRANSFORMADOR PRINCIPAL DE LA PLANTA RECTIFICADORA.

Los transformadores de una subestación rectificadora, normalmente realizan una o más de las siguientes funciones:

- Transformar la tensión alterna de alimentación disponible al valor necesario para luego obtener la tensión continua necesaria.
- Proporcionar el número de fases requeridas para obtener las formas de onda deseadas de la tensión y corriente continua con el menor rizado posible.
- Aislar el circuito de corriente continua del circuito de alimentación de corriente alterna.
- La reactancia del transformador, sirva para limitar las corrientes de defecto que de otra manera, podrían causar daño.

Bajo ciertas condiciones favorables, se puede prescindir de un transformador, conectándose directamente el equipo rectificador a un circuito de alimentación trifásica, si la tensión del circuito alterno disponible proporciona la tensión continua deseada. Estas disposiciones normalmente se usan en la industria para alimentar motores de corriente continua en diferentes aplicaciones.

A causa del paso reversible de potencia, las denominaciones primario y secundario no pueden usarse convenientemente para los dos arrollamientos del transformador de rectificador. El arrollamiento conectado al circuito de corriente alterna se denomina arrollamiento de c.a., en tanto que el arrollamiento conectado al circuito rectificador (c.c.) lleva el nombre de arrollamiento de corriente continua.

4.8.2.3 Campo de protección.-

La protección del sistema de distribución de energía c.c., para alimentar trolebuses, consiste en el uso de dispositivos de acción rápida como ser: disyuntores, interruptores catódicos, seccionadores, etc., muy similares a los que todo sistema eléctrico comercial posee, con la diferencia de que los dispositivos que funcionan bajo el principio de inducción de campo no puede utilizarse en este caso por razones obvias; sin embargo cuando hay necesidad de ellos, se instala antes de rectificar las señales de onda.

Los detalles de protección del sistema, se estudia y se aplica en el siguiente capítulo. (Secciones 5.4 y 5.6.5).

4.8.2.4 Sistema de puesta a tierra.-

Es importante conocer la situación de los puntos en los que un sistema está unido a tierra, con el objeto de calcular las corrientes que circulan cuando se produce una falla que incluye la tierra.

En las subestaciones, normalmente los transformadores de tipo estrella trifásico se intercala una resistencia o reactancia en el punto neutro de dicho transformador, denominado "neutralizador de fallos a tierra"; en tanto que el neutro de otros transformadores son puestos a tierra francamente, dependiendo del criterio del ingeniero con respecto a su sistema.

Según el criterio de especialistas en sistemas de distribución c.c., el transformador principal de la planta rectificadora, debe instalarse un reactor de las características

que se ilustran en la Figura N° 4.49, porque el sistema maneja elevadas corrientes de falla. El reactor en mención se debe instalar en la subestación tal como se aprecia en el diagrama de la Figura N° 5.22.



FIGURA No. 4.49. REACTOR DE PUESTA A TIERRA DEL TRANSFORMADOR.

La puesta a tierra del circuito de alimentación se realiza a través de los postes cada 300 a 500 metros, según se ilustra en el diseño de la línea elegida (Capítulo V).

CAPITULO V

ELECTRIFICACION DEL TRANSPORTE MASIVO DISEÑO PRELIMINAR APLICADO A UN SECTOR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

5.1 INTRODUCCION.-

A manera de ejemplo, en el presente capítulo se bosqueja un diseño preliminar de las líneas de distribución c.c., para alimentar vehículos eléctricos.

La red eléctrica y la planta rectificadora que se diseña, no es definitivo para una aplicación práctica, se admite que requiere de afinamientos técnicos por parte de ingenieros especializados y experimentados en la rama; sin embargo la intención del trabajo es sentar nociones básicas en esta rama tan nueva en nuestro medio y que constituye una alternativa para solucionar un problema de transporte urbano tan agobiante en la ciudad de Guayaquil.

5.2 CALCULO DE LA CARGA DEL VEHICULO.-

La potencia necesaria para realizar un servicio dado depende del peso del vehículo, frecuencia de las paradas, condiciones del tramo, etc. La elevada frecuencia de paradas influye mucho porque consume muchos tiempos picos de energía, ya que se trata de vencer toda la inercia del vehículo y la carga (pasajeros). El esfuerzo de tracción que normalmente se expresa en Kg , tiene una relación exacta con el par de los motores dependiendo de la relación de engranajes, entonces el esfuerzo de tracción puede expresarse como:

$$T_e = T.G.E.R$$

Donde:

T = Par del motor en kilográmetros

R = Radio de la rueda motriz en m.

G = Relación de engranajes

E = Rendimiento de la transmisión mecánica

A esto se debe agregar la resistencia al movimiento con llantas de goma, ya que rodando sobre pavimento es algo mayor que con ruedas de acero sobre carril; por lo tanto, mayor es la potencia necesaria para un peso y una aceleración dada. A fin de

esclarecer un poco más esta diferencia, presentamos una tabla de datos sobre la resistencia para ambos tipos de ruedas.

TABLA No.VIII

RESISTENCIA DE LA VIA A DOS TIPOS DE RUEDA

CLASE DE RUEDAS Y CAMINOS	KILOGRAMOS POR TONELADA METRICA
Ruedas de acero sobre rieles de acero	3,3 - 10
Ruedas con neumáticos sobre pavimento de asfalto duro (horizontal).	7,3 - 17,5
Ruedas con masisos sobre pavimento de asfalto duro en horizontal.	10 - 20
Ruedas de acero sobre caminos medianos	25

La resistencia también varía según el tipo de pavimento, por lo tanto a continuación presentamos los valores medios, tomando como referencia la resistencia del asfalto duro.

TABLA No.IX

RESISTENCIA A LAS RUEDAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SUPERFICIE.

SUPERFICIE DEL CAMINO	RESISTENCIA RELATIVA
Asfalto duro	1,00
Hormigón liso	1,00
Macadam	1,15
Tarvia o macadam petroleado	1,14
Pavimento en ladrillo vitrificado	1,35
Nieve blanda	21,0

Los ingenieros encargados del diseño de motores de carga para vehículos de tracción, toman como parámetro de medida la fuerza de tracción transmitida a las ruedas del vehículo.

El esfuerzo de tracción requerido para mover un vehículo dado puede ser dividido en varios componentes:

- El componente requerido para proveer aceleración
- Componente requerido para vencer la resistencia del vehículo.
- Componente requerido para vencer el gradiente (pendientes).
- Componentes requerido para vencer la curvatura

La energía consumida por la unidad de tracción, puede ser obtenida considerando individualmente el trabajo realizado por los cuatro componentes antes mencionados; y la energía total consumida puede ser obtenida sumando todos estos componentes.

La energía específica consumida es usada para propósitos de comparación y se mide en k.w.h.

$$E_{ec} = \frac{\text{Energía total consumida (watts/hora)}}{\text{Peso del vehículo en toneladas por distancia cubierta}}$$

El principal factor que afecta la energía consumida por un vehículo dado en una sección del tramo, es la máxima velocidad obtenida, permaneciendo constante los demás factores.

Obviamente el objetivo del trabajo no es diseñar un motor de tracción del vehículo mucho menos construir la unidad de tracción, por esta razón tomaremos directamente datos referenciales del consumo de energía de los diferentes modelos de trolebuses, que estudiamos en el Capítulo III, esto se resume en la Tabla N^o

TABLA No. X

POTENCIA DE LOS DIFERENTES MODELOS DE TROLEBUS

TIPO DE VEHICULO	POTENCIA CONTINUA CONSUMIDA.	CAPACIDAD DE TRANSPORTE (PAS.)
Trolebús sencillo	100 Kw	100
Trolebús articulado	150 Kw	160
Trolebús de dos pisos	140 Kw	120
Trolebús con remolque	166 Kw	150

ANALISIS DE UNA RUTA TIPICA:

Parámetros reales de diseño:

Para una ciudad con una población de 200.000 más personas económicamente activas en la ruta analizada, se considera un trayecto que cruza la ciudad de un extremo a otro en ambos sentidos, con una duración entre 30 y 45 minutos por viaje en cada ruta.

- Velocidad promedio, 30 Km/h
- Longitud de ruta, 15 Km en cada sentido (JICA)
- Horario de operación, 24 horas
- Demandas aproximadas: horas pico: de 6 am - 9 am
12 am - 2 pm y de 5 pm - 8 pm; Horas medias (normales) de 9 am - 12 am, 2 pm - 5 pm y de 8 pm - 11 pm; Horas lentas de 11 pm - 6 am. Entonces en total, se tiene 8 horas pico, 9 horas normales y 7 horas lentas. Esta demanda se ilustra gráficamente en la Figura N° 5.1
- Capacidad de los vehículos, pasajeros sentados 100, de pie hasta 160 personas.

Considerando una longitud de 15 Km de la ruta como se ilustra en la Figura N°5.2, se puede dividir este tramo en 30

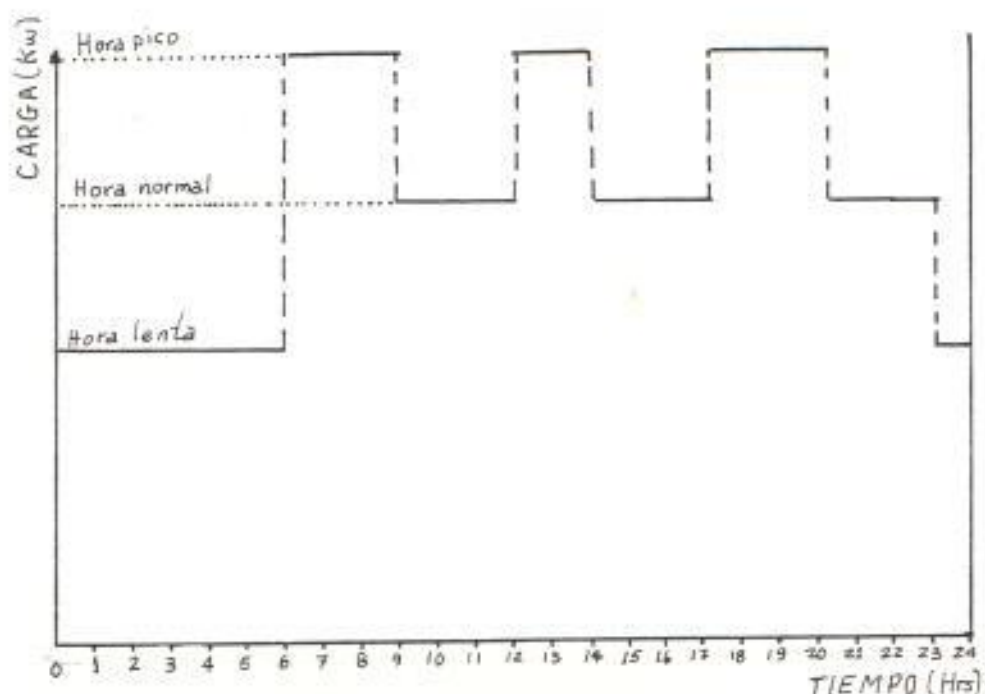


FIGURA No. 5.1 CURVA DE CARGA-TIEMPO

paradas autorizadas, es decir cada 500 metros. El número de vehículos circulando en la ruta dependerá de las horas, en consecuencia de la demanda de pasajeros. Para calcular el número de personas que pueden ser movilizadas por cada vehículo vamos a asumir ciertos parámetros recopilados de la experiencia en otro tipo de transporte (buses a diesel).

Horas pico:

Supongamos que a esta hora el número de pasajeros que se embarcan en la estación (punto de partida) es de 100, entonces el conductor arranca con esta



Fig. 5.2 RUTA PROPUESTA POR LA COMPAÑIA JAPONESA (J.I.C.A.)

carga y recoge 10 pasajeros en la primera parada, luego recoge 10 pasajeros en la siguiente parada, donde se quedan 10 pasajeros a su vez, entonces en las restantes paradas circulan promedialmente esta misma proporción; al llegar a la última parada habrán circulado $30 \times 10 = 300$ pasajeros, más los 100 pasajeros que se embarcan inicialmente suman 400 personas movilizadas por cada unidad a lo largo de todo el tramo.

Por otra parte supongamos que la frecuencia de salida en horas pico sea de 3 minutos, entonces por cada hora se podrá despachar 20 vehículos, con una separación de uno al otro de aproximadamente 750 metros.

La capacidad de transporte de la ruta por hora será entonces de:

$$400 \times 20 = 8.000 \text{ pasajeros - hora pico}$$

Considerando el total de horas pico al día, tenemos.

$$8.000 \text{ Psj/h} \times 8 \text{ h/día} = 64.000 \text{ pasajeros/día}$$

Horas normales:

En las horas normales la frecuencia de salida podría prolongarse a 5 minutos, en consecuencia se tendría 12 vehículos en la ruta con una separación de 1.250 metros uno respecto al otro; además suponiendo que la circulación de pasajeros en el trayecto haya disminuido a la mitad (5 pasajeros), multiplicando por el número de paradas del tramo se tendría: 100 inicialmente embarcados más 150 pasajeros en circulación, el total de pasajeros movilizados por cada unidad en horas normales será:

$$100 + 150 = 250 \text{ pasajeros/hora (por unidad)}$$

A esta hora el número de vehículos por tramo es 12, entonces el total de pasajeros movilizados por ruta en cada hora será:

$$250 \times 12 = 3.000 \text{ pasajeros/hora (normal)}$$

El total de horas normales es 9, entonces el número de pasajeros movilizados por día en horas normales es:

$$3.000 \times 9 = 27.000 \text{ personas/día (hora normal)}$$

Horas lentas:

Comprende las horas de la madrugada, normalmente a estas horas el número de pasajeros disminuye, sobre todo en el trayecto por lo tanto, para atender la demanda de pasajeros que viajan al interior del país; la frecuencia de la línea de trolebuses se podría disminuir aún más que el anterior, es decir en 10 o 15 minutos dependiendo de la demanda; por lo tanto, el número de vehículos en la ruta será de 4 a 6 a la vez, con los que se lograría trasladar: El vehículo parte con el 50% de su capacidad (80 personas) y añadamos unas 20 personas circulando, cada vehículo transportará solamente 100 personas a lo largo del tramo; multiplicando por el número de vehículos se tiene 400 a 600 personas movilizadas por hora y finalmente considerando el número de horas lentas, obtenemos el número de pasajeros movilizadas por día en horas lentas que alcanza a 2.800 o 4.200 personas/día dependiendo de la frecuencia de partida de los vehículos en esta horas.

El total de personas transportadas por día será la suma de las correspondientes movilizaciones parciales por día, es decir:

64.000 psj/día (h-pico) + 27.000 psj/día (h-normal)
 + 4.800 pasajeros/día (h.lenta) = 95.800 pasaje-
 ros/día (por ruta).

Si asumimos que igual número de personas se movili-
 zan en sentido contrario, entre los dos puntos se
 habrá trasladado.

$$95.800 \times 2 = 191.600 \text{ pasajeros por día}$$

Para calcular el número de unidades que requiere
 el sistema para atender la demanda de cerca de
 200.000 habitantes es conveniente siempre pensar
 en la demanda de horas pico, lo cual según lo ex-
 puesto necesita:

20 unidades en el sentido norte-sur
 20 unidades en el sentido sur-norte
 4 unidades estacionados, 2 en cada extremo
 (reserva).
 6 unidades en mantenimiento
 —
 50 unidades (flota de trolebuses)

Para calcular la potencia que absorbería el siste-
 ma en horas pico se toma en cuenta nuevamente el

número de unidades que están en servicio en este período de demanda; que son 40 trolebuses, si consideramos que cada unidad consume promedialmente la potencia de placa, entonces, la potencia requerida para la alimentación del sistema es:

$$40 \times 150 \text{ Kw} = 6.000 \text{ Kw.}$$

¿Nuestro sistema está en capacidad de atender esta demanda de energía? La respuesta es afirmativa; si consideramos que la administración regional de energía eléctrica, aplica el estudio de planificación de energía para el año 2.000 que realizó la ESPOL, del que se ha recopilado la siguiente información.

La ESPOL ha realizado el estudio de mercado de la energía eléctrica de la ciudad de Guayaquil con una proyección al año 2.000; en su proyección de cargas especiales, consultando con EMELEC, en base a la solicitud de nuevos servicios con organismos relacionados al desarrollo industrial, a fin de identificar nuevas industrias posibles en el futuro cercano, estableció entre ellas, como carga especial el uso de la energía eléctrica en el transporte.

En el estudio que realizará la ESPOL, ha construido la Tabla N° XI, con los datos proporcionados por la (JICA), entidad encargada del estudio de transporte que trabaja bajo la supervisión de la Comisión de Tránsito del Guayas (C.T.G).

TABLA NO. XI

REQUERIMIENTOS DE LA ENERGIA ELECTRICA PARA EL TRANSPORTE LONGITUD DE RUTAS Y NUMERO DE PASAJEROS PARA AMBAS VIAS.

RUTA	LONGITUD DE RUTA (Km).	Nº DE ESTACIONES	Nº PASAJEROS/DIA
Norte-Sur	26,3	26	629.000
Este-Oeste	24,7	25	543.000

De acuerdo al estudio realizado por JICA, el régimen requerido para el año 2.000 es de 34.000 pasajeros/hora (ruta).

