



Universidad Nacional Autonoma de Mexico

Escuela Nacional de Estudios
Profesionales

“ACATLAN”



ESTUDIO DE PLANEACION Y CONSTRUCCION
DE LA LINEA 4 DEL SISTEMA DE TRANSPORTE
COLECTIVO DE LA CIUDAD DE MEXICO

TESIS

Que para obtener el título de :
INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a n :

SALVADOR TORRES PATIÑO
ARTURO DAVID DIAZ ROSALES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLÁN
COORDINACIÓN DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CI/098/1986.

SRES. ARTURO DIAZ ROSALES Y
SALVADOR TORRES PATIÑO
Alumnos de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e s .

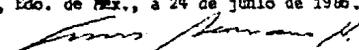
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 18 de agosto de 1980, me complace notificarles que esta Coordinación tuvo a bien - asignarles el siguiente tema de tesis: "Estudio de Planeación y Construcción de la Línea 4 del Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Antecedentes.
- II.- Estudio Socio-Económico.
- III.- Modelo de Simulación.
- IV.- Definición del Trazo.
- V.- Selección del Procedimiento de Construcción.
- VI.- Selección de Equipo Electromecánico.
- VII.- Conclusiones.
- Referencias.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis al señor Ing. - Fernando Favela Lozoya, profesor de esta Escuela.

Puego a ustedes tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para presentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlán, Edo. de Méx., a 24 de junio de 1986.


ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO
Coordinador del Programa de
Ingeniería.

HAS'JAN/rca.

INDICE

| | | PAGINA |
|--------|---|--------|
| | INTRODUCCION ----- | 1 |
| I | ANTECEDENTES ----- | 3 |
| 1.1) | Experiencias de la transportación masiva en el mundo. ----- | 3 |
| 1.2) | Panorama general de la problemática del transporte en la Ciudad de México.----- | 12 |
| 1.3) | Plan Maestro del Sistema de Transporte Colectivo. ----- | 15 |
| II | ESTUDIO SOCIO-ECONOMICO----- | 23 |
| 2.1) | Comentarios generales ----- | 23 |
| 2.2) | Origen y destino ----- | 39 |
| III | MODELO DE SIMULACION ----- | 41 |
| 3.1) | Descripción general ----- | 41 |
| 3.2) | Definición ----- | 43 |
| 3.3) | Modelo analizado ----- | 43 |
| 3.3.1) | Modelo externo ----- | 46 |
| 3.3.2) | Modelo interno ----- | 53 |
| 3.3.3) | Modelo de operación ----- | 59 |
| 3.3.4) | Modelo de desición ----- | 63 |
| 3.4) | Uso de computadoras ----- | 64 |
| 3.4.1) | Implementación del computador ----- | 67 |

| | | |
|---------|--|-----|
| IV | DEFINICION DEL TRAZO ----- | 70 |
| 4.1) | Estudio y proposición de alternativas ----- | 70 |
| 4.2) | Selección de la alternativa ----- | 71 |
| V | SELECCION DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION ----- | 94 |
| 5.1) | Descripción de los procedimientos de construcción | 94 |
| 5.2) | Procedimiento constructivo subterráneo ----- | 95 |
| 5.2.1) | Construcción de muro ademe o milán ----- | 97 |
| 5.2.2) | Perforación con broca ----- | 101 |
| 5.2.3) | Compuertas ----- | 101 |
| 5.2.4) | Excavación para muro ----- | 101 |
| 5.2.5) | Estabilización ----- | 105 |
| 5.2.6) | Propiedades y características del lodo estabiliza dor ----- | 107 |
| 5.2.7) | Limpieza de la excavación ----- | 108 |
| 5.2.8) | Introducción de juntas ----- | 108 |
| 5.2.9) | Colocación del acero de refuerzo ----- | 109 |
| 5.2.10) | Colado del muro milán ----- | 110 |
| 5.2.11) | Excavación del núcleo y colocación de troqueles-- | 112 |
| 5.2.12) | Losa de fondo ----- | 116 |
| 5.2.13) | Losa de techo ----- | 116 |
| 5.3) | Procedimiento constructivo de túnel profundo----- | 117 |
| 5.3.1) | Sección media superior ----- | 120 |
| 5.3.2) | Sección media inferior ----- | 120 |
| 5.3.3) | Revestimiento definitivo ----- | 122 |

PAGINA

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.4) | Procedimiento constructivo superficial ----- | 126 |
| 5.5) | Procedimiento constructivo elevado ----- | 127 |
| 5.5.1) | Hincado de pilotes ----- | 129 |
| 5.5.2) | La zapata ----- | 133 |
| 5.5.3) | El dado ----- | 136 |
| 5.5.4) | Columnas ----- | 138 |
| 5.5.5) | Trabes ----- | 142 |
| 5.5.6) | Selección del procedimiento constructivo para la línea 4 ----- | 157 |
| VI. | SELECCION DE EQUIPO ELECTROMECHANICO ----- | 161 |
| 6.1) | Descripción ----- | 161 |
| VII | CONCLUSIONES ----- | 168 |
| | REFERENCIAS ----- | 170 |

INTRODUCCION

El crecimiento de la Ciudad de México, tanto por la inmigración como por la explosión demográfica, acarrea consigo graves problemas de abasto de insumos y de servicios, uno de estos importantes servicios es el de la transportación de personas, -- problema que reviste gran importancia por la enorme y variada movilidad de personas dentro de la ciudad y zonas conurbadas del Estado de México, haciendo necesaria la creación de un sistema de transporte que solucione este grave problema, mediante el uso de la transportación masiva y dejar de pensar en la transportación particular. Es necesaria la construcción de trenes y la adaptación o creación de vías rápidas por las que circulen exclusivamente estos trenes transportando el mayor número de pasajeros en el menor tiempo posible, para ésto es necesario tener en cuenta la experiencia de otras ciudades y de la propia Ciudad de México para resolver este problema.

Es importante informar a los ingenieros y personas interesadas, de los factores que intervienen en la planeación y cons

trucción de un Sistema de Transporte Colectivo (Metro), y así - buscar criterios que incrementen mejoras a los actuales procedimientos de construcción y planeación.

El estudio que a continuación se presenta consta de siete capítulos, en el primero se exponen los antecedentes, experiencias y aspectos generales de la problemática del transporte masivo en el mundo y en nuestro país, así como la solución a tomar, como lo es un sistema de transporte de ferrocarril urbano - en la Ciudad de México.

En el segundo capítulo se exponen los estudios previos - en general de un estudio socio-económico, el cual es importante para la planeación de cada línea del Sistema de Transporte Colectivo. En el tercero se describe el Modelo de Simulación, siendo este una herramienta necesaria para el análisis del funcionamiento de una línea nueva y su efecto con las existentes.

En el capítulo cuarto se mencionan los elementos que dan lugar al trazo de la línea 4. En el capítulo quinto se describen los procedimientos constructivos actualmente desarrollados, para el Sistema de Transporte Colectivo en la Ciudad de México, - resumiendo los factores que dan origen a la selección de uno de ellos, para la línea 4. Posteriormente se describe en el capítulo sexto la selección del equipo electromecánico, siendo este similar tanto para la línea 4 como para las demás líneas del Metro, finalmente el séptimo capítulo se refiere a las conclusiones.

I ANTECEDENTES

1.1) Experiencias de la transportación masiva en el mundo

La experiencia de muchas ciudades en todos los continentes, con sistemas políticos de toda índole, con diferentes grados de desarrollo, con habitantes que van desde unos cientos de miles hasta cerca de 19 millones, viendose todas afectadas por los mismos problemas de tránsito, contaminación y escasez de energéticos, se orienta cada día más a considerar el Metro como uno de los métodos más adecuados para mover la cantidad creciente de personas que requieren desplazarse para realizar sus fines.

Esto no quiere decir por supuesto que el Metro debe ser el único medio de transporte urbano. Autobuses urbanos y suburbanos, trolebuses, tranvías, ferrocarriles suburbanos y vías reservadas a bicicletas; todos estos medios deben ser puestos a contribución dentro de una planificación lógica, pero como base de este complejo sistema debe contarse con el Metro. Como requisito de aquella planeación, el pago único que permita al pasajero llegar desde el punto de origen hasta su destino con un solo

boleto, con pocos transbordos y en el tiempo más reducido.

Las tres consideraciones básicas en el examen del problema del transporte en las principales ciudades son las siguientes:

1. La capacidad de las calles para dar cabida a los vehículos:

Para apreciar mejor este factor basta con conocer la superficie de que se dispone en las calles y plazas de las ciudades, y el espacio que requieren los vehículos para circular o para estacionarse.

El incremento irrestricto de coches particulares en el mundo en los últimos años, acompañado de las enormes inversiones requeridas para la construcción de carreteras por las que pudieran circular, llegó acompañado por el abandono de los Sistemas de Transporte Colectivo.

Un auto requiere 10 metros cuadrados para estacionarse junto a una banqueta. En un estacionamiento automático precisa 15 m^2 ; si es normal de una sola planta necesita de 20 a 25 m^2 como promedio, contando con los callejones de acceso y maniobra. Si el estacionamiento es de más de un piso el promedio necesario por coche se eleva de 25 a 30 m^2 .

Por un carril de 3.5 m de ancho pueden pasar de 1800 a 2000 coches por hora, lo que supone una cantidad aproximada de

2700 personas por carril/hora.

Basta relacionar estos datos con los correspondientes a las disponibilidades de espacio, tanto en las calles como en los accesos a las ciudades, para comprobar que el automóvil no puede resolver el problema consistente en desplazar los cientos de miles de personas que por razón de su trabajo y demás necesidades de hacerlo. El intentarlo, aún dentro de ciertos límites, ocasiona otra serie de consecuencias: degradación de la velocidad de circulación, embotellamientos, accidentes, costo creciente en dispositivos reguladores, en policías de tránsito, otros.

2. La contaminación atmosférica a que dichos vehículos - dan origen:

La generación de ruido y gases tóxicos producidos por todo tipo de vehículos, pasa a convertirse la contaminación atmosférica en un peligro real.

3. La limitación en las existencias de energéticos en los diferentes países del mundo y la consiguiente necesidad de utilizar éstos en la forma más económica y que se produzca un mayor rendimiento en forma global. Ya que el precio del petróleo se ha elevado en los últimos años y es ingenuo pensar en que el hecho de disponer de petróleo propio nos evita el problema de una posible escasez.

La acción de las diferentes autoridades en todo el mundo

en el campo de los transportes urbanos se manifiesta de muchas maneras, todas ellas orientadas a lograr un uso cada vez más reducido del automóvil particular como medio de transporte en el centro de las ciudades.

Las medidas a tomar en nuestra Ciudad de México podrían ser, la centralización bajo un solo organismo, de todos los medios de transporte urbano y suburbano permitiendo no solo la atención más adecuada de las necesidades actuales, además se deberá contar con organismos que preparen los planes de desarrollo, estos organismos podrían contar con la colaboración de los usuarios.

Por ejemplo el sistema de centralización de los sistemas de transporte bajo una sola autoridad, encargada de planear la totalidad de las líneas de acuerdo con las necesidades públicas, es utilizado en casi todas las grandes ciudades como: Nueva York, Londres, París, Moscú, otras.

Los organismos en cuestión cuentan con la colaboración de los usuarios. Así en Hamburgo, antes de hacer cambios sustanciales en sus redes, formula y distribuye, en decenas de miles de ejemplares, un cuestionario y examina las respuestas que recibe. En Londres existe un comité de pasajeros que de manera permanente asesora a los Directores de London Transport o propone iniciativas encaminadas a mejorar el servicio. Las autoridades de London Transport expresan frecuentemente su satisfacción por

la eficaz ayuda que reciben de los ciudadanos que integran el Comité de Pasajeros.

Fue en la ciudad de Londres, entonces la población más activa del mundo, la que dio origen en 1863 al sistema de transporte subterráneo de pasajeros, inaugurando la era de los Ferrocarriles Metropolitanos. Londres, entonces la ciudad más grande del mundo, contaba con 5 millones de habitantes. Las necesidades de transporte iban en aumento, pues una buena parte de sus habitantes cambiaban sus residencias a lo que entonces eran suburbios y hoy han quedado integrados en la ciudad.

El ejemplo de Londres fue seguido por otras grandes ciudades, que aplicaron a sus necesidades las mismas o análogas soluciones. Entre 1863 fecha de la inauguración del primer Ferrocarril Urbano en Londres, y 1935 entraron en servicio 17 nuevos sistemas. Que a continuación se mencionan:

| Ciudad | País | Año |
|---------------|------------|------|
| 1. Londres | Inglaterra | 1863 |
| 2. Nueva York | E. U. A. | 1868 |
| 3. Estambul | Turquía | 1875 |
| 4. Chicago | E. U. A. | 1892 |
| 5. Budapest | Hungría | 1896 |
| 6. Glasgow | Escocia | 1897 |
| 7. París | Francia | 1900 |
| 8. Boston | E. U. A. | 1901 |
| 9. Berlín | Alemania | 1902 |

| Ciudad | País | Año |
|------------------|-----------|------|
| 10. Filadelfia | E. U. A. | 1910 |
| 11. Hamburgo | Alemania | 1912 |
| 12. Buenos Aires | Argentina | 1913 |
| 13. Madrid | España | 1919 |
| 14. Barcelona | España | 1924 |
| 15. Atenas | Grecia | 1925 |
| 16. Tokio | Japón | 1927 |
| 17. Osaka | Japón | 1933 |
| 18. Moscú | U.R.S.S. | 1935 |

Después de una pausa que duró 15 años, desde 1935 a 1950, en los que están comprendidos los 6 años de la Segunda Guerra -- Mundial (1939-1945), se reanudó la construcción de Sistemas, con lo que se agregaron más a los 18 ya en servicio. Las fechas de iniciación de actividades fueron las siguientes:

| Ciudad | País | Año |
|----------------|----------|------|
| 19. Estocolmo | Suecia | 1950 |
| 20. Toronto | Canadá | 1954 |
| 21. Leningrado | U.R.S.S. | 1955 |
| 22. Cleveland | E. U. A. | 1955 |
| 23. Roma | Italia | 1955 |
| 24. Nagoya | Japón | 1957 |
| 25. Lisboa | Portugal | 1959 |
| 26. Haifa | Israel | 1959 |
| 27. Kiev | U.R.S.S. | 1960 |
| 28. Milán | Italia | 1964 |

| Ciudad | País | Año |
|-------------------|----------------|------|
| 29. Tiflis | U.R.S.S. | 1965 |
| 30. Montreal | Canadá | 1966 |
| 31. Oslo | Noruega | 1966 |
| 32. Bakú | U.R.S.S. | 1967 |
| 33. Rotterdam | Holanda | 1968 |
| 34. México D. F. | México | 1969 |
| 35. Pekín | China | 1971 |
| 36. Munich | Alemania | 1971 |
| 37. San Francisco | E. U. A. | 1972 |
| 38. Nuremberg | Alemania | 1972 |
| 39. Sapporo | Japón | 1972 |
| 40. Yokohama | Japón | 1972 |
| 41. Praga | Checoslovaquia | 1974 |
| 42. Sao Paulo | Brasil | 1974 |
| 43. Amsterdam | Holanda | 1978 |
| 44. Karkov | U.R.S.S. | 1980 |

En general circulan bajo tierra en el centro de las ciudades y lo hacen en líneas de superficie, elevadas o no, al salir de la urbe para alcanzar los suburbios.