La programación elaborada para su ejecución según la misma compañía se detalla en la Tabla N° XII

TABLA No. XII

ALTERNATIVA FERROCARRIL URBANO LIVIANO ELECTRICO

AÑO	CONS/GWH	LONGITUD	Nº ESTACIONES	TIEMPO	Nº TRENES
1990	76,66	N-S 15 Km	15	40'	12
1995	178,88	N-S 15 Km	15	40'	
		E-O 16 Km	16	40'	28
2000	332,20	N-S 26,3Km	26	60'	
		E-O 24,7Km	25	60'	52

La Tabla N^o XII presenta los requerimientos de la energía eléctrica para el transporte urbano de la ciudad de Guayaquil, así como las etapas de su puesta en servicio, siempre que el proyecto sea favorablemente acogido por el gobierno.

Sin embargo el estudio de planificación para este servicio nos alienta la factibilidad de contar con un servicio de transporte eléctrico, ya sea sobre rieles o bien sobre llantas de goma como nuestro objetivo está dirigido. Por lo menos respecto a la energía eléctrica tenemos la seguridad de poder contar aún en el caso de que se desee electrificar doble ruta en el tramo previamente analizado, lo cual doblaría la capacidad de transporte de la red de trolebuses.

Un análisis tan superficial, como el que hemos realizado, nos demuestra que el trolebús consumirá menos energía que la planificada para transporte sobre rieles, por lo tanto apoyándonos en investigaciones adicionales podemos mencionar muy seguros de que entre los vehículos de transporte público, el trolebús ha sido reconocido como un sistema relativamente bajo en el consumo de energía; a esto debemos reforzar con la siguiente observación; "Co

mo resultado de la tecnología básica en la cual la alta fuerza de torsión y el corto tiempo de capacidad de sobrecarga de un motor eléctrico están compartidas con el liviano peso de la carrocería. (Comparado con un vehículo de rieles) y el alto factor de adhesión de las llantas de caucho sobre el pavimento".

5.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA PRIMARIO DE ALIMENTACION.-

El estudio del sistema eléctrico actual se ha dividido en áreas como: generación, transformación, subtransmisión y distribución primaria y secundaria.

Las distribuciones secundarias del sistema no nos interesa para la consecución de nuestros estudios u objetivos, por lo tanto no escatimamos esfuerzo alguno por detallarlos, sin embargo los circuitos de distribución primaria de 13,8 Kv. o 69 Kv., es el sector comprendido para nuestro interés de los que describiremos con cierto en detalle.

GENERACION:

En la actualidad, la energía eléctrica para Guaya-

quil está suministrada por EMELEC o INECEL, de los cuales el primero se encarga de manera exclusiva en la atención del servicio eléctrico de la ciudad de Guayaquil.

Las características del sistema supervisado por EMELEC consta de dos centrales de generación, como se detalla en la siguiente tabla. XIII.

TABLA No. XIII
CENTRALES DE GENERACION DE GUAYAQUIL

	UNIDADES A GAS	UNIDADES A VAPOR	VOLTAJE KV	CAPACIDAD MW
EMELEC Guayaquil	1	3 1	13,8 4,16	43,5
EMELEC Estero Salado	5	1	13,8	141
INECEL	1	-	69,0	29
SALITRAL				

SUBTRANSMISION:

El sistema regional, a la fecha consta con 7 líneas de subtransmisión que salen de las subestaciones Estero Salado; 2 de ellos se interconectan con la planta de Guayaquil en anillo y las 5 restantes son radiales.

Estas líneas reparten la Potencia a 12 subestaciones de reducción de la empresa y 11 subestaciones de reducción privados, ver la Tabla N° XVI

El sistema eléctrico regional, además de las dos plantas ya mencionadas cuenta con la entrega de energía por parte del sistema nacional interconectado (SNI) constituyéndose en el más importante en la actualidad. La potencia viene de la subestación que a este voltaje tiene INECEL junto a la subestación del Estero Salado, a través de dos circuitos denominados barras A y B, vea el diagrama adjunto (Figura 5.3).

Del total de energía que requiere el sistema Guayaquil, INECEL aporta con aproximadamente 75% y EMELEC con solamente 25%.

El sistema de sub-transmisión de Guayaquil es en su totalidad aéreo con una longitud total de aproximadamente 112 Km cuyas características más importantes son:

- Tensiones: El voltaje de operación para el sistema de subtransmisión es de 69 kilovoltios.

- Conductores: Se ha utilizado en su mayor parte el conductor de aluminio reforzado con alma de acero ASQR de 477 MCM; 336,4 MCM 4/0 AWG, y otros conductores que se detalla en la Tabla N^o XIV

SUBESTACIONES DE REDUCCION:

En la actualidad el sistema Guayaquil consta con 20 transformadores de reducción ubicados en las 13 subestaciones, habiendo una S/E con 3 transformadores; 5 con 2 transformadores y 7 con un solo transformador, la Tabla N^o XV detalla mejor esta distribución.

Además de estas subestaciones, en la planta Estero Salado, hay 2 salidas de alimentadoras a 13,8 Kv y en la planta Guayaquil 6 salidas a 13,8 y 4 a 4,16 Kv.

Finalmente existe 11 subestaciones de reducción privados, pertenecientes a las industrias y otros organismos, cuya capacidad servida por estas subestaciones está por encima de los 45 MVA,

En la descripción del sistema estamos dando datos

TABLA No. XIV

CALIBRES Y LONGITUDES DE LAS LINEAS DE SUBTRANSMISION DEL SISTEMA GUAYAQUIL.

SUBTRANS MISION	S/E SERVIDAS	CONDUCTORES				
		477 ACSR	477 5005	336.4 ACSR	4/0 ACSR	2/0 ACSR
SUR	Torre Molinera*	3.92		5.86	0.92	1.15
	Universal*				2.53	
	Pradera				0.43	
	Portuaria*	6.00				
	Base Naval*					
	Guasmo	2.40			0.70	
	Funasa*				1.66	
PORTETE	Esmeraldas P. Guayaquil		8.37 1.62			
GARAY	Garay	3.30	5.35			
NORTE	Boyacá P. Guayaquil	10.44		3.13	0.99	
CEIBOS	Ceibos	3.64				
	Policentro*			3.51		
	América			1.77		
	Atarazana			1.82		
PASCUALES	Mapasingue	8.25			5.03	
	Alborada	4.01				
	T. Terrestre					
	Fisa*	4.73				
	Sauce	2.10				
	Cridesa*	1.74				
	Cervecería*	4.61				
	Germania					
CEMENTO	Cemento*	1.41			10.70	
TOTAL POR CONDUCTOR		56.55	15.34	16.09	22.96	1.5

TOTAL POR LINEA : 112.09 Km

Distancia en kilómetros

* S/E particulares
Todas las líneas están conformadas por un solo circuito

TABLA No. XV

CAPACIDAD INSTALADA EN LAS SUBESTACIONES DE REDUCCION DEL SISTEMA GUAYAQUIL.

SUBESTACION	OA	FA	FOA-FA
Boyaca 1*	5	6.25	
Boyacá 2	12	16	
Boyacá 3	12	16	
Ceibos 1	12	16	
Ceibos 2	12	16	
Torre 1	12	16	
Torre 2	12	16	20
Esmeraldas 1	18	24	
Esmeraldas 2	16.5	22	27.5
Guasmo 1	12	16	
Guasmo 2	12	16	20
Garay 1	18	24	
Garay 2	18	24	
Atarazana	12	24	20
Mapasingue	18	24	
Sauces	8	10	
Germania	8	10	
Alborada	12	16	20
América	10	12.5	
Pradera	10	12.5	
TOTAL	249.5	329.25	350.75

Capacidad continua con 55°C de elevación de temperatura devanado.

TABLA No. XVI
CARGA DE LAS SUBESTACIONES A DICIEMBRE DE 1985

SUBESTACION	CAPACIDAD FA MVA	CARGA	
		MVA	%
Ceibos 1	16	(13.5)	(85.0)
Ceibos 2	16	(11.9)	(74.4)
Mapasingue	24	(17.3)	(72.1)
Sauce	10	(8.2)	(82.0)
Germania	10	(9.1)	(91.0)
Alborada	16	(14.4)	(90.0)
Atarazana	16	(12.0)	(75.)
Boyacá 1	7	(2.3)	(32.9)
Boyacá 2	16	(14.5)	(90.6)
Boyacá 3	16	(15.4)	(90.0)
Garay 1	24	(17.2)	(71.7)
Garay 2	24	(16.2)	(67.5)
Torre 1	16	(13.9)	(89.6)
Torre 2	16	(15.6)	(97.5)
Esmeraldas 1	24	(20.6)	(85.8)
Esmeraldas 2	22	(19.7)	(89.5)
Guasmo 1	16	(11.1)	(69.4)
Guasmo 2	16	(12.1)	(75.6)
América	12.5	(9.9)	(79.2)
Pradera	12.5	(5.5)	(44.0)

TABLA No. XVII

CARGA EN LAS LINEAS DE SUBTRANSMISION (MW)

HORA	SUR	NORTE	CEIBOS	GARAY	PASCUA LES	PORTETE	CEMENTO
1	27	5	21	10	21	11	17
2	27	5	20	10	20	10	17
3	27	4	19	9	20	9	17
4	27	4	19	9	20	9	17
5	26	4	19	9	20	10	20
6	27	5	20	10	20	10	20
7	29	7	21	11	21	15	20
8	27	10	25	14	40	17	21
9	27	13	32	19	50	16	22
10	29	16	36	21	55	25	22
11	30	17	40	24	54	26	22
12	31	15	41	24	56	23	21
13	34	17	40	23	55	25	18
14	34	16	42	22	60	25	12
15	33	17	43	22	60	27	14
16	35	18	42	25	57	28	16
17	34	18	38	23	54	25	16
18	43	18	38	25	53	30	16
19	50	18	42	27	58	31	16
20	50	15	40	23	57	27	18
21	50	13	36	20	53	24	18
22	45	10	33	18	48	20	20
23	36	10	28	15	44	20	21
24	30	6	24	13	40	15	18
CONDUCTOR	336.4	336.4	477	477	477	477	4/0
CAPACIDAD (MVA)	59	59	72	72	72	72	39
CAPACIDAD	89,16	31,47	62,23	39,07	86,83	44,86	58,67

generales, sin precisar las características de operación, mantenimiento, etc.; puesto que rebasa los límites de nuestro objetivo trazado.

A manera de datos generales incluimos la Tabla N° que detalla las cargas en las subestaciones, capacidad instalada y el porcentaje de utilización de la capacidad instalada. Así mismo en otra tabla N° se presenta la carga en las líneas de transmisión en las diferentes horas del día.

Para la consecución de nuestro propósito elegiremos una alimentadora en especial, la misma que suministrará potencia a la subestación rectificadora de c.a., a c.c. Una vez elegida la subestación e identificado la alimentadora se sabe cuando es aérea con conductor 336,4 MCM ASCR, la línea tiene una capacidad de 59 MVA, según consta en la Tabla N°

5.4 DISEÑO DE LA LINEA SECUNDARIA.-

En este caso como en el sistema de corriente alterna a frecuencia comercial, se tiene una red de distribución secundaria para servicio residencial y

comercial; la línea secundaria en nuestro caso, lleva corriente continua que se distribuye a lo largo del trayecto (que recorre el vehículo), a una tensión de 600 voltios.

Por tratarse de proyecto preliminar aplicado a un sector, del que no existe seguridad que sea aplicado fielmente, por el organismo encargado de su ejecución, no se efectúan evaluaciones detalladas en lo relacionado con el diseño de la red, características de los equipos, etc.

La línea secundaria utilizada para alimentar las unidades de tracción eléctrica (trolebús), como se ha señalado en el capítulo anterior; está constituida por dos redes a la misma tensión, en el que uno de ellos se denomina circuito de alimentación y el otro circuito de contacto.

Ambos circuitos se interconectan en el camino cada 300 a 500 metros por intermedio de los denominados bajantes, a continuación se hace un esquema de ambos circuitos.

Con el propósito de establecer ciertos parámetros en nuestro diseño, a continuación se exponen cier-

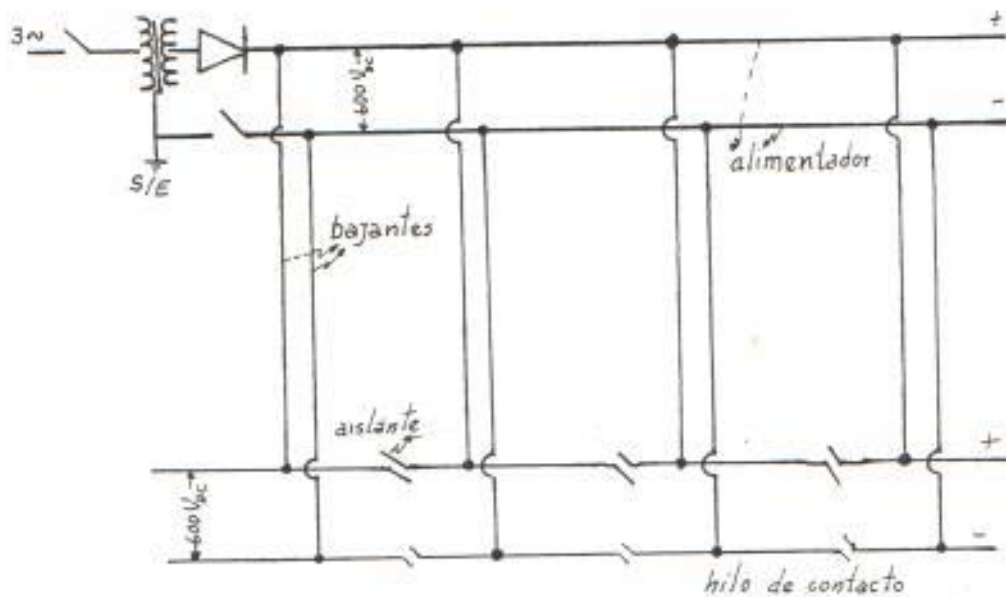


FIGURA No. 5.4 LINEA SECUNDARIA 600 VCC

criterios utilizados en el diseño de redes de distribución c.a.

Si la alimentadora que sale de la planta rectificadora cubre la mitad del tramo total, podemos suponer que existen variaciones de densidad de demanda de pasajeros aún las hora pico, puesto que la cantidad de pasajeros en los diferentes puntos del tramo varía; por ejemplo a la salida de la estación, el vehículo estará con menor número de pasajeros que en el centro de la urbe; por lo tanto el motor del vehículo estará trabajando con diferentes capacidades con respecto a su potencia nominal. Esto se puede asemejar el factor de simultaneidad utili-

zado en las redes de distribución c.a., con lo que la capacidad de la línea de alimentadora varía según el factor seleccionado.

Por otro lado se sabe que la capacidad nominal de carga del vehículo, incluye la energía consumida en la iluminación, refrigeración y una serie de equipos auxiliares que se consideraron en el Capítulo III, esto no siempre ocurre; por ejemplo durante el día no es necesario la iluminación del salón ni el uso de las luces externas del vehículo, los cuales disminuyen considerablemente la potencia consumida por la máquina, entonces se podría comparar con el factor frecuencia de uso de redes de distribución c.a.

Las consideraciones de carga máxima tomadas en la sección 5.2 son útiles para el dimensionamiento de la capacidad del transformador y los elementos de la planta rectificadora. Sin embargo para diseñar la red de alimentación debemos considerar lo expuesto recientemente a fin de economizar el costo de los conductores y otros elementos en la línea.

Para el diseño de la alimentadora, se puede fijar rangos de variación máximo y mínimo de carga; Pri

meramente se puede asumir un factor de 0,70, tal como se asume en el diseño de redes de distribución correspondientes a los factores de simultaneidad y frecuencia de utilización, con lo que la demanda máxima de la alimentadora resulta:

$$150 \times 0,70 \times 10 = 1.050 \text{ Kw}$$

Donde:

150 Kw es la potencia nominal del vehículo

0,70 Factor de simultaneidad y de frecuencia de utilización.

10 Número de vehículos en la mitad del tramo durante las horas pico de demanda.

Las condiciones mínimas de carga, en ciertas ocasiones nula, sin embargo se puede considerar que nuestro sistema por ser confiable siempre estará en capacidad de brindar servicio aunque sea con el ritmo de horas lentas, en estas condiciones la potencia mínima de la línea es:

$$150 \times 0,70 \times 3 = 315 \text{ Kw}$$

Una vez establecido los rangos de variación de car

ga para la línea, podemos establecer un valor prudencial para calcular los elementos de la línea; este valor puede ser la carga necesaria durante la operación del sistema en horas normales. Por lo tanto, la carga referencial que nos interesa será:

$$150 \times 0,70 \times 6 = 630 \text{ Kw}$$

Con el objeto de brindar confiabilidad al sistema, podemos añadir a la potencia obtenida, una cantidad hasta completar los 750 Kw, potencia que se puede tomar como referencia para calcular los diferentes elementos de la línea de alimentación.

5.4.1 Disposición de las alimentadoras.-

El circuito de alimentación constituido por dos alambres de aluminio trenzado, uno positivo y otro negativo van emplazados en postes de hormigón o de acero en una disposición horizontal, casi en el mismo plano. Según las circunstancias del caso el tendido de la red, depende la infraestructura existente de otras redes de corriente alterna en el trayecto o ruta establecida para el recorrido del trolebús.

Primeramente, las líneas de contacto se puede asemejar con las rieles que necesita el ferrocarril para su desplazamiento, el caso del trolebús esas rieles estarían formados por las líneas aéreas de contacto, puesto que el trolebús al igual que el ferrocarril recorre única y exclusivamente por las rutas establecidas según cada caso; aunque la dependencia del trolebús no es totalitario ya que en casos de emergencia, puede recurrir a la energía auxiliar y desplazarse independiente de la red de contacto distancias relativamente cortas hasta salvar el tramo dañado o tráfico congestionado.

Por la razón anteriormente expuesta y por lo que tiene que conectarse cada cierta distancia; la línea alimentadora como el circuito de contacto, generalmente están emplazados en el mismo poste, con una diferencia de 2 a 4 metros de altura que depende del poste utilizado, la Figura N^o 5.5 ilustra dicha disposición.

Existen otras situaciones especiales, tales

como las curvas, en cuyo caso, la línea alimentadora se desvía más bruscamente a fin de acortar la distancia y ahorrar material, obviamente en este caso la alimentadora está emplazado en otro poste, respecto al circuito de contacto. Otra situación especial se presenta, cuando por unamisma calle hay dos rutas paralelas de alambres de contacto, una de ellas puede ser de ida y la otra de vuelta, entonces la alimentadora sirve para proveer de energía a ambos circuitos y se desplaza en cualesquiera de las aceras de la calle.

En los sistemas de corriente continua, los alimentadores se instalan normalmente en paralelo con los conductores de contacto, tal como se ilustró en las Figuras N^o 5.4 y 5.5, obviamente resultaría más sencillo el prescindir de la alimentadora y transmitir toda la carga por la propia línea de contacto, sin embargo debido a la elevada corriente en ocasiones en que transitan varios vehículos hace imprescindible el recurrir a una línea auxiliar; donde esta disposición aumenta la sección del conductor de contacto y ofrece

mayor confiabilidad al servicio, por esta razón se secciona el conductor de contacto, inclusive se aísla un tramo de otro para que en caso de daños en la línea ésta no afecte a todo el tramo ni afecte la red de alimentación si ocurre un corto circuito que es más propenso en la red de contacto.

5.4.2 Seccionamiento del hilo de contacto.-

Las secciones de las alimentadoras es función de la carga y de las distancias de las tomas en el cable de contacto a partir de la subestación para igualar las caídas de tensión y mantener las tensiones de contacto tan uniformes como sea posible.

Para aumentar la confiabilidad del servicio y facilitar su mantenimiento, las catenarias tanto del circuito de alimentación como del hilo de contacto son repartidas en cierto número de secciones de longitud variable. Las líneas adyacentes en ambos casos se aíslan eléctricamente ya sea separándoles simplemente por una lámina de aire o por medio de un aislador de sección especialmente diseñado para este propósito.

Estos seccionamientos en el circuito de alimentación están puenteadas en los postes de anclaje utilizando aparatos especiales como los ilustrados en las Figuras N^o , las mismas se realizan como se muestra en la Figura N^o 5.7.

El seccionamiento de alambre de contacto es mucho más frecuente que el de la alimentadora, puesto que la red de contacto se secciona con dos propósitos, primero: para facilitar el mantenimiento; luego para evitar que los cortocircuitos provocados en la red de contacto sean propagados a lo largo del tramo; en el último caso, los conductores son aislados eléctricamente, pero unidos mecánicamente para dar continuidad al pantógrafo en su desplazamiento.

La unión de dos secciones de la red de contacto, se hace utilizando dispositivos muy sencillos denominados uniones, tal como se ilustró en las Figuras N^o 4.18 y 4.19, inclusive se puede aprovechar las agarraderas figura N^o 4 (elemento del soporte o cadeneta de aisladores) para unir los alambres de con

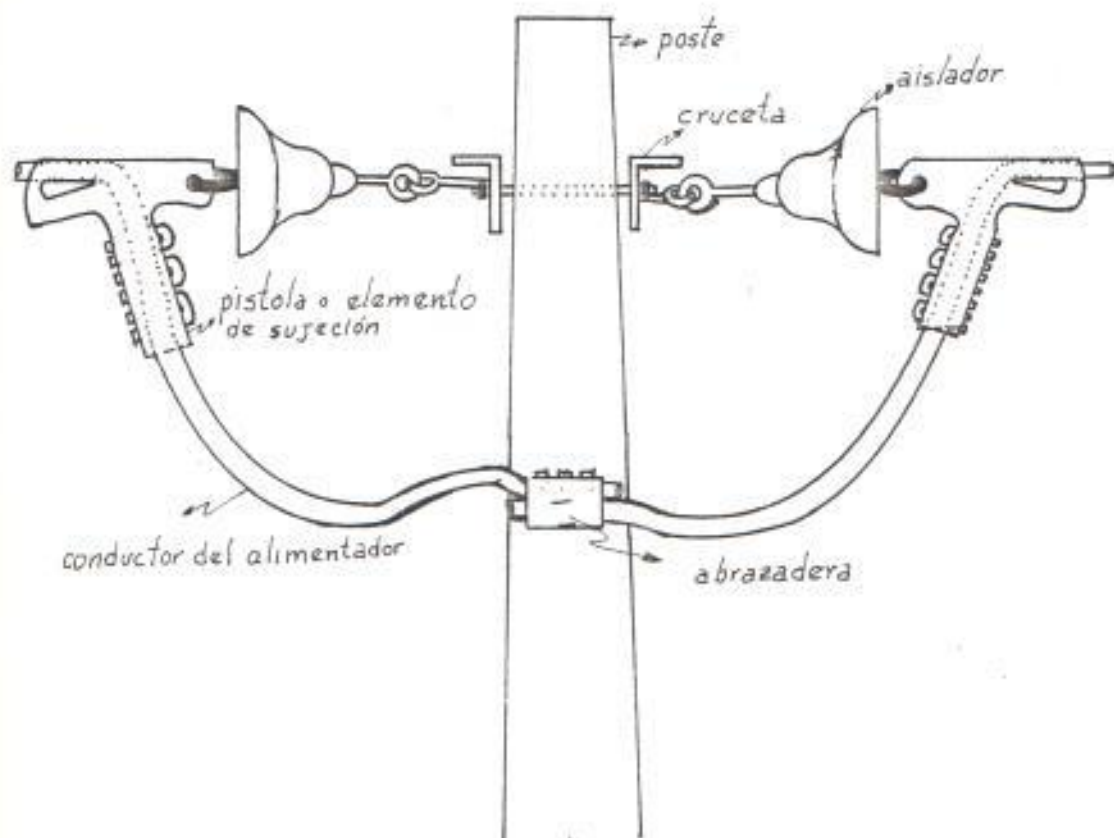


FIGURA No. 5.7. UNION DE CONDUCTORES DE LA ALIMENTADORA

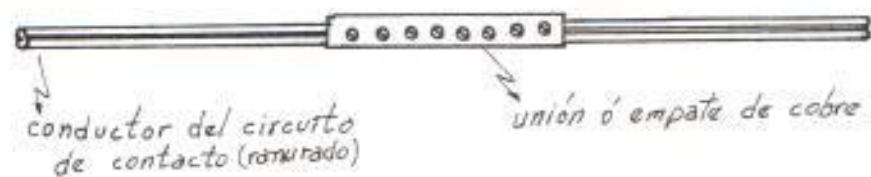


FIGURA No. 5.8. UNION DE CONDUCTORES DE CONTACTO

tacto. No existe un lugar específico para realizar la unión de dos secciones de la red de contacto, ya que el elemento de unión tiene poco peso y casi la misma contextura del alambre de contacto, por lo tanto, cuando se rompe un tramo de esta red; es posible empatar estos cables aún en la mitad del vano, vea la Figura N° 5.8.

Los puntos de seccionamiento en el circuito de contacto, se sitúan a menudo en los puntos de cruce, para permitir a los vehículos cruzar de una vía a otra y salir de una sección defectuosa.

5.4.3 Selección de los conductores.-

La elección de los conductores, es un paso importante en el diseño de una línea aérea, para ello se consideran algunos parámetros como:

- La capacidad de transmitir corriente por él
- Las características mecánicas como la resistencia a las tracciones mecánicas producidas por el peso de la línea a lo largo

de los diferentes vanos escogidos. También depende mucho de su conductibilidad eléctrica, lo cual varía según el material empleado en su fabricación.

- Los conductores también son escogidos bajo un criterio económico y su comportamiento bajo la influencia de agentes atmosféricos.

Estos y otros factores se analizaron en el Capítulo IV, entonces de inmediato pasamos a seleccionar el conductor que se empleará en el circuito de alimentación, para esto, calculamos la corriente que pasará por dicho conductor.

$$P = V \times I$$

$$I = \frac{750.000 \text{ w}}{600 \text{ v}} = 1,250 \text{ Amp.}$$

Donde:

P = 750,000 w es la potencia que alimentaría la línea, con las consideraciones que se exponen en la sección 5.4.

$V = 600$ voltios, tensión de la línea estandarizada para electrificar trolebuses.

Con el valor de la corriente, el nivel del voltaje y su modo de empleo, se recurre a una tabla de conductores eléctricos; donde para este voltaje y corriente encontramos un conductor.

Calibre 1590 000 MCM; Area aproximada 805,7 mm²; número de hilos 61; diámetro del conductor 36,91 mm; resistencia a la rotura 13 585 Kg; resistencia eléctrica c.c. a 20°C 0,0339Ω/Km; peso total aproximado 2 226 Kg/km.

Conductor de aluminio - desnudo (A.S.C) para aplicación en líneas aéreas.

La elección del conductor para la red de contacto está restringido por su aplicación en casos especiales, tales como para la electrificación de ferrocarriles y trolebuses, por lo tanto, el conductor que se utilizará para el circuito de contacto está detallado en la sección 4.4, Tabla N^o VIII

5.4.4 Cálculo de la catenaria.-

Las tensiones superiores o iguales a 600 voltios c.c., son transmitidos mediante con ductores aéreos en la electrificación de unidades de tracción, cuando las velocidades son reducidas, el hilo de contacto va direc tamente suspendido encima de las vías y casualmente, ésta es la situación que nos compi te. En tanto que, cuando las velocidades son elevadas, el hilo de contacto también es aéreo pero vá suspendido en lo que se ha llamado cable portador del sistema catenario.

Puesto que nuestro sistema consiste en estu diar un sistema de transporte masivo terres tre, obviamente las unidades de transporte se desplazarán a bajas velocidades, por lo tanto no es necesario el uso del sistema ca tenario para el tendido de redes de contacto.

El cálculo de los parámetros de la catenaria es una electrificación de transportes de pasajeros, básicamente en el mismo que el

realizado en líneas de transporte de energía a frecuencia comercial y multiuso.

La catenaria tal como se definió en el Capítulo IV, depende de dos variables: vano, variable independiente y flecha variable dependiente.

* VANO.- Es la distancia que existe entre los puntos de apoyo o sujeción del conductor.

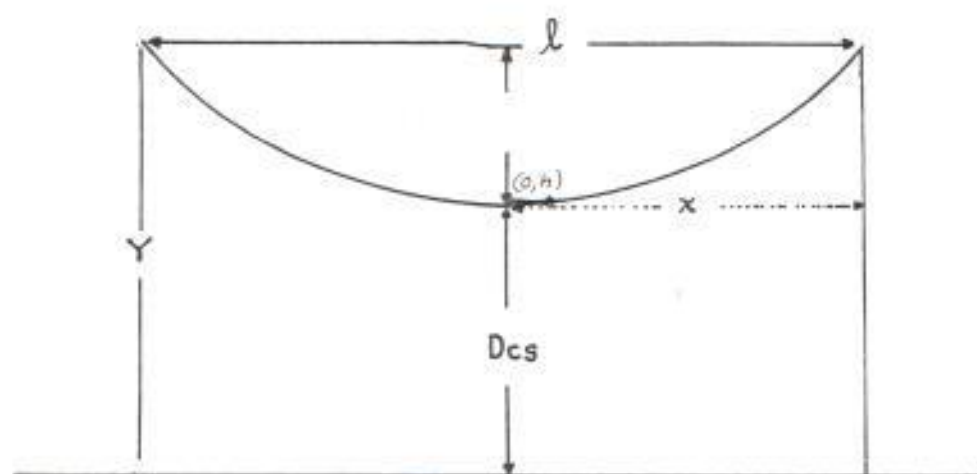
FLECHA.- Es la distancia comprendida del nivel del punto de apoyo, hasta proyección del pico mínimo de curvatura que forma la catenaria .

Dsc.- Distancia del conductor al suelo

Y.- Distancia desde el suelo al punto de apoyo superior del conductor.

H.- Tensión en kilogramos en el vértice
(o,h)

Por deducción, la flecha está dada por:



* FIGURA No. 5.9 PARAMETROS DE LA CATENARIA

$$f = \frac{H}{w} \left(\cosh \frac{wX}{H} - 1 \right)$$

La resolución de esta ecuación resulta demasiado engorroso; inclusive en líneas de transmisión, donde las flechas son considerables se aproxima a la ecuación de una parábola que resulta del desarrollo de la función hiperbólica antes mencionada.

$$f = \frac{H}{w} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{wX}{H} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{wX}{H} \right)^4 + \dots \right]$$

Si se toma en cuenta solamente la primera expresión de la serie, obtenemos la ecuación parabólica como sigue.

$$f = \frac{H}{2w} \left(\frac{wx}{H} \right)^2 = \frac{H w^2 x^2}{2w H^2}$$

$$f = \frac{wx^2}{2H} \quad \text{donde } x = \lambda/2, \text{ entonces}$$

La ecuación final para el cálculo queda

$$f = \frac{w \cdot \lambda^2}{8H}$$

Si consideramos el conductor seleccionado en el tópicó 5.4.3, las flechas para el circuito alimentador será:

$$f = \frac{2,226 \text{ Kg/m} \times (50\text{m})^2}{8 \times 0,1 \times 13585 \text{ Kg}} = 0,512 \text{ m.}$$

Como habíamos indicado anteriormente, el vano es una variable independiente; por lo tanto, si nos acojemos al diseño de la red en el tramo seleccionado estas flechas variarán de acuerdo a la infraestructura existente en el tramo. Para mayor claridad, tabularemos los valores de la flecha para ambos circuitos, considerando que la longitud del vano para este propósito, varía entre 30 y 50 metros.

TABLA No. XVIII
PARAMETROS DE LA CATENARIA

PESO DEL CONDUCTOR		TENSION DE RUPTURA		LONGITUD DEL VANO (m).	FLECHA DE LA CATENARIA (m)	
Alimentadora	Contac	Alim.	Contac.		Aliment.	Contacto
<i>2,226 Kgr/m</i>	<i>0,825 Kgr/m</i>	<i>13.585 Kgrf.</i>	<i>3450 Kgrf.</i>	30	0,184	0,107
				32	0,21	0,122
				34	0,237	0,138
				36	0,265	0,155
				38	0,295	0,172
				40	0,327	0,191
				42	0,361	0,211
				44	0,396	0,231
				46	0,433	0,253
				48	0,472	0,275
				50	0,512	0,298

Los valores de H empleados para los cálculos de la Tabla No. XVII son datos obtenidos a partir de normas establecidas de la experiencia en trabajos similares, tal es que el valor de H para la red de alimentación se toma como un 10% de la tensión de ruptura del conductor y para el circuito de contacto se toma como el 25% de la tensión de ruptura.

En el diseño de la red deben tomarse en cuenta: La red debe tener una altura que oscile entre 5 y 6 metros (este cálculo se hace en la sección 5.5) en ningún caso, menor a la altura del trolebús, incluido en el Pantógrafo, éste a 20° con respecto al techo tal como se ilustra en la Figura N° 5.16.

El hilo del contacto debe ser flexible, para soportar la presión permanente del pantógrafo; pero también lo suficientemente tenso para no formar flecha pronunciada en el vano, que es capaz ocasionar corto circuito entre conductores positivo y negativo de la red de contacto. En situaciones en el que la red está más elevado que los establecidos, el trole es regulable entre cero y 90° , podría entonces solventar esta situación, sin embargo limita su desplazamiento lateral del vehículo.

Se fija una tolerancia de 25 cm de altura que sirve para permitir al vehículo superar los desniveles del piso (pavimento) y la separación horizontal de 60 cm entre los conductores para evitar la provocación de cor-

tos, cuando se admite una flecha del vano muy grande.

La ménsula o brazo de soporte del circuito debe ser móvil en forma radial, de manera que si existe ruptura del alambre en alguna parte de la red, sea capaz de ceder a la tensión impuesta; o bien si se produce una tensión mecánica excesiva en el alambre también ceda para evitar su ruptura.

5.4.4.1 Consideraciones en catenarias pendientes o inclinadas.-

Conocidas las condiciones topográficas del lugar de estudio, podemos afirmar sin temor a equivocarnos que la ciudad de Guayaquil es naturalmente plano y las únicas posibilidades que podrían ocasionar una pendiente en el tramo, es la construcción de puentes a desnivel o distribuidores de tráfico.

Esta situación en realidad no produce mayor inconveniente en el tendido de la red si se puede colocar postes en este lugar, puesto

que el nivel del piso crece uniformemente conforme crece la altura, quizá la única consideración para tender las redes consistiría conocer las características del motor del vehículo; si está en capacidad de vencer la pendiente con carga. Esta posibilidad en nuestro caso está totalmente superada, ya que según las características de los trolebuses expuesto en el Capítulo III, ningún modelo mencionado tiene una capacidad menor a 10%, es decir que todos los vehículo estudiados pueden subir inclusive más de 10% de gradientes, y las pendientes en Guayaquil no alcanzan ni a 7%, incluido los distribuidores de tráfico.