Metros en construcción:

Son dieciocho las ciudades que llevan actualmente a cabo trabajos de construcción de otros sistemas y se distribuyen como sigue:

Por continentes:

| | |
|---------|----------|
| Europa | 13 |
| Asia | 1 |
| Africa | 0 |
| América | 3 |
| Oceanía | <u>1</u> |
| Total: | 18 |

Por habitantes:

| | |
|----------------------------------|----------|
| Menos de un millón de habitantes | 5 |
| De uno a cinco millones | 12 |
| De más de cinco millones | <u>1</u> |
| Total: | 18 |

Dichas ciudades son:

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. Amberes (Bélgica) | 10. Marsella (Francia) |
| 2. Bruselas (Bélgica) | 11. Río de Janeiro (Brasil) |
| 3. Calcuta (India) | 12. Santiago (Chile) |
| 4. Franfort (Alemania) | 13. Seul (Corea del Sur) |
| 5. Hannover (Alemania) | 14. Stuttgart (Alemania) |
| 6. Helsinki (Finlandia) | 15. Sydney (Australia) |
| 7. Liverpool (Inglaterra) | 16. Tashkent (U.R.S.S.) |
| 8. Lyon (Francia) | 17. Viena (Austria) |
| 9. Manchester (Inglaterra) | 18. Washington (E. U. A.) |

Metros en proyecto:

Las ciudades que tienen en proyecto la construcción de -

Metros son 58, distribuidas como siguen:

Por continentes:

| | |
|---------|----------|
| Europa | 24 |
| Asia | 8 |
| Africa | 2 |
| América | 17 |
| Oceanía | <u>7</u> |
| Total: | 58 |

Por habitantes:

| | |
|----------------------------------|----------|
| Menos de un millón de habitantes | 30 |
| De uno a cinco millones | 27 |
| De más de cinco millones | <u>1</u> |
| Total: | 58 |

Distribuidos por naciones, el reparto es el siguiente:

| | | |
|----------------|----|-----------|
| Estados Unidos | 11 | Proyectos |
| Italia | 6 | " |
| Australia | 4 | " |
| Bélgica | 3 | " |
| Alemania | 2 | " |
| España | 2 | " |
| Francia | 2 | " |
| Inglaterra | 2 | " |
| Nueva Zelanda | 2 | " |
| U. R. S. S. | 2 | " |

| | | |
|--------------|-----------|-----------|
| Venezuela | 2 | Proyectos |
| Otros países | <u>20</u> | " |
| Total: | 58 | Proyectos |

1.2) Panorama general de la problemática del transporte en la Ciudad de México.

Se ha comprobado que el proceso de desarrollo urbano no está ligado estrechamente a las acciones que se tomen en materia de vialidad y transporte.

Es por ello que las autoridades del Distrito Federal han considerado necesario contar con un plan de transporte dentro -- del área metropolitana y regional de la Ciudad de México.

El crecimiento de la capital del país y de sus áreas vecinas del Estado de México, han integrado el área metropolitana en forma tal que la división política es solo un límite virtual. La causa de esto, es el constante crecimiento de la población -- así como la afluencia de grandes núcleos procedentes del campo, -- que emigran en busca de mejores oportunidades de trabajo, así -- como las escasas fuentes del mismo, han creado condiciones sociales y económicas, que presentan problemas de gran magnitud y que al no encontrar vivienda en el centro de la urbe establecen sus habitaciones sin medida en la periferia de la Ciudad de México.

Es evidente que las acciones que se aplican en cualquiera de las dos entidades federativas, repercute en cada una de --

ellas pues se trata de un complejo urbano integrado, cuyo crecimiento se ha cuantificado en múltiples estudios, todos los cuales destacan la preocupación por el número de habitantes con que contará al llegar el año 2,000.

La movilidad de esta población requiere de acciones inmediatas apoyadas en un plan que permita a las autoridades ir logrando metas y objetivos en un plazo previsto, para ofrecer a los habitantes de la ciudad y del área metropolitana, y especialmente a los de las clases económicamente débiles, medios de transporte adecuados, que proporcionen a la mayoría la facilidad de disponer de su tiempo con la seguridad de que el transporte no le restará gran parte de sus horas de trabajo y esparcimiento como ha sucedido hasta ahora.

Los principales factores de la problemática de la Ciudad de México son:

- Crecimiento incontrolado de la urbe.
- Falta de planeación en los usos del suelo.
- Traza vial desarticulada.
- Concentración de actividades.
- Contaminación del ambiente.
- Desplazamiento de población a lugares cada vez más alejadas entre sí.

Por lo que, las autoridades del D. F., han considerado contar con un plan integral de Vialidad y Transporte, dentro del

área metropolitana, el cual permita programar una serie de acciones inmediatas, a mediano y largo plazo, con el fin de resolver gradualmente el problema de transporte dentro de la urbe.

Así visto el plan integral de vialidad y transporte metropolitano con horizontes de planeación a 30 años, debe cumplir -- los siguientes objetivos básicos:

- ~~Abatir~~ los tiempos de recorrido, mejorando la seguridad y comodidad.
- Propiciar la reestructuración urbana y el ordenamiento del uso del suelo.
- Optimizar el uso de los distintos medios de transporte y de la infraestructura existente.
- Evitar que el área central de la Ciudad de México, sea la zona obligada de paso, sin menospreciar su importancia preservándose además la traza histórica monumental.
- Tratar de que la infraestructura vial para los medios de transporte con motores de combustión sea lo más eficiente y expedita posible, a fin de disminuir la contaminación ambiental.
- Coordinar las obras urbanas que coincidan con los trabajos de vialidad, para evitar proyectos con justificación a corto plazo que no tomen en cuenta necesidades futuras.
- Mejorar la accesibilidad, creando más opciones de traslado a los centros de trabajo, recreación y servicio -

para democratizar el transporte.

- Para integrar el plan de transporte metropolitano, es necesario desarrollar cada uno de los subsistemas que lo componen de los cuales el Metro, por sus características de operación, constituye la columna vertebral -- del sistema.

1.3) Plan Maestro del Sistema de Transporte Colectivo

Las razones por las que surge el requerimiento de un -- Plan Maestro del Sistema de Transporte Colectivo Metro, en nuestra ciudad, se debe, al incremento demográfico que ha tenido el Distrito Federal en los últimos años, que lo ha situado entre -- las 4 ciudades más populosas del mundo, y que ha traído como con -- secuencia, que los problemas colectivos se agraven y se multipli -- quen, entre ellos el que merece especial atención es el de los - transportes. Figura (1.1), cuadros (1.1) y (1.2).

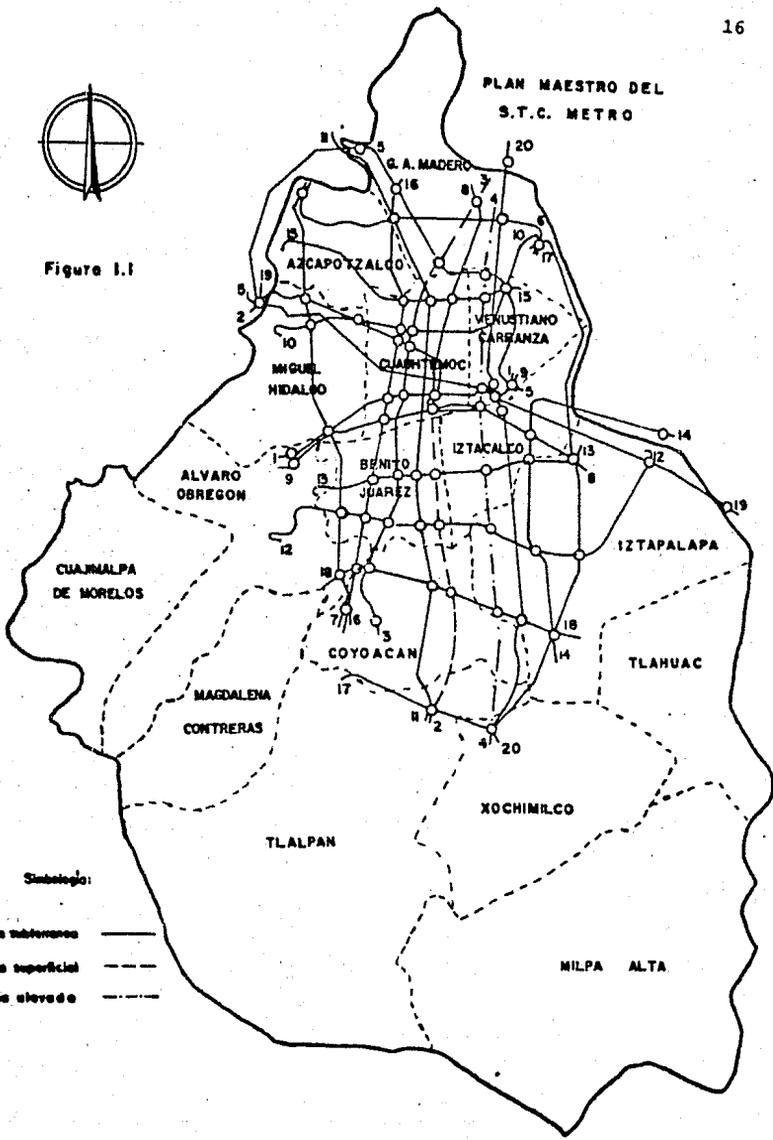


Figura 1.1

LONGITUD TOTAL POR LINEA Y ETAPA, EN Km.

| LINEA | 1a. ETAPA | 2a. ETAPA | 3a. ETAPA | 4a. ETAPA | LONGITUD TOTAL DE LA LINEA | LONGITUD TCTAL DE SERVICIO | No. DE ESTACIONES | TRANSBORDADOS POR LINEA |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 17.3 | | 1.6 | 1.2 | 20.10 | 16.6 | 20 | 5 |
| 2 | 19.2 | | 4.2 | | 23.4 | 20.7 | 24 | 5 |
| 3 | 5.5 | 11.6 | 6.5 | | 23.6 | 21.3 | 21 | 6 |
| 4 | | 10.7 | | | 10.7 | 9.4 | 10 | 5 |
| 5 | | 14.7 | .9 | | 15.6 | 14.4 | 13 | 5 |
| 6 | | 9.3 | | 4.7 | 14.0 | 11.4 | 11 | 5 |
| 7 | | | 13.2 | 5.6 | 18.8 | 17.0 | 14 | 3 |
| 8 | | | | 20.8 | 20.8 | 19.3 | 18 | 7 |
| 9 | | | | 16.5 | 16.5 | 14.5 | 13 | 6 |
| TOTALES | 42.0 | 46.3 | 26.4 | 48.8 | 163.5 | 144.6 | 144 | 47 |

CUADRO 1.1

PLAN MAESTRO DEL METRO

| LINEA | RECORRIDO | ORIENTACION | LONGITUD Km. |
|-------|------------------------------------|-------------|--------------|
| 1 | PANTITLAN - OBSERVATORIO | OTE-PTE | 20.10 |
| 2 | TAXQUEÑA - CUATRO CAMINOS | PTE-SUR | 23.40 |
| 3 | INDIOS VERDES - CD. UNIVERSITARIA | NTE-SUR | 23.60 |
| 4 | MARTIN CARRERA-VILLA COAPA | NTE-SUR | 10.70 |
| 5 | SAN B. TENAYUCA-PANTITLAN | NTE-OTE | 15.60 |
| 5 | SAN B. TENAYUCA - CUATRO CAMINOS | NTE-SUR | 16.80 |
| 6 | EL ROSARIO-SAN JUAN DE ARAGON | PTE-OTE | 14.00 |
| 7 | EL ROSARIO-SAN JERONIMO | NTE-SUR | 18.80 |
| 8 | INDIOS VERDES - TEZONTLE | NTE-SUR | 20.80 |
| 9 | PANTITLAN - OBSERVATORIO | PTE-OTE | 16.50 |
| 10 | S.J. DE ARAGON-EJERCITO NACIONAL | PTE-OTE | 22.80 |
| 11 | SAN B. TENAYUCA-TLALPAN | NTE-SUR | 36.50 |
| 12 | STA. MARTA ACATITLA-MERCEDES GOMEZ | PTE-OTE | 31.60 |
| 13 | TEZONTLE - ALFONSO XIII | OTE-PTE | 19.50 |
| 14 | SAN L. TEZONCO-PANTITLAN | NTE-SUR | 16.70 |
| 14 | PANTITLAN - LOS REYES | PTE-OTE | 11.00 |
| 15 | ARMAS - AEROPUERTO | PTE-OTE | 20.40 |
| 16 | I.P.N. - SAN JERONIMO | NTE-SUR | 25.50 |
| 17 | S. J. DE ARAGON-VILLA OLIMPICA | NTE-SUR | 37.40 |
| 18 | SAN L. TEZONCO - SAN JERONIMO | PTE-OTE | 19.20 |
| 19 | CUATRO CAMINOS - IGNACIO ZARAGOZA | PTE-OTE | 33.90 |
| 20 | R. DE LOS REMEDIOS-VILLA COAPA | NTE-SUR | <u>33.70</u> |
| | TOTAL | | 488.50 |

CUADRO 1.2

Esto impuso la necesidad de dotar a la Ciudad de México de un sistema moderno de transporte de tipo masivo para tratar de resolver el grave problema que representa la falta de transportes urbanos, que se presenta en ciudades populosas como la nuestra.

Con este propósito se construye el Ferrocarril Metropolitano, que al igual que en Francia y otras ciudades del orbe, por similitud, se ha llamado Metro y que permite la transportación rápida de usuarios.

Y además para resolver este problema que presentan los transportes insuficientes y la lentitud de la circulación, en ocasiones a vuelta de rueda, las autoridades del Distrito Federal han puesto en práctica un plan que comprende la construcción de nuevas vías, pasos a desnivel, ampliación de arroyos y calles, así como la reestructuración del sistema de transporte urbano, para buscar una mejor coordinación del mismo que permita ofrecer a los usuarios un servicio más eficiente, extendiéndolo a zonas que actualmente carecen de él.

No obstante que el Distrito Federal cuenta con numerosos medios de transporte: Metro, trolebuses, autobuses, tranvías y servicios de taxis, resultan insuficientes para transportar a los usuarios capitalinos, sobre todo a la hora en que necesitan trasladarse a sus centros de trabajo, así como al término de sus diarias labores para regresar a sus hogares.

Otra circunstancia que contribuye a agudizar este problema, lo constituye el hecho de que grandes núcleos de población -- que no radican en el Distrito Federal, sino en zonas adyacentes tales como Ciudad Satélite, Ciudad Nezahualcóyotl y las diversas colonias del exvaso de Texcoco, pertenecientes al Estado de México, tienen sus centros de trabajo en el D. F. y necesitan -- utilizar el servicio de transportes urbanos.

El gran número de vehículos que circulan por las calles de la ciudad dificultan la circulación, que en las horas de mayor tránsito; entrada y salida de empleados y trabajadores se -- hace lenta y penosa, aumentando considerablemente el tiempo que se emplea para trasladarse, no obstante que los camiones urbanos y demás vehículos son llenados a toda su capacidad.

El Plan Maestro del Sistema de Transporte Colectivo Metro, incluye 20 líneas con un recorrido total de 488.50 Km., 165 estaciones de paso y 92 estaciones de correspondencia. Corresponde a las autoridades determinar el orden de preferencia a que tan vasto plan ha de ser sometido.

A efecto de realizar su ampliación, se han previsto etapas que a partir de la actual red, se estructuren paulatinamente para cubrir las necesidades crecientes en los próximos 25 años.

Así, se presentan a continuación horizontes a 1990, 2000 y 2010, los cuales han sido concebidos con el propósito de lograr como finalidad los siguientes objetivos y metas:

Objetivos:

- Definir una política sistemática de ampliación de líneas que conduzca a la utilización del transporte colectivo.
- Propiciar la coordinación con los otros medios masivos en forma específica y en general con los otros sistemas y servicios urbanos.
- Establecer las reservas territoriales destinadas a las edificaciones necesarias para una adecuada operación del sistema.
- Preservar derechos de vía para las líneas futuras.
- Determinar las rutas por etapas, que permitan una programación realista de su ejecución.
- Impulsar el desarrollo de la tecnología y de la industria nacional, relacionada con la operación del sistema, a fin de sustituir importaciones y generar empleos.
- Elaborar una adecuada planeación económica-financiera que equilibre la operación y administración del sistema.

Metas:

- Construir a ritmo continuo 6 Km. por año, o sea 40 Km. por sexenio y fabricar cuando menos 16 trenes de 9 -- carros por año.
- Lograr que el sistema tenga participación en el total de viajes/persona/día, del área metropolitana del 23,-

el 28 y el 33% para los horizontes de planeación de --
los años 1990, 2000 y 2010 respectivamente.

Actualmente funcionan siete líneas del Metro, en su ma--
yor parte su vía es subterránea; la construcción de esas líneas,
sus terminales y estaciones fue determinada tomando en cuenta -
las necesidades de la población. La distancia promedio entre es
taciones es de 500 mts.