A continuación se considera una situación que podría ocasionar una discontinuidad de contacto entre el pantógrafo y el hilo de contacto; se trata de que si tuviéramos un poste ubicado antes del punto que inicia la pendiente, en el piso se produciría una altura del vano mayor con respecto al piso en dicho punto, vea el gráfico # 5.10.

Una solución sencilla en este caso, consis-

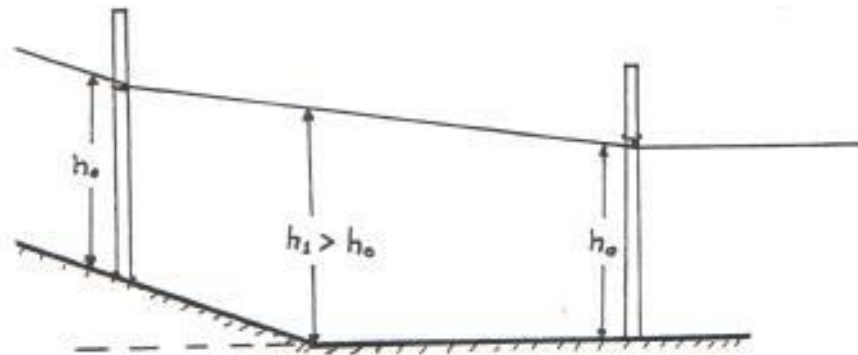


FIGURA No. 5.10. VARIACION DEL HILO DE CONTACTO, CON RESPECTO AL NIVEL DEL PISO.

te en acomodar los vanos anteriores y subsiguientes de manera que exista la posibilidad de colocar un poste justamente en el punto donde se inicia y otro donde termina la pendiente.

En el sistema de electrificación con un solo hilo regularizado por polo, no se producen las catenarias inclinadas tal como hemos mencionado en el sistema de catenaria simple, cuando ésta tiene que curvar.

Las curvas en el sistema de hilo simple regularizado forman esquinas poligonales dependiendo del número de tensores sujetadoras utilizadas en él, tal como se ilustró en la Figura N° 4.3. Sin embargo, al recu-

rrir a un elemento especial, que se ilustra en la Figura N^o 5.11 utilizado en las curvas, se logra suavisar la curva y de mantener un contacto normal del pantógrafo con el hilo de contacto.

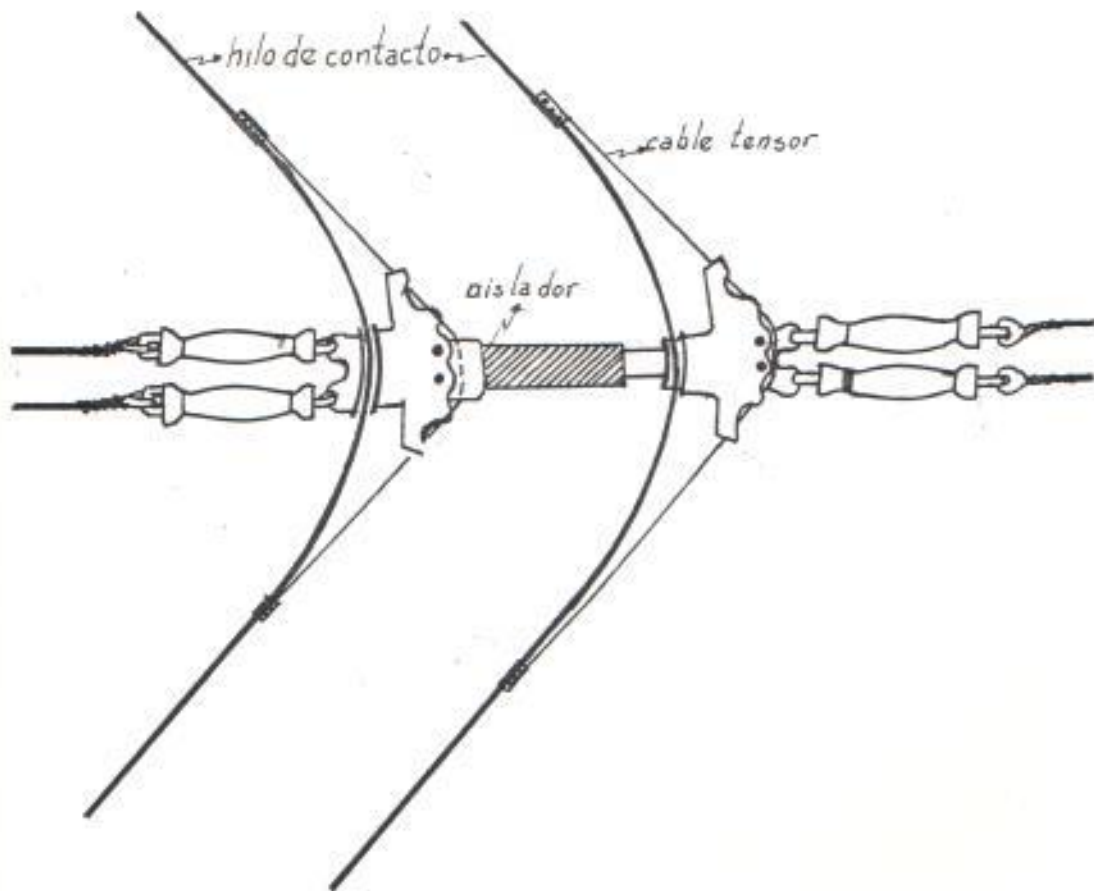


FIGURA No. 5.11. EQUIPO UTILIZADO EN CURVAS

El equipo mostrado en la Figura N^o 5.11 permite cambiar el sentido de desplazamiento en 90°, propio de una esquina; si existe la

de girar en 180° para retornar por la misma vía, deberá utilizarse dos de estos elementos de características idénticas.

5.4.4.2 Amarres en cruces de líneas.-

En cruces de vía y de líneas de contacto en la electrificación de trolebuses, lo mismo que en las curvas se utiliza un equipo especial que se ilustra en la Figura N° 5.12.

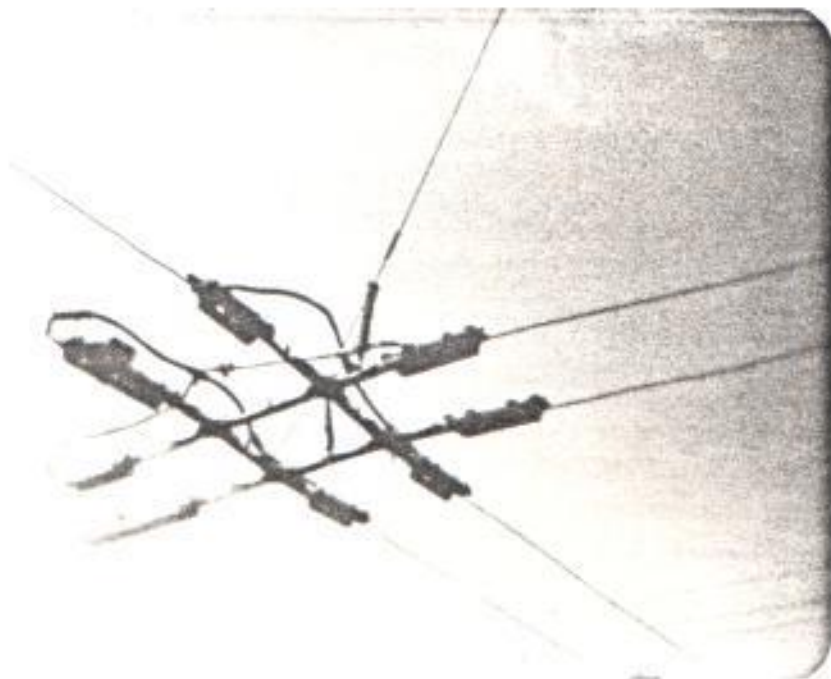


FIGURA No. 5.12. ELEMENTO DE AMARRE PARA CRUCE DE VIAS.

El equipo mostrado en la Figura N° 5.12, está suspendido por un soporte tipo catenaria transversal, hecho de alambre galvanizado y tiene la función de permitir el cruce de dos vehículos que recorren en dos direcciones que varía en 90° , por ejemplo uno puede estar yendo de norte a sur y el otro de este a oeste.

El equipo mencionado, tiene la característica especial de una discontinuidad eléctrica en dicho punto, entonces el trolebús pasa por este punto con la inercia de la masa del vehículo; en cambio existe una continuidad mecánica, hecho por un material aislante con la misma forma del conductor de cobre (alambre de contacto). La siguiente Figura N° 5.13 ilustra esta situación, y detalla sus características.

Para dar continuidad eléctrica al circuito interrumpido por el cruce, se utiliza cable flexible aislado de cobre, con la misma capacidad de carga que el hilo de contacto y se unen los extremos conductores, esto se puede apreciar en la Figura N° 5.12.

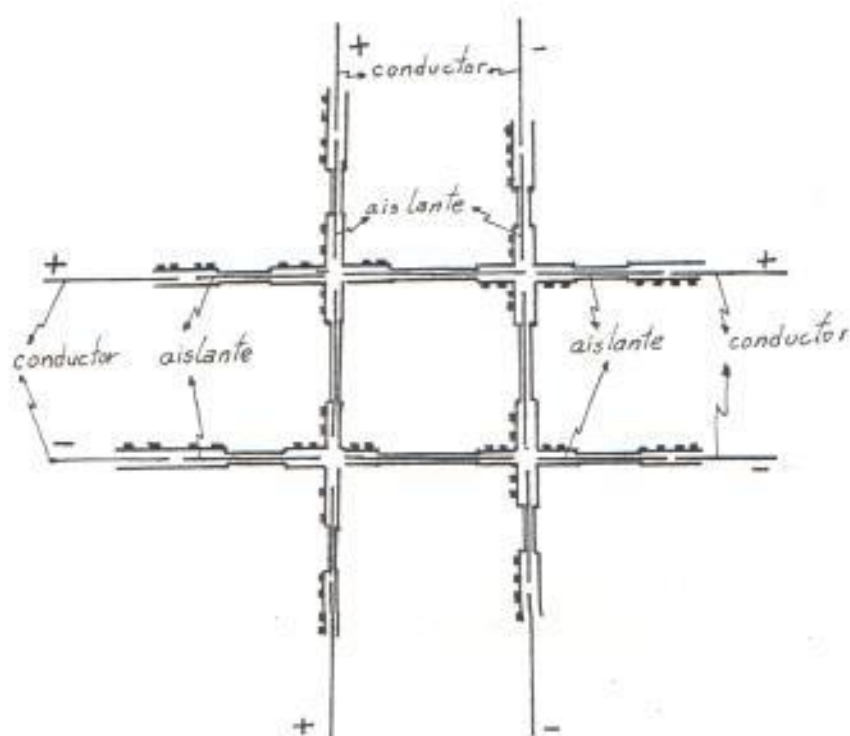


FIGURA No. 5.13. UNION DE CONDUCTORES EN CRUCE DE VIAS

Para dar continuidad eléctrica al circuito interrumpido por el cruce, se utiliza cable flexible aislado de cobre, con la misma capacidad de carga que el hilo de contacto y se unen los extremos conductores, esto se puede apreciar en las Figuras N^o 5.12 y 5.13.

Otra situación especial en los circuitos eléctricos que alimentan a los trolebuses, se presenta en una derivación del trayecto o ramificación en "Y" del circuito de contacto, tal como se ilustra en la Figura N^o 5.14.

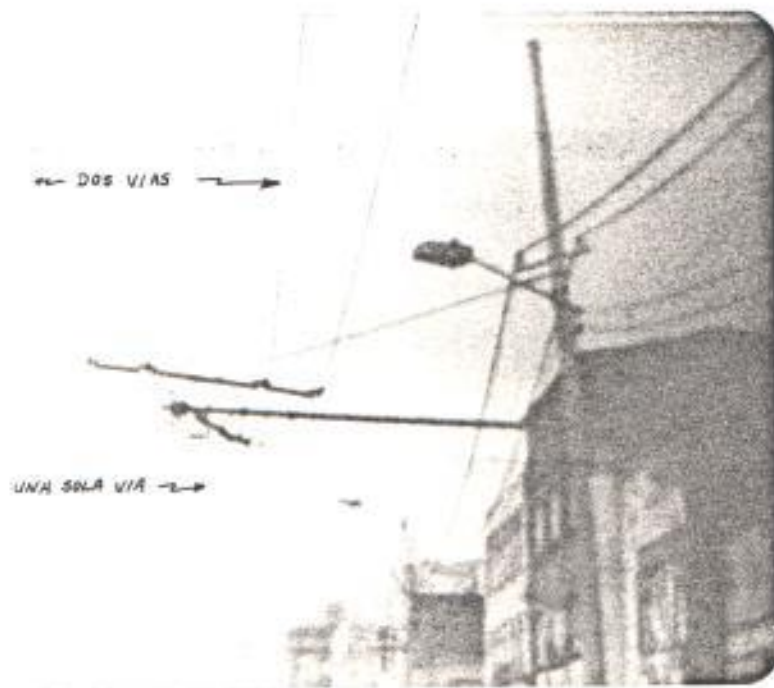


FIGURA No. 5.14. BIFURACION DE UN CIRCUITO DE CONTACTO EN "Y",

4.5 ESTRUCTURAS.-

El tipo de postes o estructuras a usarse en nuestro diseño, no tiene absolutamente ninguna particularidad en relación a los postes empleados en la distribución de energía c.a., esto se puede apreciar en muchas figuras ilustradas en el Capítulo IV, donde además se detallan características, clases y función de cada tipo, empleado en electrificación de redes para alimentar unidades de tracción eléctrica.

Si observamos la Figura N^o 5.5, los conductores de la alimentadora van remplazados en el poste a una determinada altura con respecto al alambre de contacto; es decir, ambos circuitos se tienden paralelamente, por lo tanto en cada poste primero se debe fijar la altura del circuito de contacto, para esto se procede de la siguiente forma:

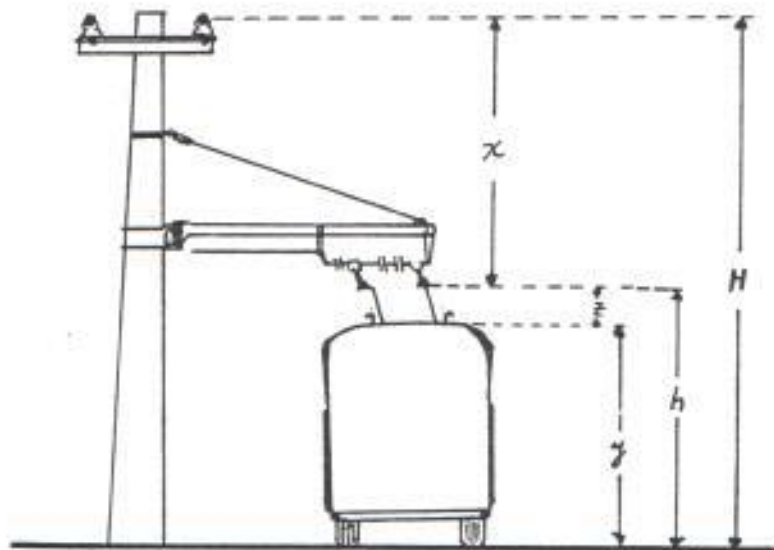


FIGURA No. 5.15. ALTURA DE LOS POSTES

Para fijar la altura mínima del circuito de contacto, se toma en consideración la altura "Y" del vehículo, más altura "Z" del trole, como indicamos anteriormente en un ángulo de 20° cuando éste, no está conectado al hilo de contacto, por lo tanto

es parte de la altura del vehículo, este valor en cifras es:

$$Y = L \times \text{sen} (20^\circ) = h \text{ (altura total del trolebús).}$$

Donde:

L = Longitud del trole

α = Angulo que forma el trole con respecto al techo del trolebús.

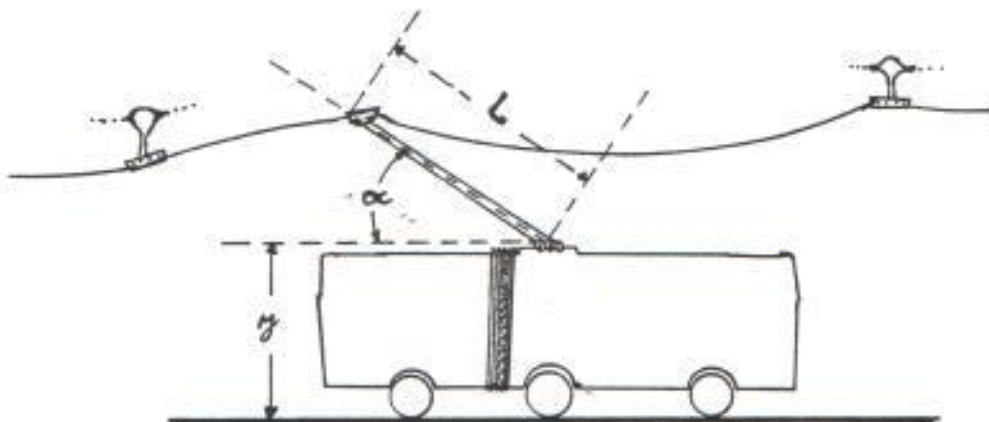


FIGURA No. 5.16. VARIACION DE ALTURA DEL HILO DE CONTACTO.

La altura del trolebús es variable dependiendo del lugar de fabricación, sin embargo estos valores oscilan entre 3 y 3,5 metros, considerando estos valores y la longitud del trole indicado en la sección 3.3.4, la altura total del vehículo es:

$$3 + 5 \times \text{Sen } (20^\circ) = 4,71 \text{ metros (trolebús sencillo)}$$

$$3 + 6,335 \times \text{Sen } (20^\circ) = 5,17 \text{ m (trolebús articulado)}$$

Si consideramos que la altura del trolebús es 3,5 metros la altura total del vehículo será:

$$3,5 + 5 \times \text{Sen } (20) = 5,21 \text{ m (trolebús sencillo)}$$

$$3,5 + 6,335 \times \text{Sen } (20) = 5,67 \text{ m (trolebús articulado)}$$

Ahora bien, conocido las alturas totales de los trolebuses es posible fijar la altura mínima del hilo de contacto, para ello, asumamos el caso extremo, es decir que el vehículo tenga 3.5 m y sea articulado, además para que el motor funcione bien, el trole debe hacer un contacto permanente con el cable, esto implica que el trole debe estar ajustado a una tensión que posibilite mantener contacto inclusive en el punto de flecha máxima, el mismo que invierte su posición por efecto de la presión que ejerce el trole al pasar por dicho punto (vea la Figura N^o 5.16). El ajuste de tensión del trole, aumenta el ángulo α , por lo tanto, la altura mínima del hilo de contacto será:

$$h = y + z$$

Según la figura N° 5.15.

h : es la altura mínima del hilo de contacto

y : la altura del trolebús

z : $L \times \text{Sen } (x)$

L : longitud del brazo del trole

Según los argumentos expuestos, la altura mínima del circuito de contacto comienza en 5,67 m, pero para mantener un mejor contacto y facilitar el tráfico de vehículos altos debe hacerse a 6 metros. Ahora si consideramos el otro extremo, es decir un vehículo de 3 metros y modelo sencillo, entonces la altura será de 4,71 metros, pero como debe mantenerse buen contacto esta altura deberá ser por lo menos de 5 metros.

Por lo tanto, la altura del poste dada por:

$$H = h + x$$

Donde x = la diferencia de alturas entre el circuito de alimentación y el de contacto, tal como se explica en la sección 5.4.1 varía entre 2 y 4 metros, por lo tanto la altura de los postes variarán entre:

$$H = 5 + 2 = 7 \text{ metros}$$

$$H = 6 + 4 = 10 \text{ metros}$$

Obviamente estas alturas son referenciales, ya que si nos ajustamos a una infraestructura existente en la ruta, la altura de los postes no tiene mayor importancia, lo importante es que existe espacio para el tendido de nuestras redes, por ejemplo en nuestro diseño preliminar vamos a emplear postes que tienen 9 y 11 metros.

5.5.1 Tendido de la red sin postes.-

En el tramo de nuestro diseño preliminar no existe la necesidad ni forma de utilizar ca
bles flexibles transversales a la red, pues
to que el tendido de red sin poste tal como se ha detallado en la sección 4.7.1, consis
te en cruzar un cable transversalmente a la ruta en el que se desea tender la red, y esa catenaria está sujeto de alguna forma de edificios ubicados frente a frente.

5.5.2 Estructura de doble poste.-

Esta disposición de postes es útil, brinda confiabilidad y buena estabilidad a circuitos paralelos, es decir; si por una avenida de doble sentido se tiende dos redes una de ida y otra de vuelta entonces en vez de utilizar un poste con su respectivo ménsula (brazo) se ubican dos postes frente a frente y se construye una catenaria tal como se ilustra en la Figura N° 4.22, esta construcción resulta económica y muy estable frente al otro sistema de poste simple. En el tramo que hemos diseñado es para una ruta simple por lo tanto la disposición de los postes es simple excepto en lugares donde sea imposible ubicar poste para sujetar la red, se construirá este tipo de catenaria transversal. Por último este tipo de doble poste, utilizaremos en las curvas, para sujetar las cuerdas o tirantes que sostienen elementos como el que se muestra en las Figuras N° 5.11 y 5.12.

5.5.3 Estructura simple.-

Esta disposición es la que vamos ha emplear en la consecución de nuestros objetivos;

los detalles, características y formas se ha expuesto ampliamente en las secciones 4.7 y 5.5 de nuestro trabajo. Por lo tanto, lo que nos queda por indicar es que los postes existentes en el tramo elegido (parte de la ruta) es muy variada, tanto en altura como material de construcción pero la mayor parte de esos postes son útiles y los nuevos que se sugieren están distribuidos en el plano que detalla todos estos aspectos.

5.5.4 Crucetas.-

Debido a que las alimentadoras van emplazadas equidistantemente separados con respecto al centro del poste, las cargas provocadas por su peso, se distribuye uniformemente en cada brazo de la cruceta. Además por ser un sistema c.c., no existe inducción electromagnética entre los conductores, de donde la separación entre polos positivo y negativo es de apenas 50 cm, por las razones expuestas, resulta innecesario hacer cálculos mecánicos de resistencia para las crucetas, sugiriéndose el uso de crucetas de hierro angular con las dimensiones deta-

lladas en la sección 4.7.2 para el tendido de redes del presente diseño.

5.5.5 Aisladores y herrajes.-

Los conductores y equipos en circuitos aéreos deben aislarse convenientemente, y para ello se emplean aisladores fabricados y probados conforme a las normas de los diferentes países y formas de trabajo (interior y exterior),

En la planta rectificadora (interior), se requiere aisladores de toda índole y de diferentes niveles de aislamiento que depende del nivel de tensión del conductor o barra, al igual que en una subestación de distribución c.a., los aisladores deben poder resistir las sobretensiones de trabajo a que se hallan sometidos.

Para aislar las partes más importantes de la instalación se utiliza seccionadores. La Figura N° 5.17 muestra un seccionador unipolar corrientemente empleado para conectar y desconectar la barra principal de la salida de alimentadoras c.c.

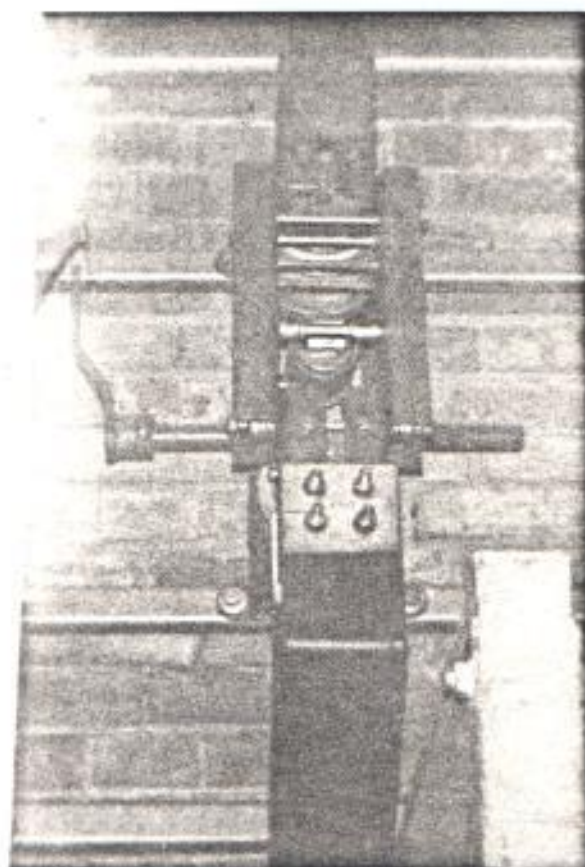


FIGURA No. 5.17. SECCIONADOR DE LA BARRA PRINCIPAL C.C.

El seccionador ilustrado en la anterior figura puede ser accionado aún cuando el circuito esté en carga, gracias a su nivel bajo de tensión, sin embargo su capacidad se califica por poder transferir corriente nominal sin elevación anormal de su temperatura, o sea capaz de resistir un tiempo razonablemente corta sin fundirse, al producirse corto circuito en las cercanías de la planta.

Para el aislamiento de conductores del circuito aéreo, el número de unidades requeridas que brinde seguridad en el servicio, está super^{ndido}ditado a la clase de voltaje y las condiciones atmosféricas del lugar. La recopilación de datos, mostrados en la Tabla N^o XIX facilita la selección del aislador para nuestro diseño.

TABLA No. XIX
NUMERO DE AISLADORES PARA LOS DIFERENTES NIVELES
DE TENSION

VOLTAJE Kv.	NUMERO DE AISLADORES (10" x 5 3/4")	
	Zona 1 (Costa)	Zona 2 (Sierra)
3,2	1	1
23,0	1-2	2-3
34,5	2-3	3-4

El tipo de aisladores y sus características, se detalla ampliamente en diferentes secciones del Capítulo IV.

4.6 SUBESTACIONES.-

Tal como hemos descrito en el Capítulo IV, las sub

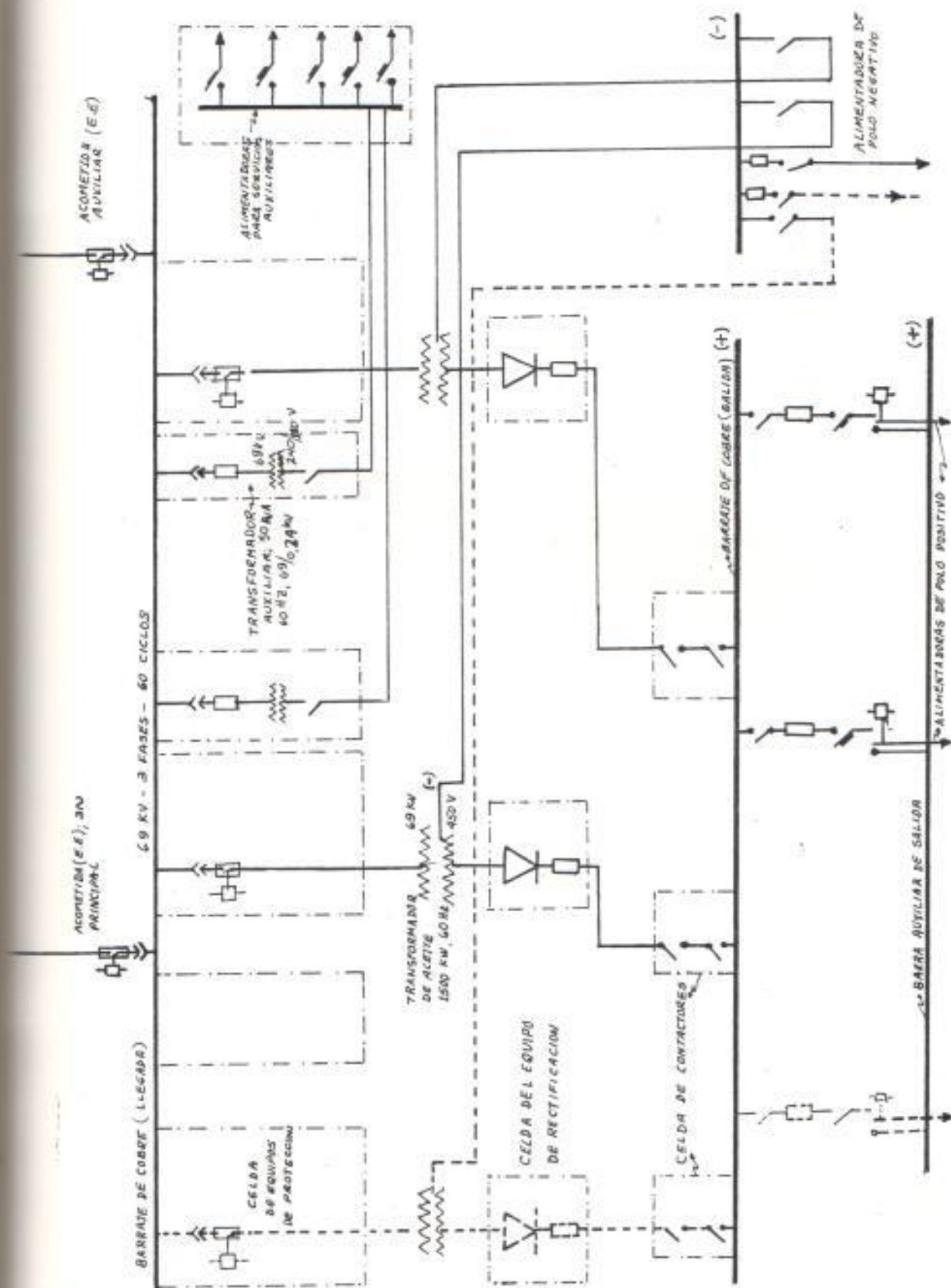
estaciones en la electrificación a corriente continua tienen una denominación especial de "Plantas rectificadores de c.a, en c.c".

En el diseño de la planta rectificadora, participan normalmente todos los parámetros considerados en el diseño de una subestación de distribución comercial excepto el equipo de rectificación, tal como se puede apreciar en el plano adjunto.

El diseño adjunto corresponde a una planta típica de distribución de corriente continua que alimenta vehículos eléctricos de servicio de pasajeros (trolebús).

En el diseño de la planta rectificadora, participan factores que ya consideramos anteriormente; sin embargo recalcamos los más importantes que son: Espacio disponible, Capacidad de la planta y la Disponibilidad económica.

Dependiendo del espacio disponible y la capacidad económica de la entidad encargada, se seleccionará la calidad de equipo y en consecuencia seguridad, además de confiabilidad de la planta.



PLANTA DE RECTIFICACION TIPICA C.A. A C.C.

La capacidad de la planta se determina previo estudio de carga del sistema a la que se desea servir, considerando las situaciones de máxima carga, en este caso horas de servicio en las condiciones de máxima demanda que sucede en las horas pico.

Otro aspecto peculiar de este sistema es el barraje en el lado de corriente continua, más propiamente a la salida de las alimentadoras en cc.

Al igual que en una subestación comercial (distribución), se utiliza barras de cobre, principal y auxiliar, cuyas dimensiones tabularemos posteriormente y se calcula en base a la corriente en condiciones de máxima demanda, además considerando corrientes de corto circuito.

A veces es necesario disponer de varias barras en paralelo, en este caso la separación entre las mismas, por lo que afecta al enfriamiento necesario, será por lo menos igual al doble de cada una.

En corriente continua las placas, de unión son de fundición maleable, en tanto que en ca. se utilizan preferentemente placas de fundición y de bronce. Las partes metálicas a las que se fijan los aisla-

TABLA No. XX
VALORES ADMISIBLES DE LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE EN LAS BARRAS RECTANGULARES DE COBRE
DESNUDO

DIMENSIONES DE LA BARRA	SECCION EN (MM ²)	PESOS APROX. EN Kg/M	CIRCUITO DE CORRIENTE CONTINUA				
			1 AMPERIO	2 AMPERIOS	3 AMPERIOS	4 AMPERIOS	5 AMPERIOS
20.2	40	0,36	159	275	388	493	605
20.3	60	0,54	199	350	485	617	750
30.3	90	0,81	288	505	700	890	1090
30.4	120	1,08	338	610	825	1040	1280
30.5	150	1,35	384	720	937	1190	1460
40.4	160	1,44	438	820	1070	1360	1660
40.5	200	1,8	495	926	1210	1530	1880
40.6	240	2,16	548	1028	1330	1700	2080
50.4	200	1,8	534	980	1300	1650	2020
50.5	250	2,25	603	1110	1470	1860	2290
50.6	300	2,7	666	1226	1670	2060	2530
60.5	300	2,7	710	1284	1730	2200	2700
60.6	360	3,24	783	1416	1910	2420	2970
60.8	480	4,32	915	1652	2230	2840	3840
80.5	400	3,6	909	1584	2210	2810	3450
80.6	480	4,32	1000	1744	2340	3100	3800
80.10	800	7,2	1320	2300	3220	4100	5000
100.5	500	4,5	1095	1840	2670	3400	4150
100.8	800	7,2	1400	2350	3420	4340	5320
100.10	1000	9	1600	2680	3900	4950	6080

dores soportes deben estar en perfecta comunicación con tierra.

Las intensidades máximas de servicio admitidas en las plantas bajo techo con barras de cobre desnudo sobre aisladores soportes, se fija en la Tabla N^o XX.

Las intensidades fijadas se refieren a una temperatura máxima del ambiente de 35°C, para el lugar donde han de disponerse las barras de lo contrario bajará las intensidades admitidas entre 10 y 25%, además debe tenerse muy presente que, en todo caso la temperatura máxima admisible en el cable, en las peores condiciones de servicio no pase de 70°C.

Otras consideraciones en la instalación de equipos auxiliares en una planta rectificadora son:

A fin de dar rigidez mecánica necesaria a las conexiones efectuadas con varillas de cobre o de otro metal conductor, para evitar las deformaciones que pudieran presentarse en casos de corto circuito se preceptúa lo siguiente: Los empalmes de los conductores entre sí y las conexiones con los aparatos de protección y de maniobra se harán por interme-

dio de piezas de ajuste a presión. Los puntos de apoyo de las varillas que constituyen las conexiones de alta tensión, estarán a una distancia tal que no vean afectados al producirse deformaciones por efecto de corto circuito, en una zona próxima a la planta.