II ESTUDIO SOCIO-ECONOMICO

2.1) Comentarios generales

El transporte colectivo se realiza en nuestra ciudad por medio de Autobuses, Metro, Tranvía, Trolebuses y Taxis colectivos. Cada uno de ellos tiene ventajas y limitaciones y en consecuencia al tratar de hacer una reestructuración de conjunto, deben tenerse en cuenta sus características particulares, para que operen en la forma más racional posible, de acuerdo a la demanda de las zonas que conforman la urbe y a las condiciones socioeconómicas de sus habitantes. Esta asignación de funciones de los medios de transporte es de carácter dinámico y deben irse adaptando, substituyendo y complementando conforme la ciudad se transforma y se densifica.

La estructuración y el diseño de la vialidad es fundamental para que el proceso de cambio antes mencionado se realice.

En un principio la línea 1, en 1969 captó 200,000 pasajeros promedio por día laborable, en los primeros tres meses de operación y con la inclusión de las líneas 2 y 3 en 1970, se in-

crementó la captación a 855,000 pasajeros promedio por día laboral, incrementándose anualmente, figs. (2.1) y (2.2), con las ampliaciones del sistema, originando beneficios substanciales a la Ciudad de México, como son su bajo costo para el usuario, gran velocidad y alta confiabilidad en disponibilidad y tiempo de viaje, lo hacen el medio ideal de transporte masivo en la ciudad, para el estrato económico más débil de la población.

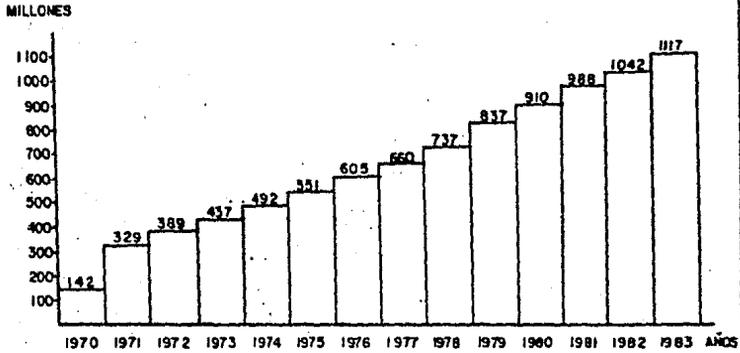
El efecto del Metro en el tránsito de vehículos, permite la reducción de autobuses en las áreas de congestamiento con la consiguiente disminución de contaminación ambiental y suso de energéticos fósiles (petróleo), haciéndose primordial la ampliación de la red del Metro.

Es necesario para integrar el Plan de Transporte Metropolitano, desarrollar cada uno de los sub-sistemas que lo componen, de los cuales el Metro, por sus características de operación constituye la columna vertebral del sistema.

El panorama socio-económico, de la Ciudad de México y de su área periférica, en relación con las necesidades de transporte de sus habitantes, permite señalar que esta zona geográfica, cuya división política está integrada por las 16 Delegaciones del Distrito Federal y 13 conurbaciones del Estado de México. En las figs. (2.3) y (2.4), se pueden observar las que a continuación se presentan:

PASAJEROS TRANSPORTADOS POR LA RED DE 1970 A 1983

Figura 2.1



PROMEDIO DE PERSONAS TRANSPORTADAS DIARIAMENTE EN DIA DE LABORES 1970 A 1983

Figura 2.2

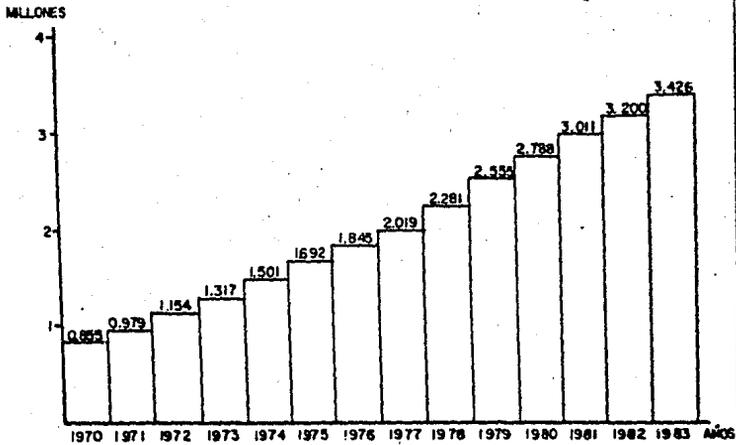
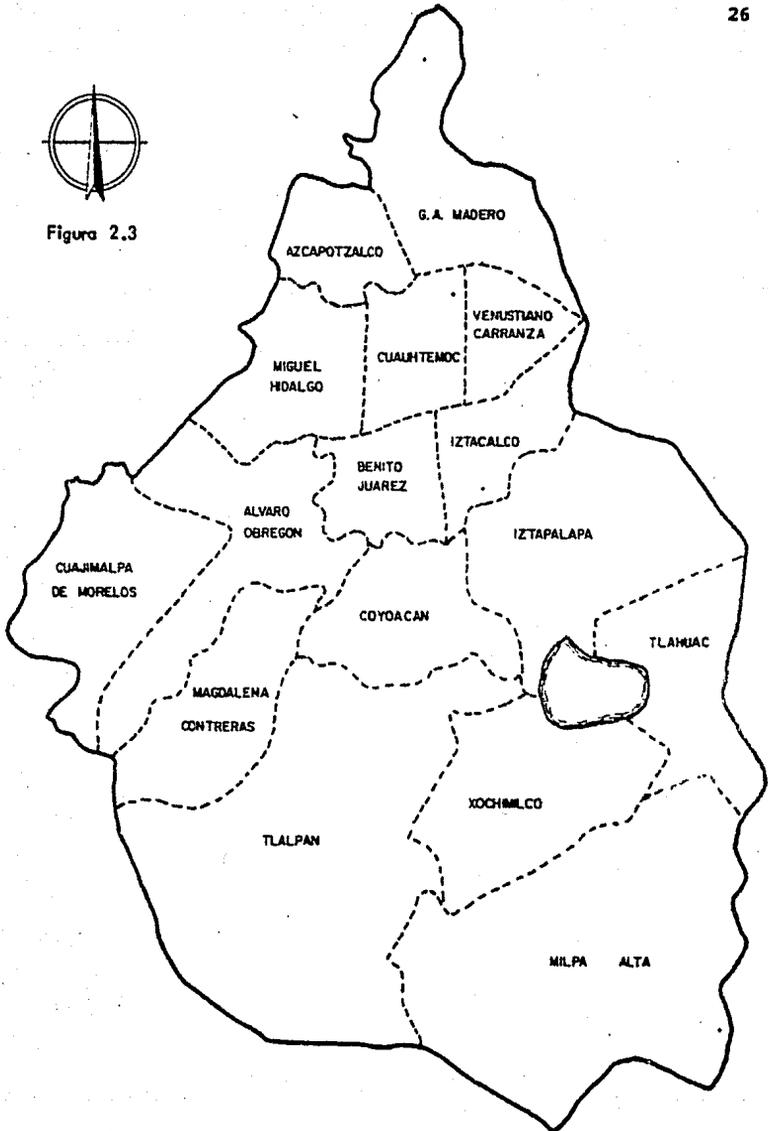




Figura 2.3



Delegaciones Políticas del
Distrito Federal

Alvaro Obregón
Azcapotzalco
Benito Juárez
Coajimalpa de Morelos
Cuauhtémoc
Coyoacán
Gustavo A. Madero
Iztacalco
Iztapalapa
La Magdalena Contreras
Miguel Hidalgo
Milpa Alta
Tláhuac
Tlalpan
Venustiano Carranza
Xochimilco

Conurbaciones del Estado de
México

Atenco
Atizapán de Zaragoza
Chimalhuacán
Coacalco
Cuautitlán Izcalli
Ecatepec de Morelos
Huixquilucan
Los Reyes
Naucalpan
Nezahualcóyotl
Texcoco
Tlanepantla
Tultitlán

Contando con una superficie total de 2,396 km² y una población en 1980 de 15'000,000 de habitantes, equivalente al 21% de la población nacional y siendo para el año de 1984 de 17 millones.

El presupuesto familiar es el cálculo de gastos familiares que se elabora determinando los porcentajes del ingreso de -

la familia para atender sus necesidades más indispensables; alimentación, vestido, habitación, educación, atención de la salud, diversiones, ahorro.

Las condiciones socio-económicas que viven la mayor parte de los pueblos del mundo, entre ellos el nuestro, caracterizados por una tendencia encaminada hacia el desarrollo industrial, así como la explosión demográfica observada en los últimos años, han traído como consecuencias la existencia de graves problemas de tipo económico, social y político que influyen de manera decisiva en la vida familiar.

En términos generales, podemos afirmar la existencia de dos tipos de familia: Urbana y Rural.

La familia Urbana se localiza dentro de las ciudades, en tanto que la familia Rural se localiza en el campo. Cada uno de estos tipos de familia enfrenta los mismos problemas, aunque con modalidades diferentes.

En las ciudades, el constante crecimiento de la población así como la afluencia de grandes núcleos procedentes del campo, que emigran en busca de mejores oportunidades de trabajo, así como las escasas fuentes del mismo, han creado condiciones sociales y económicas que presentan problemas de gran magnitud con las siguientes características:

- 1) Salarios bajos y alto costo de los artículos de prime ra necesidad, que unidos a lo numeroso de las fami- - lias hacen que sus ingresos resulten insuficientes -- para sostener decorosamente un hogar.

Esta situación ocasiona que la alimentación de las fa milias de los obreros, y aún de la llamada clase me-- día, sea insuficiente tanto en calidad como en canti- dad.

- 2) También como consecuencia del crecimiento de la pobla- ción podemos citar la escasez de viviendas y, por con- siguiente, un desmedido aumento en la elevación del - precio de las rentas que se cobran por el alquiler de viviendas, obligando a las familias de escasos recur- sos económicos a vivir en habitaciones reducidas que no reúnen las condiciones más elementales de salud e higiene, carentes de adecuada iluminación, ventila- - ción y en ocasiones, carentes de agua potable y servi- cios sanitarios.

En general, el alto precio que se paga por el alqui- - ler de habitaciones reduce de manera considerable el presupuesto familiar, impidiendo que se puedan atender otras necesidades familiares que son de mucha urgen- - cia.

- 3) La atención de la salud de los trabajadores y de sus familias constituye otro problema económico de gran importancia para un considerable sector de la población mexicana; los escasos recursos de que disponen las familias impiden atender de modo adecuado la salud.
- 4) Otro problema que reviste singular importancia lo constituye, sin duda alguna el que se refiere a la educación de niños y jóvenes.
- 5) Otro problema de gran importancia que afrontan las familias que habitan en las grandes ciudades lo constituye la escasez de medios de transporte de personas, sobre todo durante la hora en que se aproxima la entrada de trabajadores y empleados a sus centros de trabajo, así como durante las horas de terminación de sus labores, viéndose obligados a sufrir incomodidades, además de las largas horas de espera para conseguir trasladarse al lugar donde trabajan y para regresar a sus hogares.

En 1977, las autoridades del Gobierno del Distrito Federal aprobaron la construcción de nuevas líneas del Metro de la ciudad, así como la ampliación de la línea 3. Para esto se empezaron a tomar datos socio-económicos de la población, así como de sus movimientos de su casa al trabajo y del trabajo a su casa o sea origen y destino.

Todo ello plantean los estudios del Metro, que entre -- otros puntos se considera la ubicación, prioridad y dimensiona-- miento de las nuevas líneas.

En los cuadros (2.1), (2.2), (2.3) y (2.4) se muestra la población económicamente activa de la zona metropolitana en 1978, siendo de 4'336,477 personas, de un total de 14,500,000 personas, la cual se toma como ejemplo, ya que constantemente se realizan estudios de este tipo, para tenerlos actualizados lo mejor posi-- ble y utilizar los datos para las nuevas líneas o ampliaciones - del Metro.

Además de las imperativas necesidades de transporte que-- deben cubrirse en los diferentes sectores de la población, tam-- bién debe atenderse la diaria movilización de miles de - casa, de gran parte de los 3 millones de personas que deben des-- plazarse diariamente por los más variados motivos.

Con base en datos elaborados por especialistas en Inge-- niería de tránsito, la demanda de transporte generado por los ha-- bitantes de la zona metropolitana en 1978, el cual es un ejemplo de los estudios que se realizan por año, para así tenerlos actua-- lizados, se estimó en 19'635,140 viajes persona por día labora-- ble, para cuya satisfacción se cuenta con:

| | | | | | |
|-----------|-------|-------------|-----|-------|------------|
| 13,800 | ----- | Autobuses | 190 | ----- | Tranvías |
| 40,000 | ----- | Taxis | 424 | ----- | Trolebuses |
| 1'504,000 | ----- | Automóviles | | | |

Población ocupada ambos sexos, con categoría en el trabajo según rama de actividad, en el Area Metropolitana, 1978.

| Rama de actividad | Categoría en el trabajo | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | Total | Obrero o empleado | Patrón, empresario o empleado | Trabajador en cuenta propia | Ayudante familiar sin remuneración | Insuficientemente especificado |
| T o t a l | 4 336 477 | 3 509 009 | 123 123 | 580 674 | 120 299 | 3 372 |
| Agricultura, ganadería, silvicultura y caza. | 42 843 | 16 744 | 1 211 | 20 132 | 4 756 | --- |
| Extracción y refinación de petróleo y gas natural. | 22 022 | 22 022 | --- | --- | --- | --- |
| Explotación de minas y canteras. | 7 152 | 6 245 | --- | 907 | --- | --- |
| Productos alimenticios, bebidas y tabaco. | 166 642 | 153 206 | 3 961 | 6 818 | 2 657 | --- |
| Fabricación de textiles, prendas de vestir y productos de cuero. | 249 474 | 213 874 | 4 592 | 26 550 | 4 458 | --- |
| Productos de madera, fabricación de muebles, fabricación de papel - imprenta y editorial. | 200 691 | 171 081 | 8 999 | 18 349 | 2 262 | --- |

CUADRO 2.1

| Rama de actividad | Total | Obrero o empleado | Patrón, empresario o empleado | Trabajador cuenta propia | Ayudante familiar sin remuneración | Insuficientemente especificado |
|---|---------|-------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Fabricación de productos químicos, -- productos de caucho y material de plástico. | 178 174 | 172 846 | 2 688 | 1 913 | 727 | --- |
| Fabricación de productos de minerales no metálicos. | 52 508 | 50 692 | 1 089 | 727 | --- | --- |
| Industrias metálicas básicas. | 35 316 | 33 521 | 1 081 | 357 | 357 | --- |
| Fabricación y reparación de productos metálicos. | 316 866 | 294 365 | 7 523 | 11 828 | 3 150 | --- |
| Otras industrias de transformación. | 52 983 | 45 120 | 2 007 | 4 398 | 1 458 | --- |
| Construcción. | 241 135 | 185 738 | 17 910 | 33 385 | 2 939 | 1 163 |
| Generación y distribución de energía eléctrica. | 37 766 | 37 350 | 416 | --- | --- | --- |
| Comercio | 764 263 | 403 838 | 26 909 | 259 882 | 73 634 | --- |
| Servicio de alojamiento temporal, -- preparación y venta de alimentos y bebidas. | 155 391 | 100 375 | 9 045 | 30 052 | 15 919 | --- |

CUADRO 2.2

| Rama de actividad | Total | Obrero o empleado | Patrón, em- presario o empleado | Trabaja- dor cuen- ta propia | Ayudante fa- miliar sin remuneración | Insuficien- temente es- pecificado |
|--|--------|-------------------------|--|------------------------------------|--|--|
| Radiodifusión, te- levisión, comunica- ciones por radio y télax, de esparci- miento, culturales y religiosos. | 78 107 | 69 179 | 1 151 | 7 777 | --- | --- |
| Enseñanza: Primaria y Jardín de Niños. | 84 099 | 82 235 | 783 | 363 | 361 | 357 |
| Enseñanza: Secunda- ria, preparatoria, vocacional y mixta. | 54 987 | 54 987 | --- | --- | --- | --- |
| Enseñanza: Universi- taria, superior e investigación cien- tífica. | 59 820 | 59 335 | --- | 485 | --- | --- |
| Enseñanza: Diversas | 15 012 | 12 309 | 446 | 2 257 | --- | --- |
| Enseñanza: Insufi- cientemente especi- ficada. | 720 | 720 | --- | --- | --- | --- |
| Créditos, auxiliares, seguros y finanzas. | 90 956 | 89 885 | 357 | 357 | 357 | --- |

CUADRO 2.3

| Rama de actividad | Total | Obrero o Empleado | Patrón, em presario o empleado | Trabaja- dor cuen ta propia | Ayucante fa- miliar sin - remuneración | Insuficien temente es pecificado |
|--|---------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Asistencia médico social. | 170 841 | 165 952 | 1 089 | 3 418 | --- | 382 |
| Aseo, limpieza y domésticos en casas particulares. | 407 126 | 332 639 | 5 000 | 67 594 | 1 893 | --- |
| Profesionales, comisionistas, representantes y agencias. | 146 243 | 113 956 | 14 196 | 15 703 | 918 | 1 470 |
| Reparaciones de - automotores, mecánicas, eléctricas, electrónicas y -- otras. | 115 350 | 79 234 | 6 652 | 26 099 | 3 365 | --- |
| Alquiler, diversos e insuficientemente especificados. | 40 783 | 20 417 | 1 965 | 17 677 | 724 | --- |
| Transportes | 194 763 | 166 700 | 4 053 | 23 646 | 364 | --- |
| Gobierno. | 351 524 | 351 524 | --- | --- | --- | --- |
| Actividades insuficientemente especificadas. | 2 920 | 2 920 | --- | --- | --- | --- |

CUADRO 2.4

Y un sistema Metro, con 852 carros, tres líneas con una extensión de 41.52 Km., este antes de las ampliaciones de la línea 3 y construcción de las líneas 4, 5 y 6.

Estos mismos cada año se van incrementando según las necesidades, lo mismo que los viajes persona-al día, lo que nos -- da nuevas cifras.

La utilización de estos medios de transporte vistos anteriormente nos dan los viajes-persona-al día, de la forma siguiente:

| | <u>Viajes-persona -al día.</u> | <u>%</u> |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------|
| Autobuses urbanos de 1a. clase | 5'280,000 | 26.89 |
| Autos particulares | 2'954,000 | 15.05 |
| Taxis y peseros | 1'980,000 | 10.08 |
| Autobuses urbanos de 2a. clase | 4'010,140 | 20.43 |
| Autobuses sub-urbanos y foráneos | 1'551,000 | 7.89 |
| Metro | 2'945,000 | 14.99 |
| Trolebuses | 380,000 | 1.94 |
| Motos, bicicletas y otros | 330,000 | 1.68 |
| Tranvías | <u>205,000</u> | <u>1.05</u> |
| Total | 19'635,140 | 100.00 |

De acuerdo al Plan Maestro del Metro, a partir de 1980,-- se realizan las previsiones necesarias en las arterias en donde se localizan líneas del sistema para que éstas se vayan implan--

tando coordinadamente con la reestructuración de la vialidad, - hasta tener en 1990, cuando la población del área metropolitana sea del orden de 19 millones de habitantes, una red de 200 km., - de longitud; con 188 estaciones que requerirá 320 trenes para -- transportar 7'800,000 pasajeros por día, siendo la participación del sistema en el total de viajes/persona/día del 23%.

Para el año 2000, los pobladores de la región del Valle de México, según proyecciones conservadoras, serán aproximadamente 35'000,000 de habitantes y para entonces la longitud del sistema habrá alcanzado 320 km., con 253 estaciones, el número de - trenes necesarios para su operación será de 512, con lo que se - podrán transportar 12'500,000 pasajeros diarios. El porcentaje del sistema en la estructura modal, habrá aumentado al 28%.

Finalmente al cumplirse la primera década del próximo si glo, si se continua con el ritmo de construcción previsto, se -- tendrá estructurada una red de 378.13 km., con 273 estaciones de biendo contar con 761 trenes para mover un total de 18.6 millones de pasajeros al día, estimándose su participación en el total de viajes/persona/día, del área metropolitana en un 33%.

Por ello los estudios previos que se elaboran, para la - planeación son muy importantes como lo es un estudio socio-económico de la población, la cual no permanece estática sino que varía con el tiempo. Empleándose esta información obtenida de dichos estudios, en la elaboración de cada nueva línea o ampliación.

2.2) Origen y destino

Es conveniente para nuestra ciudad que el área central - confinada por el circuito interior y cuya importancia es manifiesta, resuelva sus problemas de vialidad, permitiendo acceder y cruzar por ella en la forma más eficaz posible dadas sus características, lo cual puede lograrse con una retícula de ejes viales con sentido Norte-Sur y Oriente-Poniente, que utilice la sección de los mismos en forma adecuada y con sentido prioritario - hacia el transporte colectivo.

Esta posibilidad debe prever la ubicación de líneas de autobuses, tranvías, trolebuses y metro así como disposiciones para vehículos de servicio.

Asimismo, la importancia del automóvil debe ser tomada en cuenta y realizarse estudios sobre estacionamientos de vehículos para que éstos se ubiquen en áreas específicas y permitan que la vía pública llene su función básica, la circulación peatonal y de vehículos.

Respecto al área externa al circuito interior, caracterizada por tener vialidades radioconcéntricas que originalmente -- fueron caminos que unían a la ciudad de México con los pueblos circunvecinos, ahora ya conurbados, deben preverse corredores -- para vehículos de todo tipo, que incluyan derechos de vía para transporte colectivo, que ligen a las terminales de las líneas ortogonales del área interna, alrededor de las cuales deberán --

4

existir estacionamientos para inducir a los propietarios de automóviles a utilizar el transporte colectivo al penetrar al área confinada por el circuito interior.

Es necesario para integrar el Plan de Transporte Metropolitano, desarrollar cada uno de los subsistemas que lo componen, de los cuales al Metro, por sus características de operación -- constituye la columna vertebral del sistema.

Una vez que se aprueban las ampliaciones y líneas nuevas del Metro. Se investigan los datos de origen y destino para el Modelo de Simulación, que se utilizará en el Modelo externo.

Para esto la fuente de información fue, el Instituto -- Mexicano del Seguro Social, de su archivo magnético de todos los centros patronales afiliados a él, con una población de afiliados de 1'300,000 en 1978, localizados en sus 49 clínicas de adscripción, las cuales se consideraron como origen-destino de sus viajes a sus respectivos trabajos.

III MODELO DE SIMULACION

3.1) Descripción general

En el año de 1977, las autoridades del Gobierno de la Ciudad de México aprobaron la construcción de nuevas líneas del Metro de la ciudad. Esto planteó los estudios de ampliación del Metro, que entre sus principales puntos consideró la ubicación, prioridad y dimensionamiento de las nuevas líneas.

Este problema puede decirse que es muy complejo, por la cantidad de información y decisiones por tomar. Restringido, por la disponibilidad de recursos económicos, de tiempo y de equipo rodante. Dinámico, por que en sí la Ciudad de México es un sistema dinámico en el tiempo y en el espacio. Incierto, por el desconocimiento de las variables que lo componen. Y conflictivo, por el efecto de las decisiones que se consideren, para cada una de las nuevas líneas junto con otros problemas afrontados por la urbe.

El análisis del problema en base a experiencias anteriores, nos indica que la operación de cada línea es independiente de las demás. El efecto de una línea en otra, solo está determi

nado por el flujo de pasajeros en las estaciones de correspondencia. Por todas estas razones se decidió utilizar las Técnicas de Simulación, que permiten manejar bajo el mismo estandar de -- comparación a todas las alternativas, Esta técnica permite conocer el Sistema sin construirlo, ya que es como un laboratorio en el cual se pueden hacer experimentos, se pueden probar diferentes alternativas, proponer cambios a los Sistemas ya existentes y ver su posible comportamiento. Se evaluó la posibilidad de simular el sistema completo por expertos en la materia, en una -- sola aplicación del Modelo y se desechó por requerir un Modelo -- mucho más complejo, sin aportar ningún beneficio extra.

Los objetivos que se persiguen son:

- a) El Modelo debe servir como una ayuda en la asignación de trenes al sistema. Tiene que ser sensible a los -- cambios en asignación, no solo en término de número -- de trenes, sino también a combinaciones en el número de vagones; ampliando el concepto, estos cambios en -- la asignación pudieran hacerse con la modificación de pocos parámetros.
- b) El Modelo debe servir para la prueba de políticas de operación de cada línea, de manera que estos cambios puedan incorporarse fácilmente.
- c) Detectar posibles congestionamientos en el sistema -- propuestos.
- d) Determinar los parámetros de movimiento de pasajeros

para elaborar diseños racionales.

- e) El Modelo debe servir no solo para simular una situación actual, sino permitir la evaluación en condiciones de operación futura, conociendo el incremento de pasajeros por crecimiento natural.
- f) Determinar la secuencia de la Construcción.
- g) Determinar la alternativa óptima entre las presentadas.

3.2) Definición

El Modelo de Simulación es en sí, un concepto intuitivo muy simple, que sin embargo es uno de los instrumentos más poderosos en el análisis de sistemas. Es una técnica que se asemeja a un laboratorio en el cual se hacen experimentos para entender el comportamiento de un sistema, ya sea real o propuesto, sin necesidad de tener acción directa sobre el mismo. Los usos de la simulación nos permiten conocer el funcionamiento del sistema -- sin construirlo, se pueden probar diferentes alternativas, proponer cambios a los sistemas ya existentes y experimentar sobre -- nuevas situaciones y ver el posible comportamiento.

3.3) Modelo analizado

Para evaluar las alternativas para la expansión del Metro de la Ciudad de México, se estudiaron diferentes Técnicas de Investigación, de Operación y Análisis de Sistemas para determinar la factibilidad económica y técnica de las diferentes propuestas.

El procedimiento que se siguió consistió en simular cada alternativa, con un Modelo de Captación de Pasajeros o Modelo Externo, que por medio del algoritmo de Ruta Mínima y con datos de Origen-Destino, entre diferentes zonas de la Ciudad de México, - determina la afluencia en cada una de las estaciones de la alternativa propuesta.

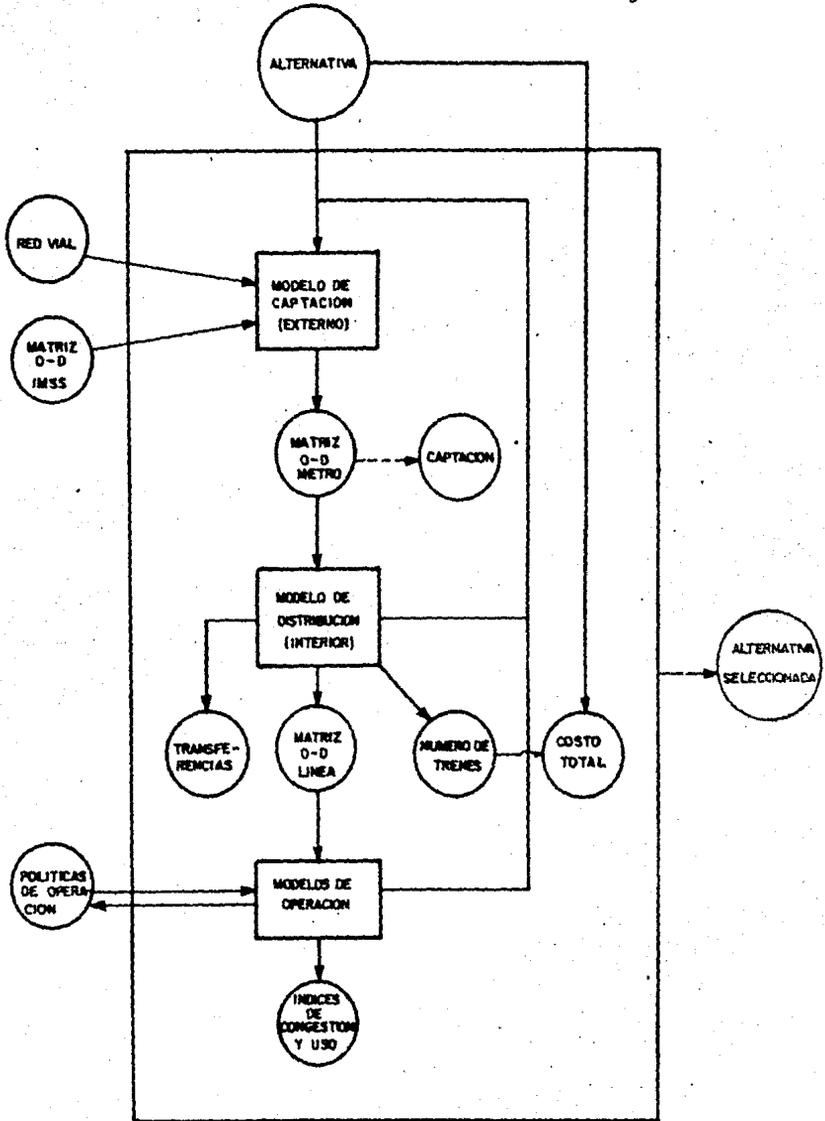
Estos resultados son absorbidos por el Modelo de Distribución o Modelo Interno el cual calcula la captación en cada estación, los decensos y las posibles transferencias, este Modelo también calcula las matrices Origen-Destino de cada una de las líneas, la interestación más cargada, una primera aproximación al número de trenes y el índice de pasajeros por Kilómetro-vagón.

El Modelo de Operación del Metro, nos va a decir cual es la distribución óptima de trenes entre las diferentes líneas y las políticas de operación y el Modelo de Decisión nos permitira analizar cada una de las alternativas, para escoger la más óptima.

Por lo tanto, es necesaria la Simulación para la investigación del funcionamiento del Metro, no solo como ayuda para evaluación de alternativas, sino también para la mejor distribución de equipo y para el ajuste de éste en la operación. El proceso de Modelación, puede describirse siguiendo la fig. (3.1).

MODELO DE DECISION

Figura 3.1



3.3.1) Modelo externo

El Modelo de Captación o Modelo Externo, está constituido por una Red Vial, compuesta por las principales Avenidas, incluye las líneas actuales del Metro y la localización de los principales centroides, 49 Clínicas del I.M.S.S., en donde se consideran los orígenes y destinos de todos los viajes. Una vez completada la red vial actual con las ampliaciones se tiene una red ideal. Las velocidades en cada uno de los tramos se suponen conocidas por ejemplo, siendo 8 kilómetros por hora para tramos recorridos en autobús dentro de la zona central, 15 kilómetros por hora para recorridos en autobús en el exterior y 30 kilómetros por hora para el Metro.

El Modelo considera lo siguiente: Cada pasajero selecciona de todos los posibles caminos, que lo lleven de su origen a su destino, seleccionando aquel que tenga menor impedancia. Cada pasajero puede escoger dos formas para transportarse, por superficie y por el Metro. Si este pasajero utiliza los servicios del Metro, se obtiene la estación de entrada y la estación de salida, en una matriz de Origen-Destino, de estaciones del Metro, se acumula el número de pasajeros que viajen en él por Origen-Destino de centroides.

Este dato lo proporciona la red vial constituida por unas 1,300 ramas, la red propuesta de ampliaciones, así como una población de 1'300,000 afiliados al I.M.S.S., hasta 1977, localizados en sus clínicas de adscripción, las cuales se consideran

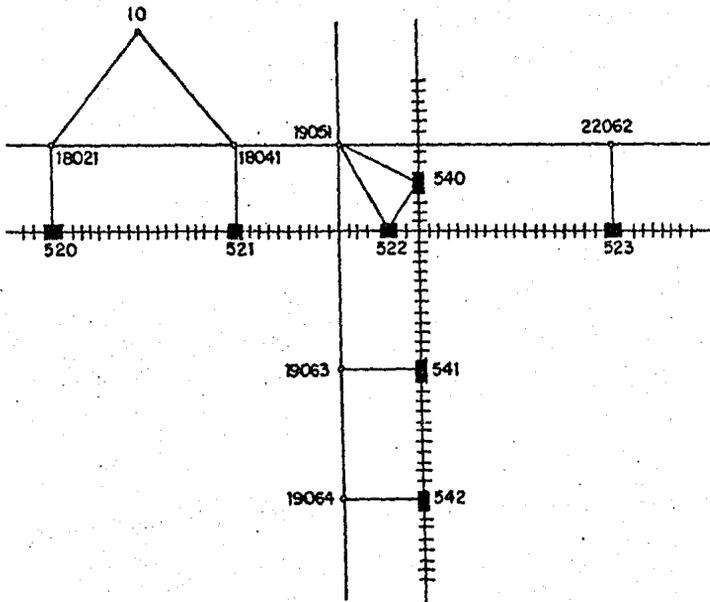
como orígenes de sus viajes a sus respectivos lugares de trabajo y se encuentran representados por una matriz de 49 orígenes por 49 destinos.