Los empalmes en las barras utilizadas para baja tensión (600 V) se practica agujeros para que con tornillo y sus respectivas tuercas se obtenga la presión necesaria y un contacto perfecto en el rendimiento de las barras empalmadas o barras alimentadoras, colocando un número de tornillos proporcional a la superficie de recubrimientos del empalme.

En este caso especial, hay que tomar precaución especial en unión de las secciones del cobre con la alimentadora de aluminio; para evitar la acción galvánica para ello se deberá proceder a una enérgica limpieza de las superficies a ser unidas, procurando que la presión entre estas dos superficies sea lo más perfecto para que pueda fluir corriente sin mayor resistencia.

5.6.1 Subestaciones ubicadas en los extremos de un tramo.-

Esta disposición de las plantas rectificadoras es la que sugerimos para nuestro propósito que consiste en electrificar el tramo norte-sur de la ciudad de Guayaquil, habiendo realizado una inspección del tramo por el que circularían los trolebuses y luego de un ligero análisis de fuentes de energía para alimentar dichas plantas, lo más adecuado de acuerdo a las características del sistema (lineal) es fijar una de las plantas rectificadoras en las cercanías del terminal terrestre, toda vez que este sector aún cuenta con espacios vacíos que permitan la construcción del edificio para la planta aludida. Adicional a esto por este sector se cuenta con una alimentadora de 69 KV, que en la actualidad alimenta la subestación del terminal terrestre y tiene una capacidad sobredimensionada; capaz de transportar energía para cubrir la demanda de carga para el sistema de transporte eléctrico de pasajeros.

La otra subestación se deberá ubicar al fi-

nal del tramo, hacia el sur, es decir en el "Guasmo", porque al igual que en el primer caso este sector está despoblado y cuenta con algunas líneas alimentadoras, sobre todo está cerca de las fuentes de generación eléctrica.

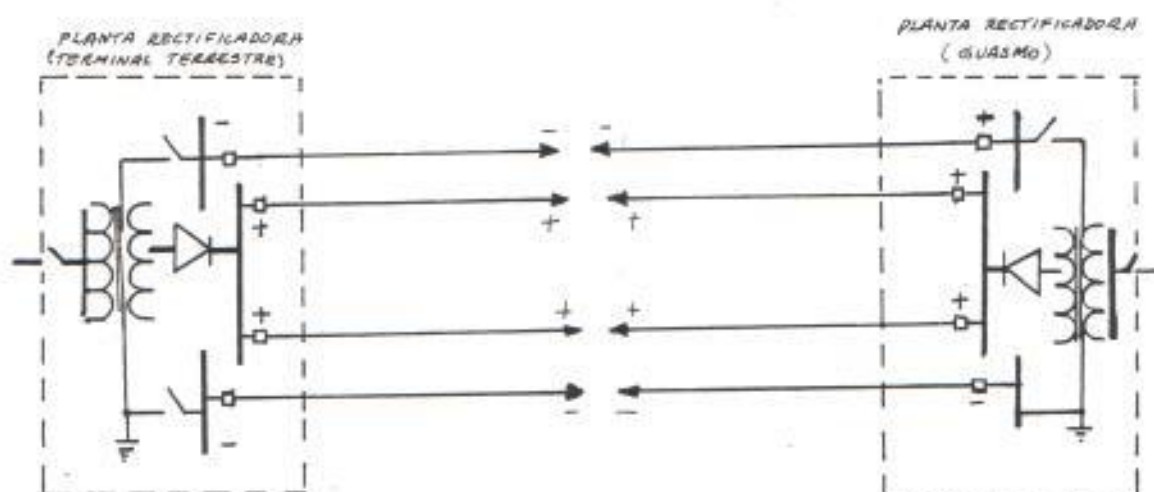


FIGURA No. 5.19. DIAGRAMA ELEMENTAL DE PLANTAS RECTIFICADORA UBICADAS EN LOS EXTREMOS DE UNA RUTA.

El disponer de dos subestaciones para la ruta, una en cada extremo se justifica debido a que la ruta a ser electricada es lineal en ambos sentidos de recorrido.

Por ejemplo si se instalará una sola planta para cubrir la demanda de energía del siste

ma la caída de tensión en circunstancias de máxima demanda sobrepasaría los límites establecidos por las características del motor y sufriría daños a parte de que el sistema se torne inoperante, esta alternativa frente a la primera obviamente es más económica sin embargo poco confiable.

Una tercera alternativa en una ruta de estas características sería instalar una planta al inicio de la ruta y la otra en la mitad del tramo, esta disposición tendría mayor ventaja frente a las primeras porque resulta mucho más flexible si por cualquier daño, la planta ubicada al inicio del tramo sale de servicio, sin embargo la adquisición del terreno para este propósito no solamente resultaría caro, sino que difícil de conseguir; además si pensamos unificar las oficinas de administración, la subestación o planta rectificadora y el garaje para los vehículos, se necesita un mayor espacio físico y dificulta más la situación.

Cabe señalar que la tercera alternativa debería de optarse como una solución muy ade-

cuada cuando se desea instalar una planta auxiliar en el sistema.

5.6.2 Subestaciones pequeñas ubicadas en el tramo.-

Esta disposición de plantas rectificadoras, es una excelente alternativa para alimentar rutas más largas que el nosostros tenemos, con este sistema se puede brindar mayor flexibilidad y un servicio de alimentación más confiable. Además es muy apropiado en sistemas de distribución radial, sin embargo su mayor desventaja de esta disposición, radica en una elevada inversión tanto en equipos, personal de vigilancia y sobre todo en el terreno necesario para la instalación de cada planta.

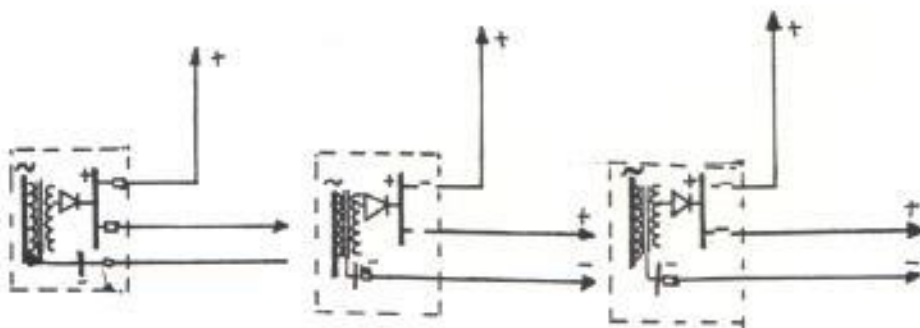


FIGURA No. 5.20. SUBESTACION PEQUEÑAS PARA ALIMENTAR UNA RUTA LINEAL O DISTRIBUCIONES RADIALES.

Por último podemos agregar una disposición de subestaciones para alimentar una ruta en anillo, esta disposición al igual que el anterior es flexible y brinda confiabilidad en el servicio, además de que está en capacidad de distribuir energía a las rutas radiales, tanto hacia el centro del anillo o fuera de ella.

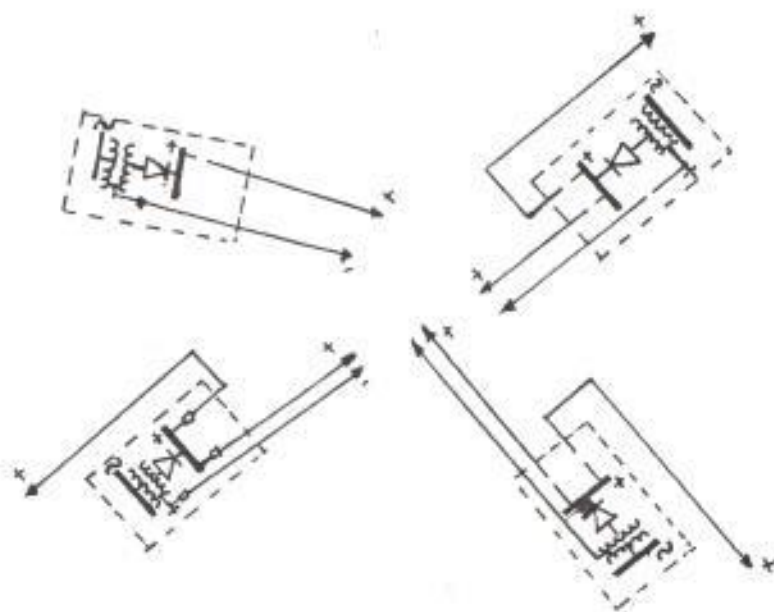


FIGURA No. 5.21. UBICACION DE SUBESTACIONES PARA UNA DISTRIBUCION RADIAL (CIRCULAR),

5.6.3 Equipos de transformación.-

En la electrificación de cc., al igual que

en un sistema de ca., destinadas al suministro de energía, es necesario la existencia de centros de transformación donde el transformador es una máquina estática de inducción en el que la energía eléctrica es transformada en sus dos factores: tensión e intensidad.

En este caso el factor más importante es el nivel de tensión ya que se debe adaptar al nivel de voltaje de 600 voltios cc., a la salida, con el que trabajan los motores de tracción de los trolebuses en estudio.

En las subestaciones o plantas rectificadoras, como en cualquier subestación de corriente alterna, es necesario disponer de dos niveles de tensión, donde uno de ellos es el principal y sirve para suministrar energía a la red de alimentación para cuyo efecto se construye la planta y el otro nivel de tensión para cubrir la demanda de energía en la propia planta.

En ambos casos los equipos de transformación son independientes porque sus niveles

de transformación difiere del uno al otro.

Si consideramos la carga necesaria para alimentar el sistema, evaluada en la sección 5.2, 6000 Kw, distribuido en dos plantas, una en cada extremo de la ruta y cada planta con dos unidades de transformación que brindaría mayor confiabilidad del sistema; entonces cada transformador para el sistema propuesto deberá tener las siguientes características.

Tensión primaria	:	13.800 o 69.00 voltios
Tensión secundaria ⁽¹⁾	:	444,28 voltios
Capacidad nominal	:	1500 Kw
Frecuencia	:	60 Hz
Factor de potencia	:	(Varía según la fábrica que suministra).

El transformador auxiliar en cada planta deberá tener las siguientes características:

[1] Refiérase a la sección 5.6.4 para verificar el cálculo.

Tensión primaria	:	13.800 o 69.000 voltios
Tensión secundaria	:	220/110 voltios
Capacidad nominal ⁽²⁾	:	50 KVA
Frecuencia	:	60 Hz
Factor de potencia	:	(No es standar)

Obviamente fuera de los equipos de transformación mencionados que sin transformar ningún factor de la energía eléctrica, son necesarios para cumplir las diferentes funciones como: Refrigeración, medición, protección, rectificación (estos dos últimos se detallan en los siguientes subtemas), celdas, barras, etc.

Algunos de estos componentes se ilustran a continuación y otros de menor consideración se indica en el plano de subestación típica.

5.6.4 Equipos de rectificación.-

En nuestro medio la energía eléctrica es ge

(2) Valor típico, recopilado de diseño de plantas similares.

nerada y transportada en forma de corriente alterna a 60 Hz. Sin embargo nuestro propósito requiere de energía en forma de corriente continua porque los motores de tracción de los trolebuses son alimentados con c.c., en consecuencia es necesario rectificar la c.a. en c.c., para lograr este propósito requerimos de equipos rectificadores adecuados instalados en la subestación de distribución eléctrica.

Los elementos para rectificar corriente alterna en corriente corriente continua se denominan diodos de potencia o válvulas de silicio ilustrado en la Figura N^o 4.45, cuyas características técnicas señalaremos conforme se vaya obteniendo los datos durante el cálculo.

El equipo de rectificación es la novedad en estas subestaciones y por tratarse de un tema nuevo, respecto a las subestaciones de distribución de corriente alterna de uso comercial, es importante realizar un análisis minucioso del proceso de rectificación en esta planta.

En la subestación, el equipo más importante es el transformador reductor, cuyas características de operación son idénticas a las subestaciones de distribución de la empresa eléctrica (ca.); sin embargo el secundario del transformador tiene doble bobina por cada arrollamiento del primero, esto se puede observar en el diagrama que ilustra la Figura N° 5.22.

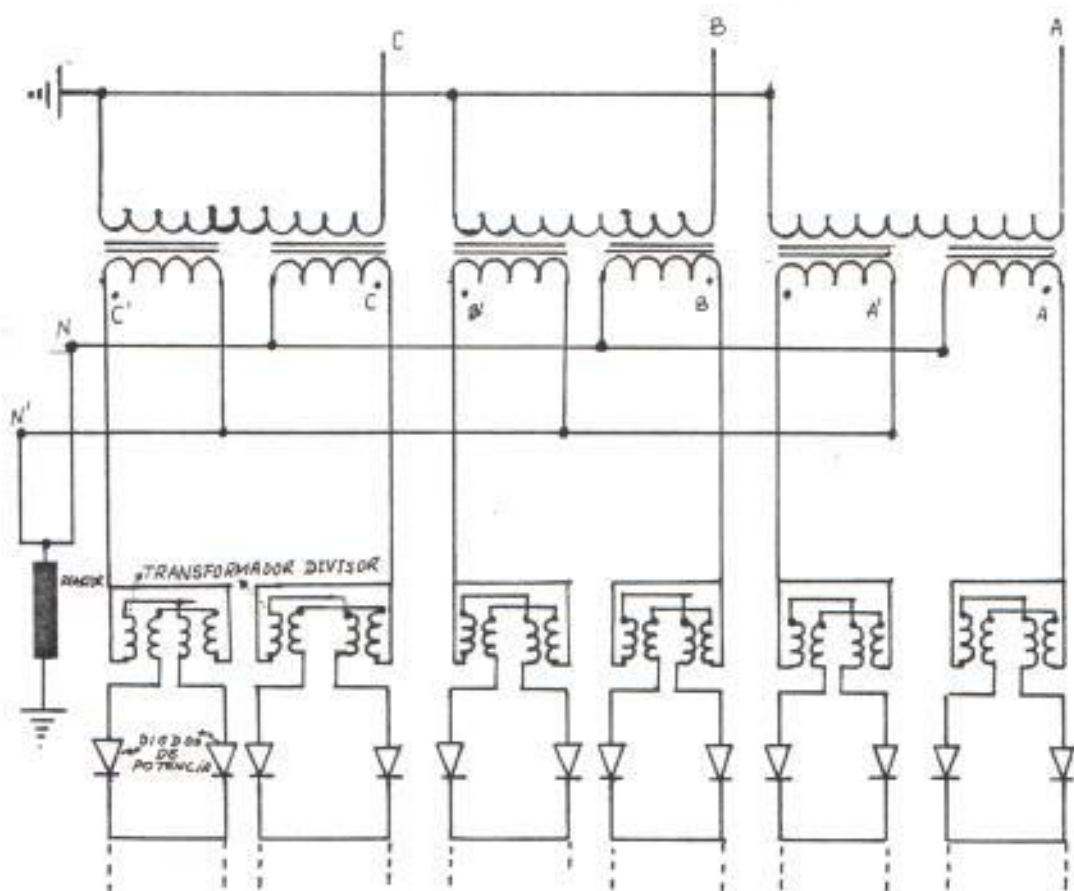
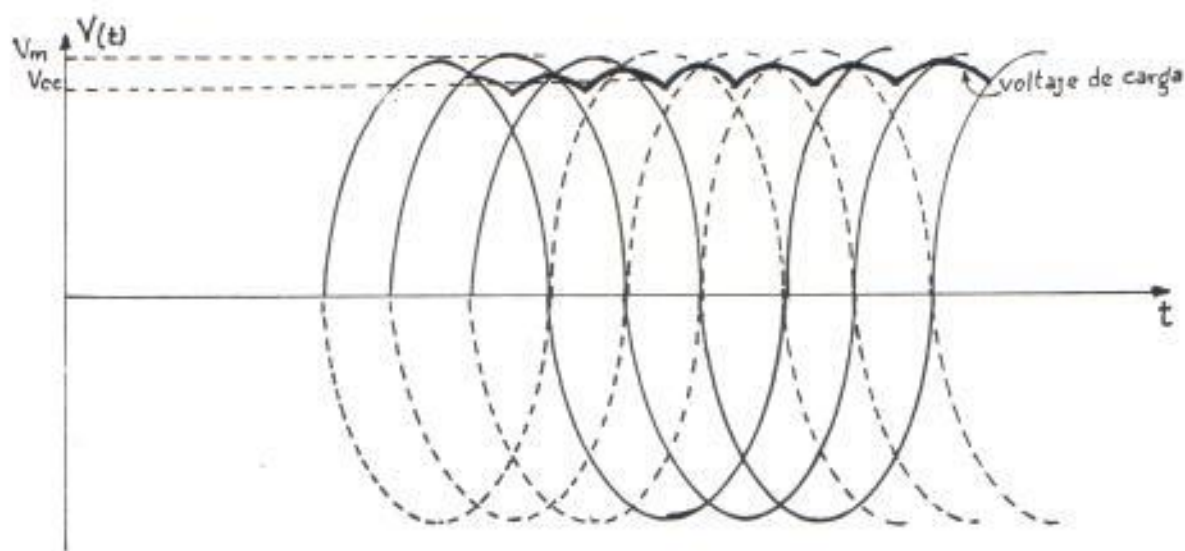
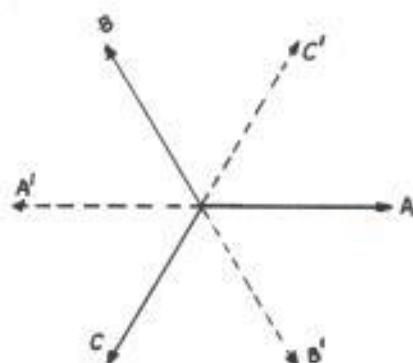


FIGURA No. 5.22. DIAGRAMA ELECTRICO DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL.

Con el fin de conseguir corriente continua con el menor rizado posible, se utiliza transformadores con dos bobinas en el secundario para cada fase del arrollamiento primario, cuyas formas de onda y tensiones vectoriales se representa en la Figura N^o 5.23 y 5.24



23



24

FIGURA No. 5.23 FORMA DE ONDAS DE TENSION

FIGURA No. 5.24 DIAGRAMA VECTORIAL DE LA TENSION.

El circuito rectificador de onda completa que se diseña para el uso de la planta, tiene la ventaja de desarrollar un voltaje en corriente continua más elevado para la misma especificación de voltaje de pico, sin embargo requiere un diodo especificado a dos veces el voltaje inverso de pico.

Cálculos:

Para determinar el voltaje de corriente continua se recurre a la siguiente fórmula⁽¹⁾.

$$V_{\text{medio}} = \frac{3}{2\pi} \frac{3}{3} V_{\text{max}}$$

Para el servicio de distribución de energía hacia los trolebuses en el presente estudio, se requiere 600 voltios cc., entonces de acuerdo a la anterior ecuación el parámetro desconocido es el voltaje V_m (voltaje de pico) de la señal de entrada.

De la anterior ecuación, se tiene

$$V_{\text{max}} = \frac{V_{\text{medio}} \times 2\pi}{3}$$

Para seleccionar el diodo se aplica el PIV = $2 V_{\text{max}}$ entonces $PIV = 2 \times 725,52 = 1451$ Voltios.

El PIV calculado se aplica a una cadena de 4 tiristores colocados en serie, por lo tanto, cada tiristor debe tener.

$$PIV = \frac{1451,04}{4} = 362,76 \text{ voltios}$$

Por seguridad y protección del equipo rec-

tificador, se dá un margen adicional de 20% V_m , entonces

$$PIV = 362 \times 20\% + 362 = 434.4 \text{ voltios}$$

Obviamente en el mercado existen diodos de potencia con valores standar, entonces según los valores obtenidos, un tiristor con un PIV = 450 resultaría el más adecuado para el servicio de una carga tan variable como es el transporte eléctrico.

Considerando las condiciones más exigentes que se dá en las horas pico del día; se calculan las corrientes de carga por cadena y por diodo, primeramente se conoce que el número de vehículos que estarían circulando en horas pico por ruta es 20, y si además consideramos que cada vehículo absorbe 150Kw, entonces la corriente de carga que necesita conducir la línea alimentadora es:

$$20 \times 150 = 3000 \text{ KW}$$

Si consideramos al factor de 0,7 debido al factor de simultaneidad y frecuencia de uso

$$I = \frac{3000.000 \times 0,7}{600} = 3500 \text{ Amp}$$

Esto es, la corriente que absorbe la alimentadora desde las barras, sin embargo, se tiene seis cadenas de rectificación que alimentan la barra, entonces la corriente proporcionada por cada grupo fase es:

$$I_L = \frac{3500}{6} = 1428,8 \text{ Amp}$$

A su vez cada grupo está dividido en 2 ramas de diodos, con corriente equitativamente distribuidos por un transformador divisor de corriente de donde:

$$I_D = \frac{1428,8}{2} = 714 \text{ Amp/diodo}$$

Dando su respectivo margen adicional de seguridad, el diodo utilizado para rectificar la señal en nuestra planta debe tener una capacidad de conducir:

$$I_D = 750 \text{ Amperios}$$

A la salida de cada fase de las bobinas del

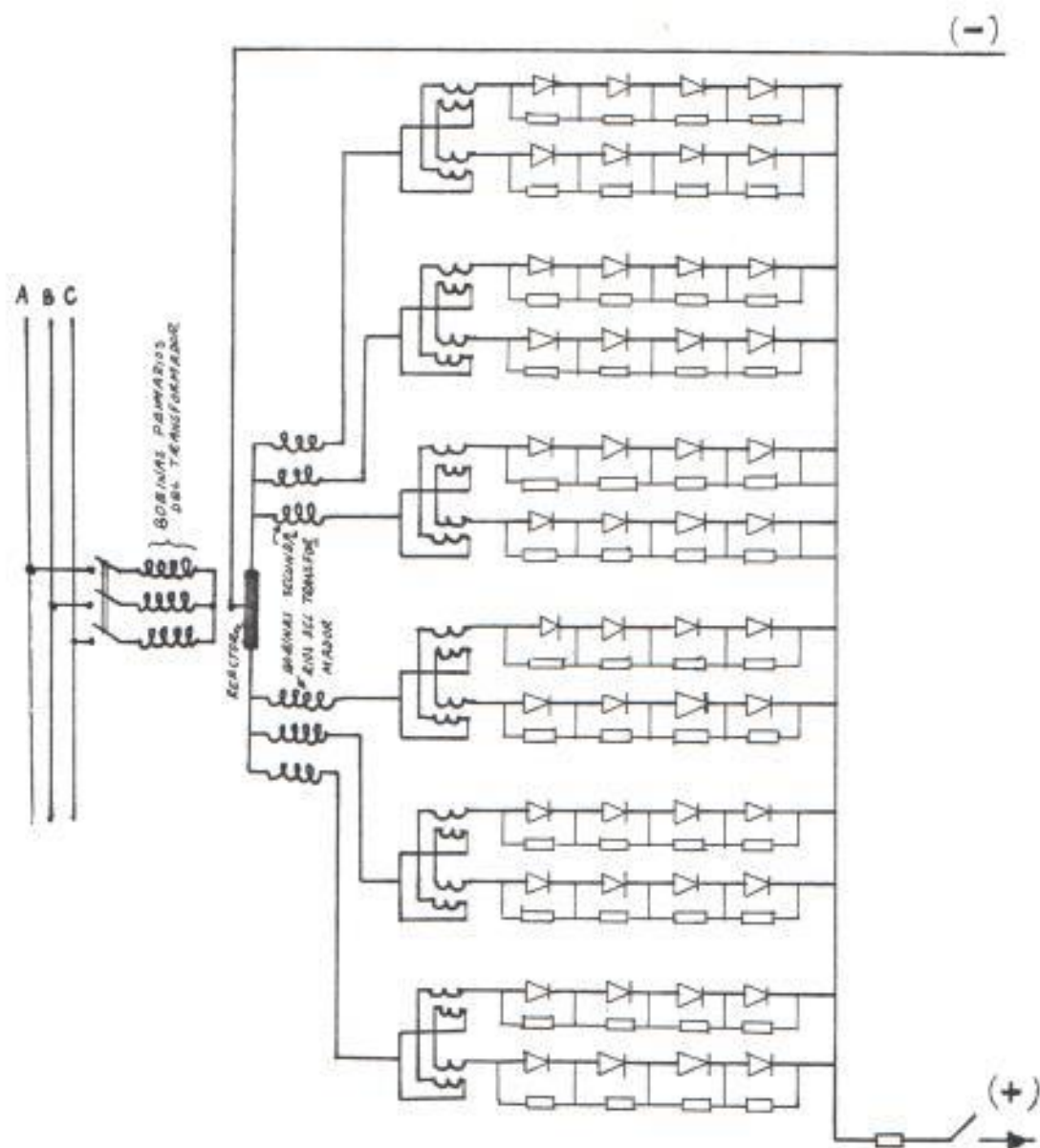


DIAGRAMA COMPLETO DE RECTIFICACION

secundario, se utiliza unos pequeños transformadores divisores conocidos como transformadores "BALUM" que equilibran la corriente de entrada a los diodos de potencia. Cuando no se utiliza estos transformadores, podría ocurrir que uno de los diodos cualesquiera opere a distinta capacidad respecto al otro, dependiendo de sus características internas y llegar al extremo de quemarse, mientras el otro diodo paralelo está operando con su mínima capacidad. En el siguiente gráfico ilustramos dicho efecto.

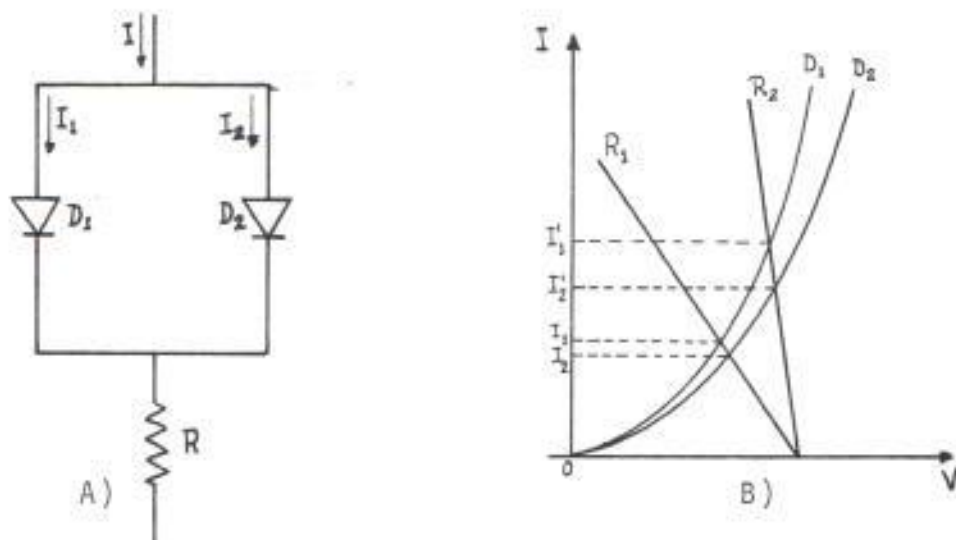


FIGURA No. 5.25

- A) DISTRIBUCION DE CORRIENTES SIN TRANSFORMADOR-COMPENSADOR,
 B) CURVA DE DIODOS CON CAPACIDADES SIMILARES

La Figura N^o 5.25 muestra las curvas de funcionamiento de dos diodos contruidos para conducir la misma corriente, pero no podemos estar seguros de que sus impedancias internas sean iguales, entonces en dichas curvas se observa claramente que para una determinada carga R_1 , el diodo D_1 conduce mayor corriente con respecto al diodo D_2 ; esto empeorará al aplica una carga distinta R_2 , donde R_1 es mayor a R_2 , y la diferencia de corrientes conducidas por el uno y por el otro son considerablemente diferentes. Esto justifica plenamente el uso del pequeño transformador-compensador, que distribuye la corriente en la entrada de los diodos equitativamente, sin importar las condiciones internas de las mismas (tiristores).

5.6.5 Equipos de proteccion.-

Los equipos de protección varían de acuerdo al elemento que se desea proteger, tal es así que se tiene equipos para proteger la sobrecorriente, sobrevoltaje, bajovoltaje, etc.

Las exigencias que plantea la protección con relés, tanto de los equipos de la planta como las líneas alimentadoras y de contacto de trolebuses, difieren en varios aspectos de las normales en una red común de distribución para igual nivel de tensión, debido a que poseen las siguientes particularidades:

En una línea de contacto, la carga varía dentro de límites muy amplios; unas veces puede ser nula o casi nula y otras en un período muy corto puede alcanzar valores muy altos, cuando varias unidades arrancan simultáneamente dentro de la zona de influencia de una misma sección, correspondiente a una misma planta.

En las redes de distribución para alimentar vehículos eléctricos, las secciones alimentadoras son desusadamente (considerablemente) largas comparadas con la tensión de servicio, por lo cual, en una falla en el extremo más alejado de la planta, la corriente de falla puede ser inferior a la corriente máxima de carga.

En caso de fallas, en que la corriente de falla pasa de la línea de contacto al pantó grafo, existe el peligro de que la línea se quemara cuando el producto de la corriente de falla y el tiempo, alcanza valores muy elevados.

Por las razones antes expuestas, las líneas aéreas de alimentación requieren un equipo de protección de alta velocidad, muy selectivo, que permite el recierre automático y que no se vean tan afectados por los cambios en la magnitud de la corriente de cortocircuito. Un elemento que cumple con estas características está integrado por los siguientes componentes básicos:

Un relé de puesta en marcha esté relé detecta las variaciones repentinas de corriente y funciona cuando la variación de la intensidad alcanza un valor prefijado en un lapso de tiempo muy breve. Este relé distingue la corriente de falla de la corriente de carga máxima que se presenta en los arranques.

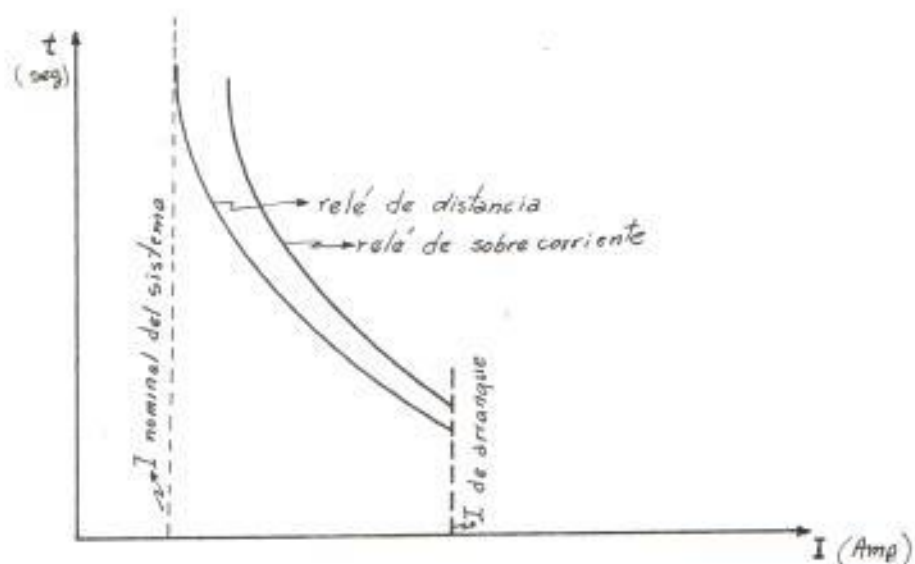


FIGURA No. 5.27. COORDINACION DE ELEMENTOS DE PROTECCION.

Un relé de distancia tipo MHO cuya característica de funcionamiento se muestra en la Figura N^o 5.28. Este relé se ajusta para el valor de la impedancia constituida en nuestro caso solamente por la resistencia que corresponde a la longitud de la línea que se desea proteger. Este relé es construido especialmente para líneas de alimentación de transporte urbano.

La unidad elemental para la protección a distancia de las alimentadoras aéreas se muestra en el gráfico N^o 5.29. Tal como se observa en el gráfico, la unidad de protección cuenta con transformadores de corrien

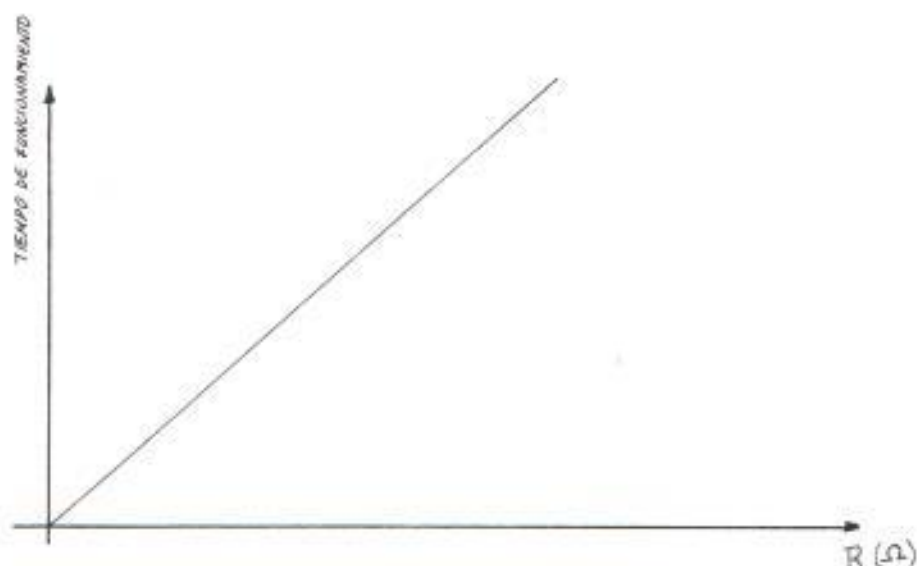


FIGURA No. 5.28.A- RELE DE DISTANCIA TIPO "MHO"

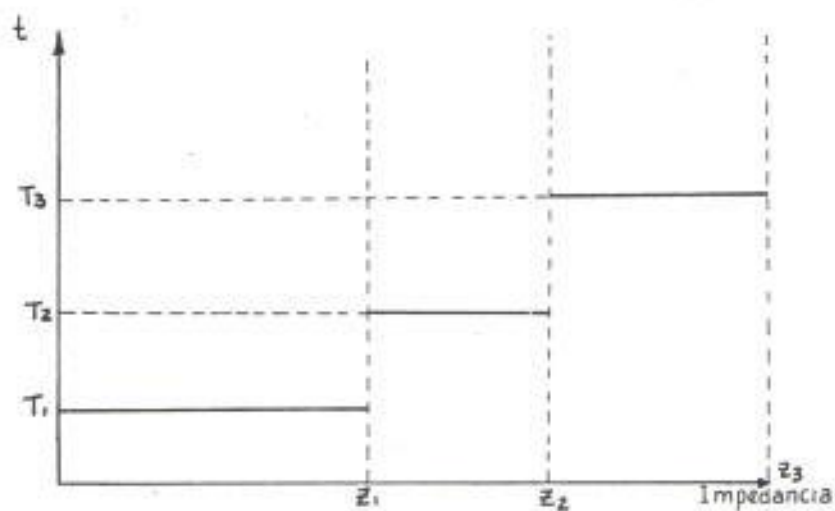


FIGURA No. 5.28.B- AJUSTE DE IMPEDANCIAS EN LA COORDINACION, DEL RELE "MHO".

te CT y de potencial PT, sin embargo nuestro sistema es cc, por lo tanto no se puede utilizar estos equipos directamente en la línea, en este caso se procede a tomar las

señales tanto de voltaje como de corriente antes del equipo de rectificación, obviamente en el ajuste debemos incluir la impedancia del rectificador.