En la figura (3.2) se observa un ejemplo de conexiones de la red superficial de calles y de dos líneas del Metro. Un segmento de una de las líneas está representado por estaciones con una numeración, del 520 al 523 y el otro segmento de línea por estaciones del 540 al 542.

El Modelo requiere conocer la distancia entre cada una de las estaciones y supone que la velocidad de operación es de 30 km/hr, el factor de impedancia se considera igual a 1. La conexión entre las estaciones 522 y 540 simula los pasillos de una estación de transferencia con una impedancia total de 3 minutos-impedancia, esta unidad no nos va a representar unidades de tiempo, sino hay que recordar que es una combinación de unidades de tiempo y de costo, en donde éste último no solamente representa erogaciones monetarias sino factores como incertidumbre, incomodidad, congestión y otras.

Los nodos con numeración de 5 dígitos (18021, 18041, etc.), representan intersecciones de la red vial, las conexiones entre estos módulos, simulan la red de transporte superficial y el Modelo requiere conocer la distancia entre nodos; se suponen velocidades de operación de acuerdo a la zona, siendo de 8 km/hr para la congestionada zona central y de 15 km/hr. en las zonas perifé

Figura 3.2



ricas, para este tipo de ramas el factor de impedancia considerado es 1.5 minutos-impedancia/minuto.

La red superficial se integra con las estaciones del Metro, por medio de conexiones de una impedancia total de 15 minutos-impedancia, que representan el costo, tiempo e inconveniencias causadas por el cambio de sistema de transporte.

Los centroides estan conectados a la red superficial por medio de ramas con un valor de impedancia total de 12 minutos-impedancia, esto simula el camino de un pasajero desde su origen - hasta la conexión vial más conveniente.

Los centroides seleccionados por su ubicación se encuentran en la siguiente relación.

| <u>CENTROIDE</u> | <u>CORRESPONDE</u> | <u>U B I C A C I O N</u> |
|------------------|-----------------------|---|
| 1 | Clínica 1 | Av. Chapultepec y Orizaba (12,19) |
| 2 | Clínica 2 | Col. Sta. María la Rivera (12,17) |
| 3 | Clínica 3 Z.P. 1-B | Col. Morelos Centro Poniente (15,17) |
| 4 | Clínica 4 | Col. Doctores (13,20) |
| 5 | Clínica 5 | Mariano Escobedo y Marina Nal. (10,13) |
| 6 | Clínica 6 Z.P. 1-A | Anillo de Circunvalación y Corregidora (15,18) |

| <u>CENTROIDE</u> | <u>CORRESPONDE</u> | <u>U B I C A C I O N</u> |
|------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 7 | Clínica 7 | Villa Coapa (13,32) |
| 8 | Clínica 8 | Pedregal de San Angel (9,28) |
| 9 | Clínica 9 | Col. San Pedro de los Pinos (9,22) |
| 10 | Clínica 10 | Villa de Cortés (14,23) |
| 11 | Clínica 11 | Peralvillo (15,14) |
| 12 | Clínica 12 | Unidad Sta. Fe (8,22) |
| | Z.P. 18 | |
| 13 | Clínica 13 | Atzacapozalco (9,12) |
| | Z.P. 16 | |
| 14 | Clínica 14 | Puerto Aereo y Zaragoza (18,19) |
| 15 | Clínica 15 | Col. Prado Churubusco (16,26) |
| 16 | Clínica 16 | Guerrero (14,17) |
| | Z.P. 1-C | |
| 17 | Clínica 17 | Calzada Legaria (8,16) |
| 18 | Clínica 18 | Contreras (5,31) |
| 19 | Clínica 19 | Coyoacán (12,28) |
| | Z.P. 21 | |
| 20 | Clínica 20 | Vallejo (13,23) |
| 21 | Clínica 21 | Fco. Morazán (16,19) |
| 22 | Clínica 22 | Und. Independencia (7,29) |
| | Z.P. 20 | |

| <u>CENTROIDE</u> | <u>CORRESPONDE</u> | <u>U B I C A C I O N</u> |
|------------------|---------------------------|---|
| 23 | Clínica 23 Z.P. 14 | San Juan de Aragón (Ampliación), (18,13) |
| 24 | Clínica 24 | Insurgentes y Montevideo (La Villa), (15,12) |
| 25 | Clínica 25 | Ignacio Zaragoza (Caballito), (23,22) |
| 26 | Clínica 26 | Calle Chilpancingo (1,15) |
| 27 | Clínica 27 Z.P. 3 | Und. Tlatelolco (15,17) |
| 28 | Clínica 28 Z.P. 12 | Col. del Valle (11,23) |
| 29 | Clínica 29 | San Juan de Aragón (19,14) |
| 30 | Clínica 30 Z.P. 8 | Ixtacalco (16,22) |
| 31 | Clínica 31 Z.P. 13-B | Ixtapalapa (21,17) |
| 32 | Clínica 58 | Sta. Mónica Satélite (5,7) |
| 33 | Clínica 59,60, 62 y 63 | Salida carretera a Querétaro (7,3) |
| 34 | Clínica 61 | Naucalpan (5,14) |
| 35 | Clínica 65 | Huixquilucan Río Hondo (2,23) |
| 36 | Clínica 67, 72,77 y 68 | Carretera, Sta. Clara-Indios Verdes (20,9) |

| <u>CENTROIDE</u> | <u>CORRESPONDE</u> | <u>U B I C A C I O N</u> |
|------------------|-----------------------------------|--|
| 37 | Clinica 69, 70,71,73 y 74. | I. Zaragoza-Puebla (16-23) |
| 38 | Clinica 75 | Cd. Netzahualc6yotl (26,20) |
| 39 | Centro de Salud de la Z.P. 1-D | Centro (14,18) |
| 40 | C. de S. de la Z.P. 1-E | Ciudadela (13,18) |
| 41 | C. de S. de la Z.P. 2 | Col. 20 de Noviembre (16,17) |
| 42 | C. de S. de la Z.P. 5 | Polanco (10,18) |
| 43 | C. de S. de la Z.P. 7 | Hospital General (12,20) |
| 44 | C. de S. de la Z.P. 9 | Puerto A6reo-Col. Moctezuma (18,28) |
| 45 | C. de S. de la Z.P. 10 | Lomas de Chapultepec (7,19) |
| 46 | C. de S. de la Z.P. 11 | Col. Condesa (10,20) |
| 47 | C. de S. de la Z.P. 13-A | Portales (14,24) |
| 48 | C. de S. de la Z.P. 19 | Mixcoac (9,25) |

| <u>CENTROIDE</u> | <u>CORRESPONDE</u> | <u>U B I C A C I O N</u> |
|------------------|---------------------------|--------------------------|
| 49 | C. de S. de la Z.P. 23 | Xochimilco (19,37) |

El volumen de pasajeros entre cada pareja de centroides se obtuvo de acuerdo al siguiente procedimiento:

El Instituto Mexicano del Seguro Social proporcionó una relación, en archivo magnético, de todos los centros patronales afiliados a él. Cada núcleo de información contenía la ubicación del centro patronal y el número de empleados adscritos a cada una de las clínicas en el área metropolitana.

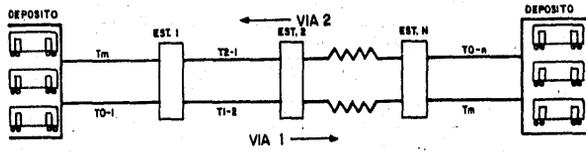
Un análisis estadístico de la información anterior permitió una segmentación y distribución de las zonas postales y las áreas de las clínicas de adscripción. Un programa de Computadora se leccionó cada cédula de información al par Origen-Destino correspondiente.

3.3.2) MODELO INTERNO

El Modelo de Distribución o Modelo Interno, simula la operación de la Alternativa, tomando en cuenta la red del Metro, a la que los pasajeros llegan y salen por las estaciones. Estos requerimientos tienen un cierto número de implicaciones, dado que el Modelo debe ser apto para simular diferentes alternativas, en diferente tiempo y en diversas combinaciones de construcción, fue diseñado para cumplir con el mínimo de necesidades. Fig.(3.3)

ESQUEMA MODELO INTERNO

Figura 3.3

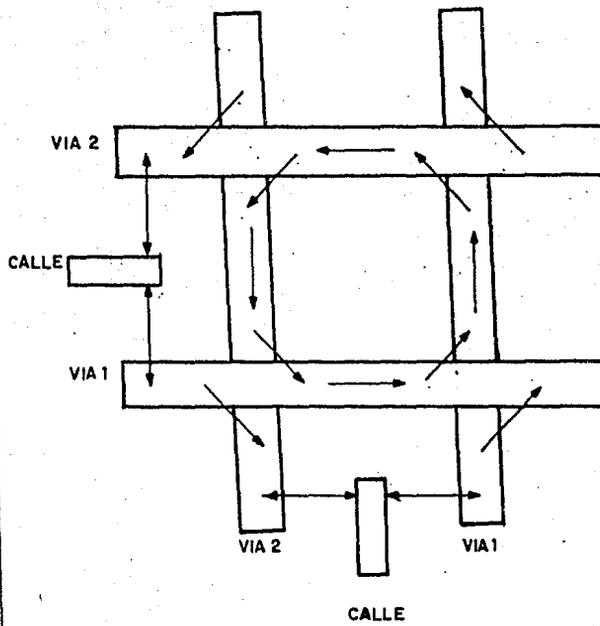


El Modelo tiene las siguientes hipótesis:

- a) El efecto de una línea sobre otra sólo es medido por el número de pasajeros que efectúan transferencias en las estaciones de correspondencia. Fig. (3.4).
- b) La distribución horaria de arribo de pasajeros es -- igual en todas las estaciones.
- c) En la selección de la ruta de viaje, los pasajeros si guen el criterio de tiempo de recorrido mínimo, que -- incluye el tiempo necesario para efectuar una corres- pondencia.
- d) En las simulaciones que se realizaron para la evalua- ción de alternativas se utilizó un patrón de tiempo -- entre las salidas de trenes, constante para todas las líneas y en todas las alternativas, de manera de te-- ner la misma base de comparación. Este patrón permi- te operar a "m" segundos la salida entre trenes, de -- las 7:30 a las 10:00 y entre las 17:30 y las 20:00 -- hrs., y de "2m" segundos (con un límite de 480 segun- dos), el resto de las 12 horas de operación.
El valor de "m" varía, dependiendo del número de pasa- jeros transportados.
Este patrón puede ser cambiado para la simulación con fines de estudio, para el mejoramiento de la opera- ción del Sistema, fig. (3.5).
- e) Se conoce la capacidad de pasajeros de cada tren y si un tren esta saturado, quedan pasajeros esperando en el andén.

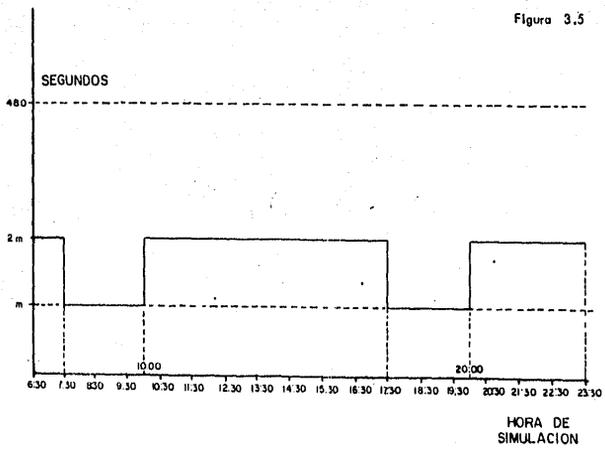
DIAGRAMA DE TRANSFERENCIA DE PASAJEROS

Figura 3.4



FUNCION DE INTERVALO DE SALIDA ENTRE TRENES

Figura 3.5



- f) El Modelo supone conocido el tiempo de viaje entre -- estaciones consecutivas de cada línea, que debe incluir el tiempo de estacionamiento en la estación de llegada.
- g) El tiempo de maniobras en las estaciones terminales, -- es el tiempo necesario para que el tren cambie de vía y esté disponible para salir.
- h) Se conoce el tamaño de los depósitos de trenes en -- cada estación terminal y el número de trenes disponibles en cada terminal, al principio del día.
- i) Se debe conocer la hora de salida del primer tren, en cada terminal.
- j) Se conoce también el número de estaciones y la longitud de la línea.

Para poder simular cada línea, es necesario obtener una Matriz Origen-Destino para cada línea. Como se dijo anteriormente, la ruta seguida por los pasajeros es la de menor pérdida de tiempo. Para obtener el flujo de cada línea se simularon todos -- los posibles viajes que pudieron generarse entre las diferentes estaciones del sistema, computando además el número de pasajeros transferidos a las estaciones de correspondencia. con este Modelo se obtiene también, el número de pasajeros que pasan de cada vía de una línea, a cada vía de otra línea y el número de pasajeros que son transferidos a la calle de cada vía.

Por lo tanto, el Modelo de Distribución o Interno determina los pasajeros transportados por cada línea y los presenta - al Modelo de Operación como una Matriz Origen-Destino de la línea.

3.3.3) Modelo de Operación

El Modelo de Operación del Metro trabaja con el concepto de pasajeros transportados de cada línea, o sea los pasajeros - que hacen uso de las instalaciones de una línea, andenes y trenes. Este Modelo recibe como datos la Matriz Origen-Destino de - la línea, las distancias entre estaciones, el número de trenes - asignados a ella y la política de operación refiriéndose con -- ello, al tiempo de viaje entre estaciones, el tiempo de manio- - bras, el tiempo de estacionamiento en las estaciones terminales, horario en que se utiliza el máximo número de trenes disponibles y el número de trenes que pueden contener los depósitos de las - terminales.

Los trenes salen de cada terminal de acuerdo al patrón - de salidas. Si existe un tren disponible, es despachado, si no lo hay, se lleva un control del tiempo de espera en andén.

Cada tren, cuando llega a una estación libera a los pasajeros que deben bajar en esa estación y el Modelo calcula el número de pasajeros que han llegado desde que pasó el tren ante- - rior por la estación. Si en el tren hay espacio para todos los pasajeros que esperan en el andén, éstos son introducidos al --

tren, en caso contrario, suben pasajeros hasta saturar la capacidad del tren. Se mantiene una cola FIFO (Firts in - Firts out) (primero que entra - primero que sale), para el ascenso al tren.

El Modelo proporciona estadísticas de operación de la línea que permiten evaluar el comportamiento del sistema. Al llegar el tren a la estación terminal, se ajusta el número de trenes disponibles y se calculan datos de kilómetros - vagón recorridos y los índices de saturación. La interacción de otras líneas está representada por los pasajeros que abordan en las estaciones de correspondencia. Lo anteriormente descrito se puede observar en la fig. (3.6).

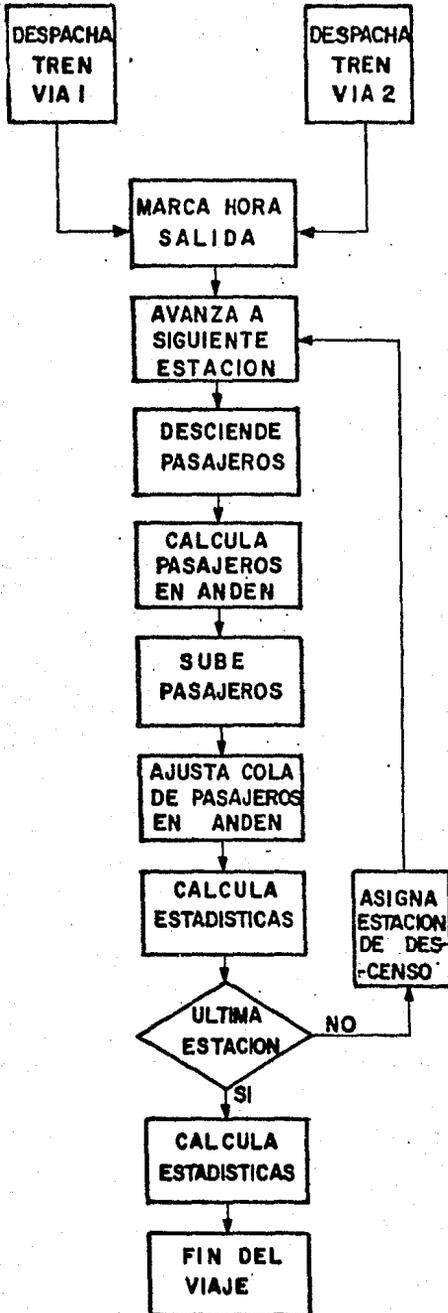
Los resultados que se obtuvieron cada hora de presentar a continuación:

- 1) Número de trenes que se encuentran transitando.
- 2) Probabilidad de no abordar un tren por estar saturado.
- 3) Número de viajes iniciados en cada terminal.
- 4) Kilómetros - vagón utilizados.
- 5) Índice de saturación (pasajeros transportados/kilómetro - vagón).
- 6) Pasajeros transportados por toda la línea.
- 7) Número de pasajeros que están viajando en cada tren en tránsito.
- 8) Distribución y probabilidad acumulada del máximo número de personas en los viajes de cada vía y de la combinación de ambas vías.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO DE OPERACION

61

Figura 3.6



- 9) Distribución y probabilidad acumulada del por ciento de ocupación promedio en los viajes de cada vía y de la combinación entre ambas.
- 10) Distribución y probabilidad acumulada del por ciento del máximo número de personas con respecto a la capacidad del tren, en los viajes de cada una de las vías y de la combinación de ambas.
- 11) Número de pasajeros que esperan en cada andén por no poder abordar los trenes saturados.
- 12) Hora en que pasó el último tren en cada andén.
- 13) Máximo número de personas que han estado en cola por haber trenes saturados (por cada andén).
- 14) Total de pasajeros-segundo perdidos por haber trenes saturados (por cada día).
- 15) Máximo número de personas que han descendido en cada andén.
- 16) Máximo número de personas a bordo del tren en cada - interestación.
- 17) Número de pasajeros que han tenido que esperar por - haber trenes saturados (por cada andén).
- 18) Tiempo promedio de espera por haber trenes saturados (por cada andén).
- 19) Total de pasajeros-segundo utilizados por espera normal de trenes.
- 20) Número de pasajeros que entran a cada andén.
- 21) Tiempo promedio utilizado por espera natural.

- 22) Total de pasajeros que descienden en cada andén.
- 23) Total de pasajeros que transitan en cada intersección.
- 24) Máximo número de personas que cruzan simultáneamente las puertas del tren (ascensos y descensos).
- 25) Máximo número de personas que ascienden a los trenes en cada andén.

3.3.4) Modelo de decisión

Por medio de este Modelo se analizan las alternativas simuladas, para determinar aquellas que son dominantes sobre otras, para eliminarlas de análisis posteriores, las alternativas de menor beneficio social. Los datos que requiere este Modelo son: - El costo de obra civil y electromecánica estimado, el número de trenes en operación, el ahorro en horas - hombre en un día por efecto de la alternativa, el incremento de pasajeros captados y el número de transferencias por día. Los costos de obra y de compra de carros se agregan y representan el costo total de cada alternativa. La suma ponderada de ahorro de horas-hombre, incremento de pasajeros y transferencia, esta última con signo negativo, representan el beneficio.

En un plano cartesiano costo-beneficio, se colocan los puntos que se obtienen de cada alternativa. Escalando beneficios entre 0 y 1, y costos adicionales a la alternativa de menor costo, se procede a eliminar a aquellas alternativas para las que existe otra con menor costo y mayor beneficio.

3.4) Uso de computadoras

1. Lenguajes

Debido a la gran cantidad de cálculos numéricos requeridos en la simulación digital, se hace necesaria la utilización de computadoras electrónicas.

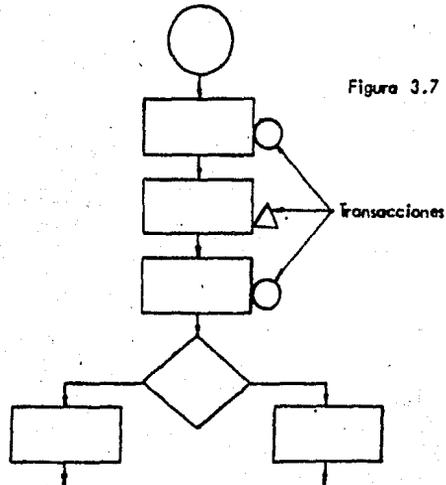
Dentro de los sistemas de programación de las computadoras, existen lenguajes de propósito múltiple como son el FORTRAN, COBOL, ALGOL y PL/I, que pueden ser usados para resolver problemas de simulación, sin embargo, se ha observado que los problemas de simulación, tienen en sí, características muy específicas y repetitivas, por lo cual se han diseñado lenguajes especiales. Estos lenguajes además de estar contruidos con una cierta lógica que permite fácilmente implantar los problemas de simulación, tienen rutinas que son útiles, como son la generación de números aleatorios, formación de tablas de frecuencia, cálculos de varias estadísticas, manejo de colas, otros.

Aunque es difícil poder decir cual es el lenguaje de simulación más adecuado para un determinado problema, se han hecho estudios comparativos de eficiencias de uso de lenguajes para -- determinados prototipos.

Los dos lenguajes más utilizados en la actualidad, son -- el GPSS y el SIMSCRIPT, a continuación se dan las características principales del primero, que es el que se usó en la simulación, para el Metro de la Ciudad de México.

GPSS, estas iniciales representan; "General Purpose Simulation System" (Sistema de Simulación de Propósito General). El sistema a ser simulado, se describe como un diagrama de bloques, en que cada uno de los bloques representa una actividad, y las líneas que los unen representan la secuencia en que se van a ejecutar estas actividades. En algunos casos, de acuerdo con decisiones lógicas o comparaciones, la computadora selecciona uno de los diferentes caminos que salen de un mismo bloque. Cada uno de los bloques tiene una notación diferente y una acción perfectamente definida. fig. (3.7).

Existen entidades dinámicas llamadas transacciones que son generadas con intervalos predefinidos por bloques del diagrama y que tienen ciertas características. Estas transacciones recorren el diagrama de bloque en bloque de acuerdo con el tiempo simulado, que es controlado por un reloj interno, el cual indica el tiempo real de simulación; existen dos tipos de equipo que pueden ser utilizados por las transacciones: Instalaciones, que pueden ser ocupadas por una transacción a la vez y almacenes, que pueden ser utilizados simultáneamente por varias transacciones. Al recorrer los bloques, las transacciones pueden ser detenidas en uno de ellos (por ejemplo, en caso de que una instalación esté en uso), o pueden tomar caminos alternos. Se pueden asignar niveles de prioridad a las transacciones y hacer decisiones lógicas complejas durante la simulación.



Sistema GPSS descrito por un diagrama de bloques.

- Transacciones con características (atributos), recorren el diagrama bajo control de un "reloj interno".
- Equipos usados por las transacciones
 - 1) Instalaciones
 - 2) Almacenes
 - 3) Realizan decisiones lógicas
- El sistema GPSS lleva estadísticas automáticas
 - 1) Colas
 - 2) Uso de equipo
 - 3) Tablas de primacías o resultados.

Existen rutinas para generar números aleatorios, establecer funciones estocásticas, formar tablas de frecuencia, etc. - Una transacción da por terminado su recorrido al llegar a un bloque de terminación.

El GPSS automáticamente lleva estadísticas de colas, uso de instalaciones y almacenes, retrasos sufridos en el recorrido, y otros, imprimiéndose éstas al final como resultado de la simulación.

3.4.1) Implementación del computador

1. Selección del lenguaje

La selección del lenguaje, implemento del Modelo de simulación está basado en los siguiente factores.

La situación de mayor importancia, fue desarrollar un -- Modelo flexible y fácil de operar. El segundo factor fue la facilidad de programación y el tiempo estimado de proceso del Modelo.

Después de analizar las diferentes alternativas de implementación, se determinó programar el Modelo en GPSS y los sub-modelos en FORTRAN IV. Todo el Modelo opera bajo Operating System del computador IBM 360.

2. Implementación

Se desarrollaron los siguientes programas en FORTRAN IV para la operación de los sub-modelos:

- a) Carga de matriz origen-destino.
- b) Carga de red topológica.
- c) Carga de tablas de equivalencias.
- d) Carga de tablas de expansiones.
- e) Submodelo de rutas mínimas
- f) Submodelo de estaciones de correspondencia.
- g) Submodelo de influencia de líneas.

Se requirieron además diversos programas de utilería -- para soporte de programación.

3. Restricciones de implementación

Los programas tienen las siguientes restricciones:

- a) Máximo número de líneas por alternativa = 15
- b) Máximo número de estaciones por línea = 25
- c) Máximo número de estaciones por alternativa = 200
- d) Máximo número de correspondencia = 25
- e) Máximo número de tramos = 225
- f) Máximo número de líneas en una correspondencia = 5
- g) Máximo número de trenes asignados a una línea = 48

Estas restricciones, pueden ser cambiadas volviendo a -- compilar los diferentes programas.

4. Tiempo de ejecución

La ejecución de los submodelos es de unos cinco minutos por alternativa.

Se ha obtenido una fórmula empírica para estimar el tiempo de ejecución del Modelo GPSS para cada línea.

$$T = 400 \frac{N}{M}$$

donde:

N = Es el número de estaciones de la línea.

M = Es el intervalo mínimo entre salidas en segundos.

T = Tiempo de ejecución del Modelo en minutos.

Estos tiempos se han calculado en la implementación que se ha hecho en el sistema computador IBM 360/40.

IV DEFINICION DEL TRAZO

4.1) Estudio y proposición de alternativas

En base al Modelo de Simulación, se realizaron las siguientes alternativas para la 2a. etapa de ampliación del Sistema de Transporte Colectivo "Metro", denominándolas para su identificación como: D, D-1, D-4, D-5, D-8, D-9, D-10, D-11, D-12, D-13, D-14 y G.

Cada alternativa propuesta se estudio observando sus diferentes opciones, así como sus posibilidades, de acuerdo a las necesidades principales existentes, con la información obtenida para ello, siguiendo las recomendaciones del Modelo de Simulación, para su análisis y diseño, expuesto en el capítulo anterior.

Como se comprenderá, no todo permanece estático, cada etapa propuesta de ampliación del Sistema de Transporte en general, requiere de nueva información, de lo último disponible, en especial el S.T.C.M., para la elaboración del Modelo de Simulación, siendo este una representación de la realidad.

Ya que el incremento de población en nuestra ciudad es -

variable, en este caso en constante crecimiento en los últimos años, por lo que también los medios de transportación, se tienen que incrementar, así como las vías de comunicación conforme a las políticas a seguir dentro del Plan Maestro de Vialidad y Transporte y del Plan Maestro del Sistema de Transporte Colectivo "Metro".

A continuación se presentan las alternativas propuestas, con la información obtenida hasta el año de 1980 y sus resultados máximos diarios. En los cuadros (4.1) al (4.19) y en las figuras (4.1) a la (4.12).

4.2) Selección de la Alternativa.

A efecto de continuar la ampliación de la red del Metro de la Ciudad de México, la alternativa seleccionada debe cumplir con el Plan Rector de Vialidad y Transporte de la zona Metropolitana y el Distrito Federal, que es el documento oficial con que cuentan las autoridades del Departamento del Distrito Federal -- para realizar todas las acciones tendientes a operar tanto la vialidad existente y la futura, así como el transporte de la Metrópoli, comprendiendo para su realización de cuatro grandes planes:

1. Plan Maestro del Metro
2. Plan Maestro de Transporte de Superficie.
3. Plan Maestro de Vialidad.
4. Plan Maestro de Estacionamiento.

Con base a estos puntos y contando con las experiencias obtenidas en el trazo y en los años de operación de las líneas - iniciales del Metro, la selección del trazo de la línea No. 4, - se definió siguiendo los principios siguientes.

- Cubrir las zonas con mayor densidad demográfica y de escasos recursos económicos.
- Permitir a los usuarios un ahorro de tiempo por medio de rutas e interconexiones.
- Intercomunicar los principales centros de actividad.
- Permitir la reestructuración progresiva de los transportes de superficie en coordinación con el Metro.
- El trazo de las líneas del S.T.C. Metro no debe perjudicar o anular la vialidad existente.
- En donde el ancho de la avenida permita la integración de la solución vial con el Metro se deberá implementar.
- El trazo de las líneas debe dar servicio en los lugares donde la demanda sea mayor de 10,000 pasajeros por hora.
- Evitar la entrada de autobuses foráneos y suburbanos al centro de la ciudad.
- Posibilidades físicas para la construcción de las estructuras.

- I Alternativa
- II Línea
- III Longitud de operación , (km)
- IV No. de estaciones
- V No. de estaciones de transferencia
- VI Pasajeros captados
- VII Captación
Lang. de operación , (pasa / km)
- VIII Captación
Estaciones , (Pasajeros / estación)

- IX Incremento de pasajeros % , (sobre la red)
- X No. total de transferencias en todas las estaciones de correspondencia de la red analizada.
- XI Estaciones de correspondencia con máximas transferencias de pasajeros.
- XII Transportados = Pasajeros captados + correspondencias.
- XIII Transportados Captados
- XIV Ahorro en horas - hombre

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
|---|-------|------|----|---|-----------|--------|--------|------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----|
| D | 1 | 15.2 | 19 | 3 | 1'237,284 | 81,400 | 65,120 | | | Candelaria 889,166 | 5'204,430 | 9'375,506 | |
| | 2 | 21.5 | 25 | 3 | 1'536,539 | 71,467 | 61,462 | | | Zécalo 867,578 | | | |
| | 3 | 13.4 | 16 | 4 | 455,459 | 33,989 | 28,466 | | | Balderas 445,348 | | | |
| | 4 | 7.8 | 10 | 4 | 568,874 | 72,933 | 56,887 | | | Candelaria 889,166 | + | 5'204,430 | |
| | 5 | 20.9 | 16 | 3 | 990,993 | 47,416 | 61,937 | | | Candelaria 889,166 | 4'171,076 | | |
| | 6 | 6.8 | 8 | 2 | 415,281 | 61,071 | 51,910 | | | Cuilihhuac 570,178 | | | |
| | Total | 85.6 | 94 | 9 | 5'204,430 | 60,799 | 55,366 | 105% | 4'171,076 | Candelaria 889,166 | 9'375,506 | 1.80 | |

Cuadro 4.1

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
|-----|-------|------|-----|----|-----------|--------|--------|----|---|------------------------|-----------|-----------|-----|
| D-1 | 1 | 15.2 | 19 | 3 | 1'125,772 | 74,064 | 59,251 | | | Pino Suárez 529,688 | 4'064,962 | 6'634,712 | |
| | 2 | 17.2 | 22 | 3 | 1'126,527 | 65,496 | 51,206 | | | Zócalo 724,394 | | | |
| | 3 | 21.1 | 14 | 3 | 461,363 | 21,866 | 32,955 | | | Tlatelolco 385,586 | | | |
| | 4 | 7.8 | 10 | 3 | 605,986 | 77,691 | 60,599 | | | Zócalo 724,394 | | | |
| | 5 | 16.7 | 16 | 2 | 745,314 | 44,630 | 46,582 | | | Peralvillo 413,442 | | | |
| | 6 | - | - | - | -- | -- | -- | | | -- | | | |
| | Total | 78.0 | 81 | 7 | 4'064,962 | 52,115 | 50,185 | | | 60.1 % | | | |
| D-4 | 1 | 15.2 | 19 | 4 | 1'039,549 | 68,391 | 54,713 | | | Pino Suárez 611,688 | 4'765,247 | 8'797,969 | |
| | 2 | 21.7 | 25 | 4 | 1'385,806 | 63,862 | 55,432 | | | Zócalo 913,526 | | | |
| | 3 | 9.4 | 12 | 3 | 392,706 | 41,777 | 32,726 | | | Tlatelolco 289,252 | | | |
| | 4 | 7.8 | 10 | 3 | 709,678 | 90,984 | 70,968 | | | Zócalo 913,526 | | | |
| | 5 | 16.7 | 15 | 3 | 649,611 | 38,899 | 43,307 | | | Peralvillo 434,044 | | | |
| | 6 | 17.8 | 22 | 3 | 587,897 | 33,028 | 26,723 | | | Tacubaya 530,316 | | | |
| | Total | 88.6 | 103 | 10 | 4'765,247 | 53,784 | 46,265 | | | 87.7 % | | | |