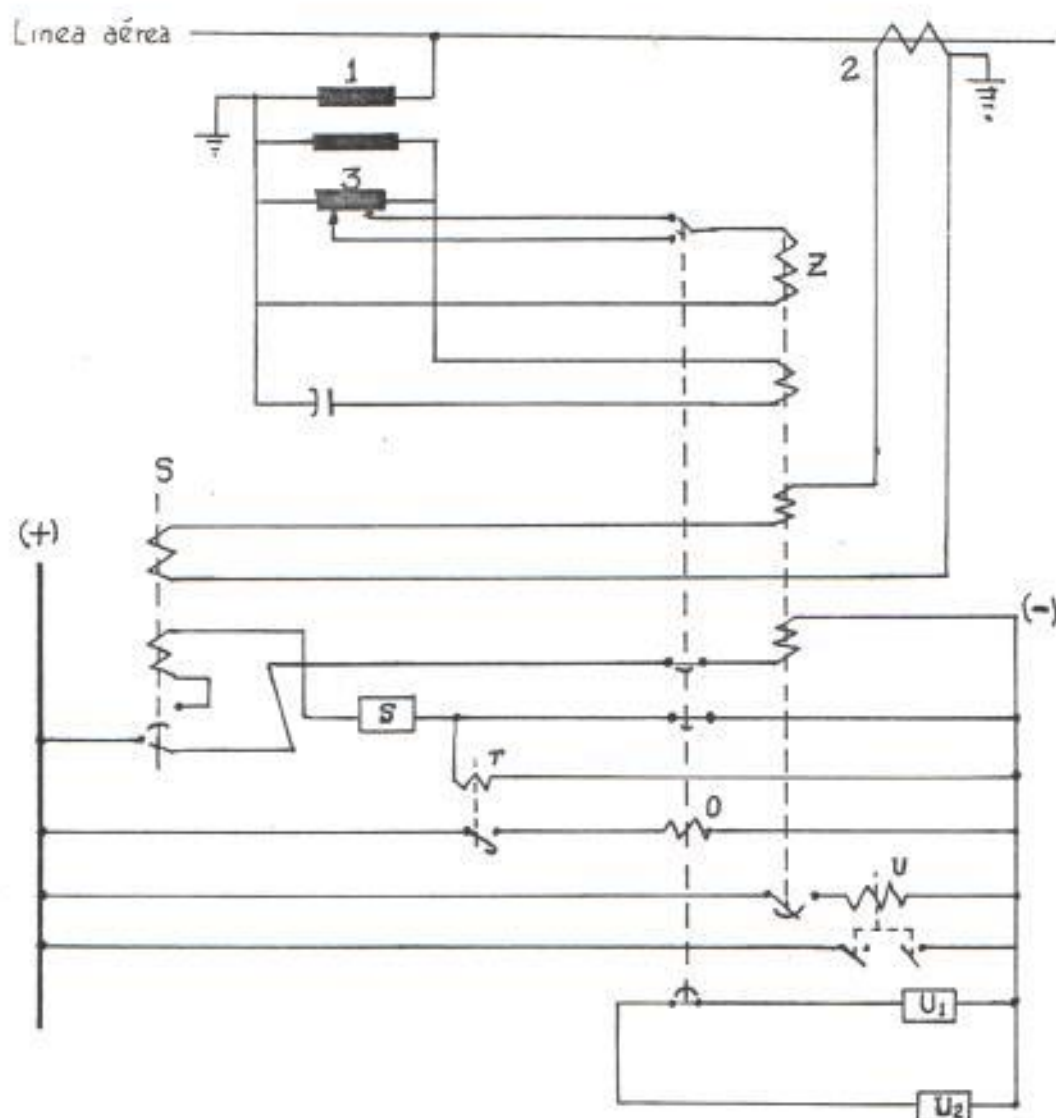


FIGURA No. 5.29. UNIDAD ELEMENTAL DE PROTECCION DE LA LINEA AEREA.

Un relé de sobrecorriente (protección de

apoyo) para despejar las fallas que se presenten muy próximos al relé MHO, para los cuales el relé MHO corre el riesgo de no funcionar, entonces se dimensiona para que opere con 50% más de corriente máxima de carga.

Un relé de baja tensión que se utiliza cuando se tiene seccionamiento en el hilo de contacto. Se calcula este relé para la máxima tensión que se presenta en el punto de seccionamiento en caso de un corto circuito en el extremo opuesto de donde está instalado el relé MHO.

Finalmente un relé de recierre automático, ya que la mayoría de las fallas que se presentan en las líneas de contacto, son de índole transitorio.

En el diagrama elemental de protección de la línea, la notación empleada se describe como sigue:

- Z : relé direccional MHO
- S : relé de puesta en marcha con indicador "s".

- T : relé de tiempo para la selección del tiempo en el segundo escalón.
- 0 : relé auxiliar para reconexión de alcance.
- U : relé de disparo (protección auxiliar)
- U_1 y U_2 : indicadores
- 1 : transformador de tensión
- 2 : transformador intermedio de tensión para graduar el alcance.

5.7 ESTUDIO ECONOMICO DE LA ELECTRIFICACION.-

Este aspecto del estudio requiere un conocimiento muy profundo y un contacto permanente con los fabricantes de los diferentes elementos que componen el sistema en general, esto es la flota, las subestaciones, las líneas y el personal de operación. Por lo tanto, se podría catalogar de incierta cualquier valor estimado para su implementación, porque la diferencia de precios entre un proveedor y otro puede tener amplios márgenes de variación. Bajo las premisas y aclaraciones antes señaladas, los valores que se indican, para los diferentes rubros del sistema son aproximados y se menciona a título informativo, basados en experiencias de com

pañías de transporte del exterior, especialmente la "Empresa Distrital de Transporte Urbano" Bogotá (Colombia).

La depreciación de los diferentes componentes del sistema se hace, en base a la vida útil comprobada en condiciones normales de operación, así se tiene:

- Trolebuses	20 años
- Equipos de subestación y línea	25 años
- Equipos de mantenimiento y herramientas.	5 años
- Equipos de oficina e instalaciones varias.	7 años
- Edificaciones administrativas y talleres.	30 años

Como definición importante debe considerarse la duración del proyecto, porque de éste depende de muchos factores del análisis económico.

5.7.1 Costo de construcción.-

Especialmente este es uno de los aspectos más difíciles del sistema, la construcción de un sistema tan complejo como es la elec-

trificación de una trayectoria de 15 Km en corriente directa, varía dependiendo de muchos factores, tales como la infraestructura existente en el tramo a electrificar, es decir la cantidad de postes aptos para este propósito, curvas en el tramo, la topografía del tramo el medio ambiente a fin de reducir o reforzar el tipo de aislamiento de las líneas, etc. •

Superficialmente mencionaremos los aspectos que ocasionarían gastos en la construcción de la línea:

- Levantamiento topográfico de las rutas
- Cálculo eléctrico para la determinación de la potencia necesaria en subestaciones rectificadoras y otros aspectos relacionados con la capacidad de los equipos.
- Comunicaciones, entre el sitio de la administración, talleres y garajes, lugares de control a lo largo de la ruta y otros.
- Estudio de localización y diseño arquitectónico de los talleres de mantenimiento y edificio de administración.

Por todos y cada uno de los aspectos mencio

nados se paga ya sea a entidades consultoras o personas especializadas en cada rama en particular. En los siguientes subtemas se dan algunos valores aproximados de ciertos componentes más importantes del sistema.

4.7.1.1 Costo del carro.-

El precio del trolebús varía dependiendo del modelo, de la fábrica, de las comodidades de la unidad, y muchos otros aspectos difíciles de predecir, sin embargo como se indicó en principio, se dispone de datos referenciales de proveedores como URSS y USA. Conforme el análisis de la ruta, hemos establecido que para cubrir la ruta de 15 Km es necesario una flota de 50 unidades.

MODELO	HECHO EN URSS US\$/UDAD	HECHO EN USA US\$/UDAD
Trolebús sencillo	110.000	135.000
Trolebús articulado	165.000	185.000

Considerando que los cálculos para el sistema, se han hecho en base a las unidades ar-

ticuladas, entonces la flota de trolebuses compuesto de 50 unidades, entregados en el puerto ecuatoriano costaría aproximadamente:

$$165.000 \times 50 = 8'250.000$$

C&F Guayaquil aprox. US\$8'250,000

Si se considera las unidades fabricadas en USA el costo alcanzaría aproximadamente:

US\$9'250,000

5.7.1.2 Costo de la subestación.-

Considerando que los costos de construcción del edificio destinado a este servicio y el costo del terreno, no se toma en cuenta; el costo del equipo para una subestación rectificadora de capacidad de 3.000 KW, 69 KV/600 V_{DC} es de aproximadamente US\$ 300,000.00 a veces las evaluaciones se hacen como un valor relativo del costo total del sistema, en este caso las subestaciones rectificadoras representarían el 15%.

5.7.1.3 Costo de la línea por kilómetro.-

Como elementos de la línea, se pueden consi-
derar, los alambres de contacto, alimentado-
 ras y el resto de los accesorios tanto de
 suspensión como de sujeción para una vía
 sencilla; todo este conjunto se pronostica
 en aproximadamente US\$30,000 por km.

El costo de las líneas, normalmente repre-
 sentan el 40% del costo total del sistema.

5.7.1.4 Otros costos.-

- Entre otros costos, podemos con-
 siderar la maquinaria para el mantenimiento
 y reparación de los trolebuses, de la subes-
 tación y las líneas, según datos proporcio-
 nados por E.D.T.U. (Colombia) por este con-
 cepto se desembolsa aproximadamente US\$
 200,000.00.

- Costos de factibilidad y pro-
 yecto. US\$ 30,000

Subestaciones:

Lote y edificación en un área
 de 200 m². aprox. US\$ 50,000

Montaje de equipos aproxi. ... US\$ 10,000

Líneas:

Suministros locales (posterías,
 accesorios materiales varios
 instalados, aprox. US\$ 5,000
 Edificio administrativo y talleres de estacionamiento, área
 aprox. 5000m² (incluido lote). US\$350,000

Para obtener el costo aproximado del sistema se suman todos los datos antes mencionados, cuyo resultado es

Aproximadamente 10'395.000,00 dólares

El valor obtenido corresponde al costo de inversión necesaria para implementar el sistema, sin considerar el costo de operación que corresponde al gasto que se hace para que el sistema entre al servicio público. Los insumos más significativos de costos de operación se resume a continuación:

a) Llantas y neumáticos US\$ 13,500

b) Repuestos lubricantes y otros	US\$ 25,500
c) Personal: Conductores, técnicos, mantenimiento y administrativo.	US\$550,000
d) Dotaciones varias, personal, operación y mantenimiento, esto se refiere a la ropa de trabajo.	US\$ 10,000
e) Mantenimiento y reparaciones de buses y líneas.	US\$ 30,000
f) Seguros varios	US\$ 2,500

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios generales de transporte urbano proporcionan a los encargados del urbanismo y de los transportes urbanos, un mayor conocimiento de datos fundamentales que rigen la organización de los sistemas en los centros urbanos de mayor concentración. Les ayuda además a elegir soluciones fiables, económicamente adaptables al lugar de intervención y las necesidades de la población.

El sistema eléctrico de transporte en base a trolebús es en realidad, el mecanismo más viable y rápido en ser aplicado frente al ferrocarril urbano, por muchos aspectos; bastaría con mencionar el tiempo y costo de construcción del carril que necesita para desplazarse; aparte de que representa un obstáculo permanente para la circulación de otros vehículos.

La integración del sistema eléctrico al transporte urbano, no solo se recomienda con la finalidad de atender la demanda de medios de transporte, sino que se pretende racionalizar el combustible, por ser un recurso no renovable, para fines en las que no es posible sustituir el petróleo por otra forma de energía.

VENTAJAS:

Una ventaja notable del trolebús frente a cualquier transporte eléctrico sobre rieles es la flexibilidad y autonomía parcial del carril y de la línea, cosa que los ferrocarriles no pueden competir por su absoluta dependencia tanto de la vía como de la fuente. Los costos de mantenimiento del sistema trolebús sobre todo en lo que concierne a las vías es prácticamente nula, puesto que el Municipio atiende los deterioros en la pavimentación de la ciudad, sin embargo los transportes sobre rieles no pueden evadir el gasto que representa el mantenimiento de sus vías exclusivas.

Otro aspecto muy importante, digno de ser considerado es la utilización racional del reducido espacio público disponible; quien conoce Guayaquil está plenamente convencido de este problema; y la implementación de sistema de transporte sobre rieles, ahondaría la congestión actual, no solamente reduciendo el espacio, sino que requiere de una vía exclusiva para su desplazamiento y la construcción de estaciones intermedias.

Las ventajas del trolebús frente a buses de combustión interna se puede resumir en:

1. El sistema no contamina el medio ambiente
2. Mantiene mayor economía que empleando buses, dada la mayor participación de capacidad, obteniendo mayores cifras de movilización.
3. Las condiciones técnicas son positivas sobre todo cuando la topografía del terreno es adecuado para el trolebús.
4. La ventaja más notable es el cambio de combustible derivado del petróleo por la fuente de energía eléctrica.
5. Con el trolebús se lograría prestar un servicio más ordenado y seguro; porque al depender de la línea no incurriría en el desorden que impera con el transporte automotor (guerra del centavo), que normalmente constituye un peligro para la ciudadanía.

Finalmente el trolebús ha sido reconocido como un sistema relativamente bajo en el consumo de energía; esto como resultado de la tecnología básica en la cual la alta fuerza de torsión y el corto tiempo de capacidad de sobrecarga de un motor eléctrico están compartidas con el liviano peso de las carrocerías (comparado con un vehi-

culo de rieles) y el alto factor de adhesión de las llantas de caucho sobre el pavimento.

DESVENTAJAS:

La desventaja más notoria del trolebús, frente a los otros sistemas eléctricos como el ferrocarril es la reducida capacidad de transporte (menor volumen de pasajeros movilizados por viaje).

Otro aspecto desfavorable del trolebús es la reducida velocidad y el impacto visual del sistema de cables; este último factor es a veces considerado como ventaja, porque sus cables visibles dan al servicio un sentido de permanencia que induce a la gente a usar y depender del servicio.

RECOMENDACIONES:

Para la aplicación del sistema de transporte es necesario realizar un plan de renovación urbana que permita una eficiente explotación, utilización de las reducidas áreas de circulación con que cuenta Guayaquil, para ello se sugiere tomar nota de las recomendaciones sugeridas en la sección 1.7. Por otra parte se sugiere la creación de un fondo para financiar los estudios e implemen

tación de un sistema de transporte masivo al servicio de Guayaquil.

El trolebús no requiere necesariamente una vía exclusiva para su circulación, como los otros sistemas, sin embargo se recomienda brindar un derecho exclusivo de vía parcialmente, para permitir operar con una mejor eficiencia y rapidez.

B I B L I O G R A F I A

1. FINK-BEATY-CARROLL "Manual práctico para ingenieros", 2do. tomo, 3era. Edición, España Reverté S. A., 1981, pp. 60-94.
2. G.ZOPPETTI, J., "Estaciones transformadoras y de distribución" (5ta. Edición, México, G.Gilli, 1981) pp. 89-96, 220-232; 241.
3. D.W.Hinde, Electric Traction Systems and Equipment (Oxford 1968).
4. HELLMAN, Hal, Transporte en el mundo del futuro (Buenos aires, Marymar, 1976).
5. FRIEDRICH LERNER y WALTER STROCKA, "Instalaciones modernas de carriles de contacto", Revista AEG-TELEFUNKEN AL DIA, N° 4, 1970).
6. Tercera Reunión Andina de Transporte, Medellín (Bogotá) Abril de 1980, "Trolebuzación en Colombia" por Alfonso Galvis G.

7. E. REBOLLEDO, JOSE SANCHEZ y RICARDO SARMIENTO,
"Diseño eléctrico del ferrocarril del Nordeste"
(Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Eléctrica,
Universidad Nacional de Colombia).
8. Catálogos de la BROWN, BOVERI & CIA (BBC)
9. JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, "Estudio
del Plan de transportación urbana para la ciudad
de Guayaquil" (Reporte final, marzo 1983).