Cuadro 4.2

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
|-----|-------|------|----|----|-----------|--------|--------|----|---|------------------------|-----------|-----------|-----|
| D-5 | 1 | 15.2 | 19 | 4 | 1'013,817 | 66,698 | 53,359 | | | Candelaria 812,786 | 4'151,523 | 7'117,645 | |
| | 2 | 17.2 | 22 | 3 | 1'301,368 | 75,661 | 59,153 | | | Pino Suárez 493,520 | | | |
| | 3 | 9.7 | 12 | 3 | 400,569 | 41,296 | 33,381 | | | Hidalgo 292,362 | | | |
| | 4 | 7.3 | 8 | 2 | 416,696 | 57,082 | 52,087 | | | Candelaria 812,786 | | | |
| | 5 | 16.7 | 15 | 3 | 631,294 | 37,802 | 42,086 | | | Comarónes 236,624 | | | |
| | 6 | 11.4 | 12 | 3 | 387,779 | 34,016 | 32,315 | | | Tacubaya 339,928 | | | |
| | Total | 77.5 | 88 | 9 | 4'151,523 | 53,568 | 47,176 | | | 63.5% | | | |
| D-8 | 1 | 16.5 | 20 | 4 | 1'178,220 | 71,407 | 58,911 | | | Candelaria 882,650 | 4'972,219 | 8'146,717 | |
| | 2 | 17.2 | 22 | 3 | 1'273,651 | 74,049 | 57,893 | | | Zacala 708,320 | | | |
| | 3 | 8.6 | 10 | 3 | 339,621 | 39,491 | 33,962 | | | Balderas 217,928 | | | |
| | 4 | 9.6 | 12 | 4 | 759,159 | 79,079 | 63,263 | | | Candelaria 882,650 | | | |
| | 5 | 15.4 | 16 | 4 | 497,822 | 32,326 | 31,114 | | | Perulvillo 364,064 | | | |
| | 6 | 11.4 | 14 | 3 | 923,746 | 81,030 | 65,982 | | | Candelaria 882,650 | | | |
| | Total | 78.8 | 94 | 10 | 4'972,219 | 63,099 | 52,896 | | | 95.9% | | | |

Cuadro 4.3

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
|------|-------|------|----|----|-----------|--------|--------|----|---|------------------------|-----------|-----------|-----|
| D-9 | 1 | 10.2 | 13 | 4 | 722,306 | 70,814 | 55,562 | | | Pino Suárez 624,664 | 4'407,621 | 7'295,835 | |
| | 2 | 13.4 | 18 | 4 | 881,663 | 65,796 | 48,981 | | | Zacalo 253,282 | | | |
| | 3 | 9.7 | 12 | 3 | 374,407 | 38,599 | 31,201 | | | Tlatelolco 299,254 | | | |
| | 4 | 16.4 | 19 | 3 | 1'430,657 | 87,235 | 75,298 | | | Pino Suárez 624,664 | | | |
| | 5 | 16.7 | 15 | 3 | 584,349 | 34,991 | 38,957 | | | Peralvillo 456,558 | | | |
| | 6 | 11.4 | 12 | 3 | 414,239 | 36,337 | 34,520 | | | Tacubaya 325,370 | | | |
| | Total | 77.8 | 89 | 10 | 4'407,621 | 56,653 | 49,524 | | | 73.6% | | | |
| D-10 | 1 | 16.5 | 20 | 3 | 1'054,539 | 63,911 | 52,727 | | | Pino Suárez 366,534 | 3'696,975 | 5'589,927 | |
| | 2 | 17.2 | 22 | 2 | 1'203,063 | 69,946 | 54,685 | | | Pino Suárez 366,534 | | | |
| | 3 | 15.0 | 17 | 3 | 831,994 | 55,466 | 48,941 | | | Tlatelolco 597,902 | | | |
| | 4 | - | - | - | -- | -- | -- | | | -- | | | |
| | 5 | 15.4 | 15 | 2 | 607,379 | 39,440 | 40,492 | | | Tlatelolco 597,902 | | | |
| | 6 | - | - | - | -- | -- | -- | | | -- | | | |
| | Total | 64.1 | 74 | 5 | 3'696,975 | 57,675 | 49,959 | | | 45.6% | | | |

Cuadro 4.4

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
|------|-------|------|-----|----|-----------|--------|--------|--------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|---------|
| D-11 | 1 | 16.5 | 20 | 4 | 1'286,428 | 77,965 | 64,321 | | | Candelaria 1'045,456 | 5'426,260 | 9'299,288 | |
| | 2 | 17.2 | 22 | 3 | 1'156,973 | 67,266 | 52,590 | | | Zócolo 647,614 | | | |
| | 3 | 15.0 | 17 | 3 | 812,656 | 54,177 | 47,803 | | | Balderas 536,862 | + | | |
| | 4 | 9.6 | 12 | 4 | 626,301 | 65,240 | 52,192 | | | Candelaria 1'045,456 | | | |
| | 5 | 15.4 | 16 | 4 | 587,389 | 38,142 | 36,712 | | | Peralvillo 367,662 | 3'873,028 | 5'426,260 | |
| | 6 | 11.5 | 14 | 3 | 956,513 | 83,175 | 68,322 | | | Candelaria 1'045,456 | | | |
| | Total | 85.2 | 101 | 10 | 5'426,260 | 63,688 | 53,725 | 113.7% | 3'873,028 | Candelaria 1'045,456 | 9'299,288 | 1.71 | 653,390 |
| D-12 | 1 | 16.5 | 20 | 4 | 1'169,311 | 70,867 | 58,466 | | | Pino Suárez 603,920 | 4'662,282 | 8'111,892 | |
| | 2 | 17.2 | 22 | 3 | 1'233,163 | 71,696 | 56,053 | | | Zócolo 900,710 | | | |
| | 3 | 15.0 | 17 | 3 | 810,239 | 54,016 | 47,661 | | | Tlatelolco 527,086 | + | | |
| | 4 | 9.6 | 12 | 3 | 882,066 | 91,882 | 73,506 | | | Zócolo 900,710 | | | |
| | 5 | 15.4 | 15 | 3 | 567,503 | 36,851 | 37,834 | | | Tlatelolco 527,086 | 3'449,610 | 4'662,282 | |
| | 6 | - | - | - | -- | -- | -- | | | -- | | | |
| | Total | 73.7 | 86 | 8 | 4'662,282 | 63,260 | 54,213 | 83.7% | 3'449,610 | Zócolo 900,710 | 8'111,892 | 1.74 | 504,739 |

Cuadro 4.5

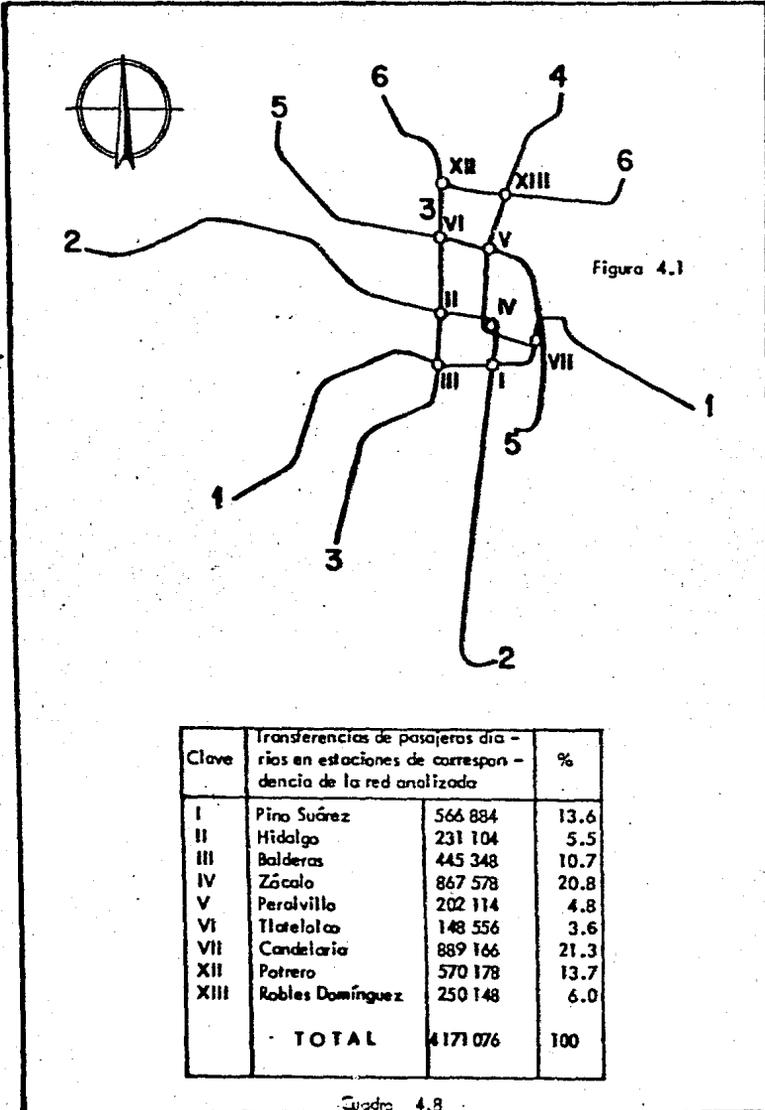
| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
|------|-------|------|----|---|-----------|---------|--------|----|---|---------------------------|-----------|------|-----|
| D-10 | 1 | 16.5 | 20 | 4 | 1'273,454 | 77,179 | 63,673 | | | Candelaria 1'182,524 | 5'046,513 | - | |
| | 2 | 17.2 | 22 | 2 | 1'214,009 | 70,582 | 55,182 | | | Pino Suárez 560,760 | | | |
| | 3 | 15.0 | 17 | 3 | 831,355 | 55,424 | 48,903 | | | Balderas 614,634 | | | |
| | 4 | - | - | - | -- | -- | -- | | | -- | | | |
| | 5 | 15.4 | 15 | 3 | 593,547 | 38,542 | 39,570 | | | Eduardo Molina 490,576 | | | |
| | 6 | 11.5 | 13 | 2 | 1'134,148 | 98,622 | 87,242 | | | Candelaria 1'182,524 | | | |
| | Total | 75.6 | 87 | 7 | 5'046,513 | 66,753 | 58,006 | | | 98.8% | | | |
| D-14 | 1 | 16.5 | 20 | 4 | 1'272,710 | 77,134 | 63,636 | | | Candelaria 1'366,080 | 5'292,626 | - | |
| | 2 | 17.2 | 22 | 3 | 1'104,220 | 64,199 | 50,192 | | | Pino Suárez 540,672 | | | |
| | 3 | 15.0 | 17 | 3 | 834,136 | 55,609 | 49,067 | | | Balderas 600,662 | | | |
| | 4 | 3.9 | 6 | 3 | 336,844 | 86,370 | 56,141 | | | Candelaria 1'366,080 | | | |
| | 5 | 15.4 | 15 | 4 | 579,251 | 37,614 | 38,617 | | | Eduardo Molina 369,738 | | | |
| | 6 | 11.5 | 13 | 2 | 1'165,465 | 101,345 | 89,651 | | | Candelaria 1'366,080 | | | |
| | Total | 79.5 | 93 | 9 | 5'292,626 | 66,574 | 56,910 | | | 108.4% | | | |

Cuadro 4.0

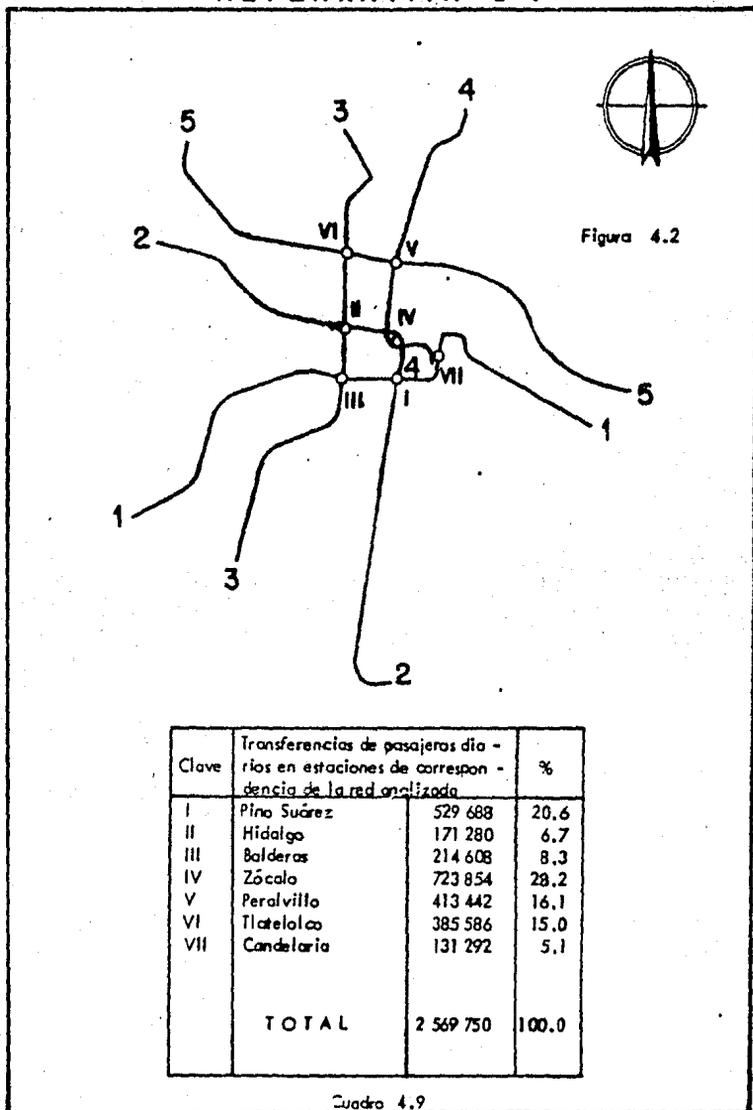
| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | XIII | XIV |
|---|-------|------|----|---|-----------|---------|---------|-------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|---------|
| G | 1 | 16.5 | 19 | 3 | 1'230,548 | 72,813 | 64,766 | | | Candelaria 1'281,162 | 5'408,617 | 9'210,951 | - |
| | 2 | 18.8 | 22 | 2 | 1'257,686 | 66,898 | 57,168 | | | Pino Suarez 671,582 | | | |
| | 3 | 15.2 | 16 | 3 | 877,472 | 57,728 | 54,842 | | | Baldaras 515,822 | | | |
| | 4 | 11.0 | 11 | 2 | 1'196,301 | 108,755 | 108,755 | | | Candelaria 1'281,162 | 3'802,334 | 5'408,617 | |
| | 5 | 21.9 | 19 | 2 | 846,610 | 38,658 | 44,558 | | | Consulado 558,796 | | | |
| | 6 | - | - | - | -- | -- | -- | | | -- | | | |
| | Total | 83.8 | 87 | 6 | 5'408,617 | 64,542 | 62,168 | 113 % | 3'802,334 | Candelaria 1'281,162 | 9'210,951 | 1,70 | 881,381 |

Cuadro 4.7

ALTERNATIVA D



ALTERNATIVA D-I



ALTERNATIVA D-4

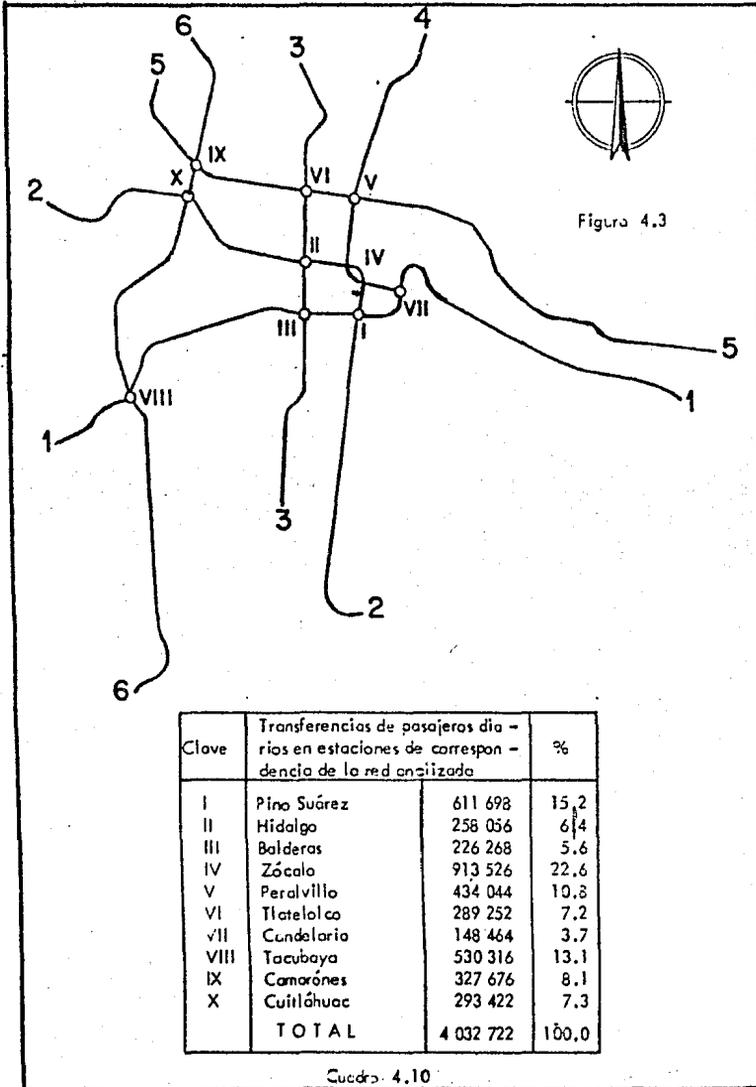
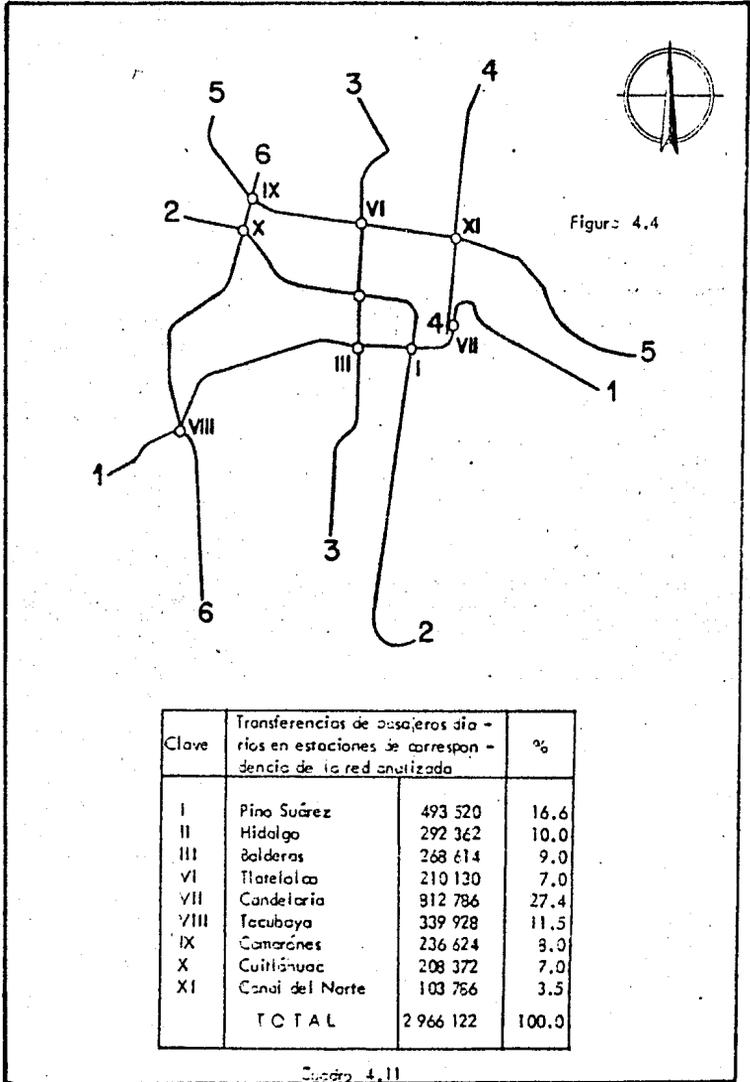


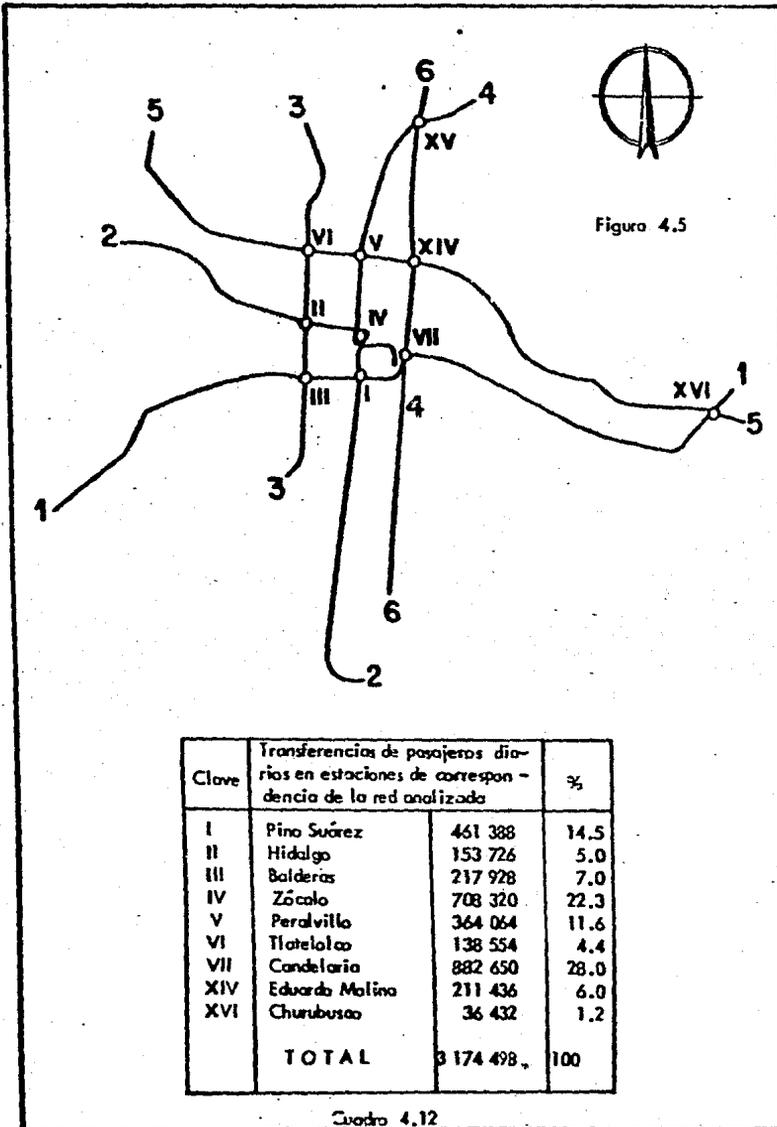
Figura 4.3

| Clave | Transferencias de pasajeros diarios en estaciones de correspondencia de la red ampliada | | % |
|-------|---|-----------|-------|
| I | Pino Suárez | 611 698 | 15,2 |
| II | Hidalgo | 258 056 | 6,4 |
| III | Balderas | 226 268 | 5,6 |
| IV | Zócala | 913 526 | 22,6 |
| V | Peralvillo | 434 044 | 10,8 |
| VI | Tlatelalco | 289 252 | 7,2 |
| VII | Candelaria | 148 464 | 3,7 |
| VIII | Tacubaya | 530 316 | 13,1 |
| IX | Comarónes | 327 676 | 8,1 |
| X | Cuiciláhuac | 293 422 | 7,3 |
| | TOTAL | 4 032 722 | 100,0 |

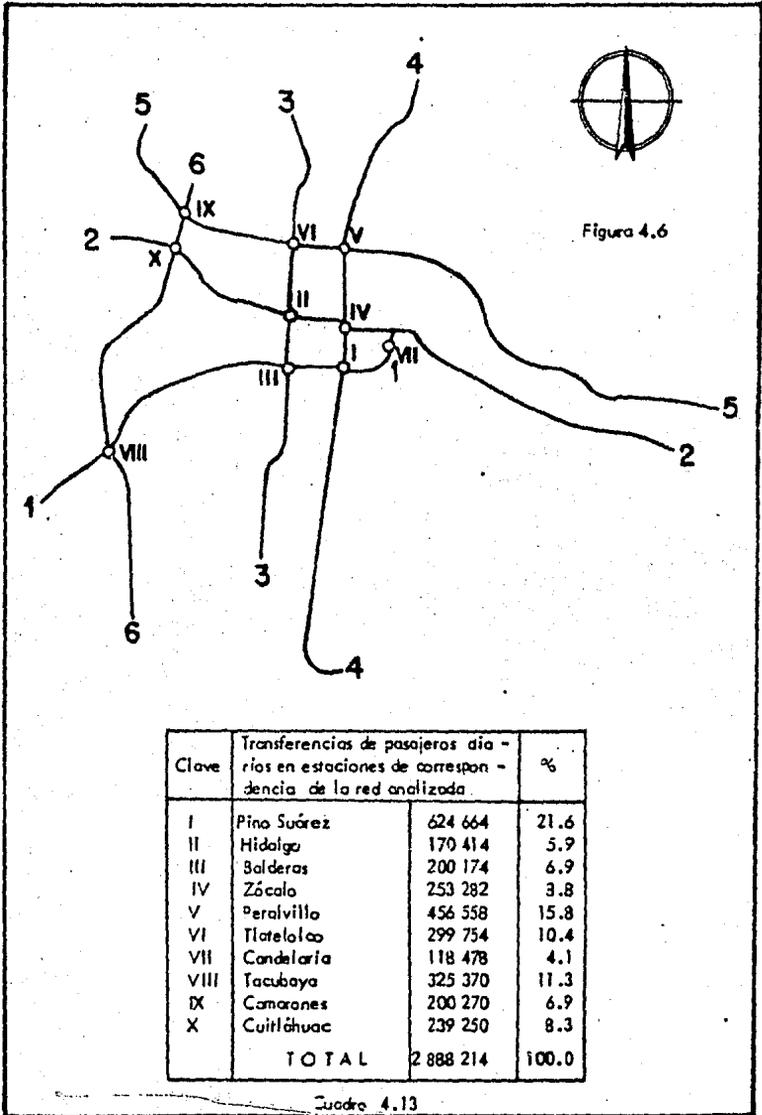
Cuadro 4.10

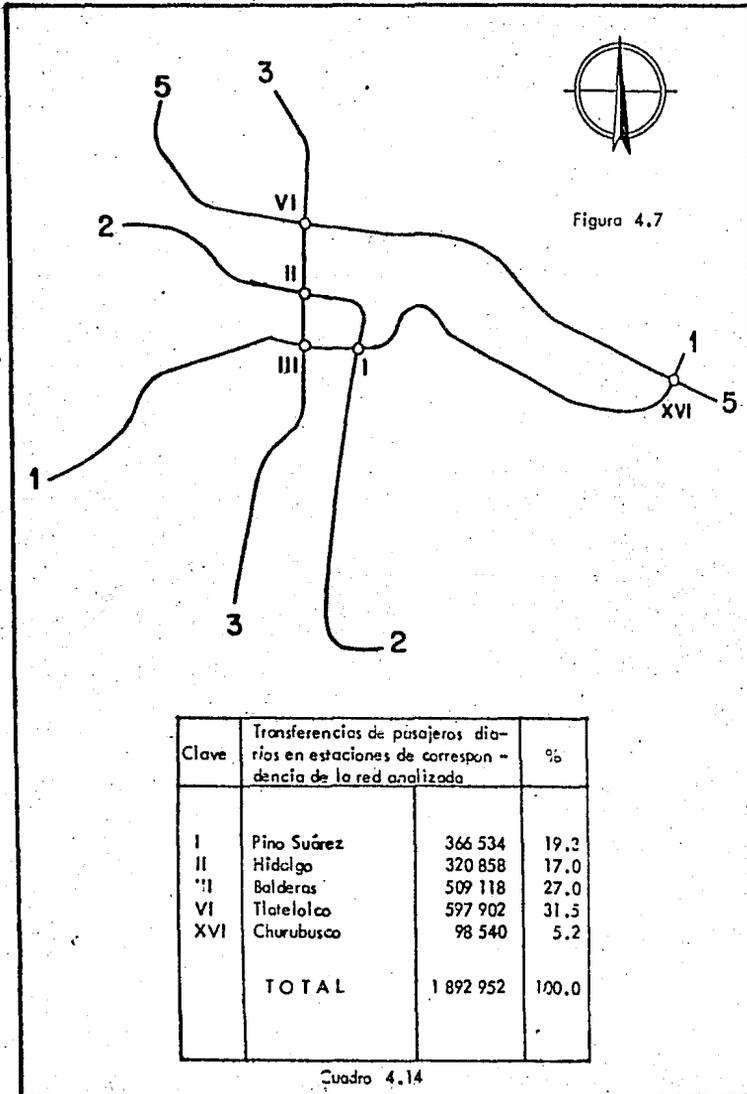
ALTERNATIVA D-5



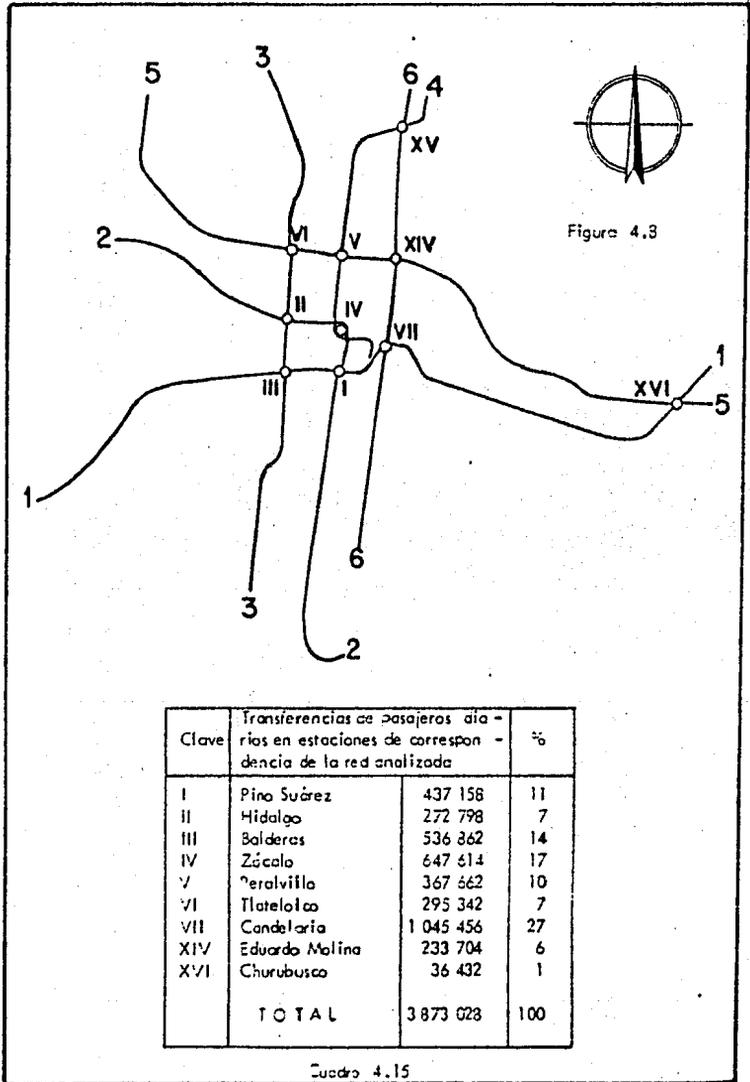


ALTERNATIVA D-9

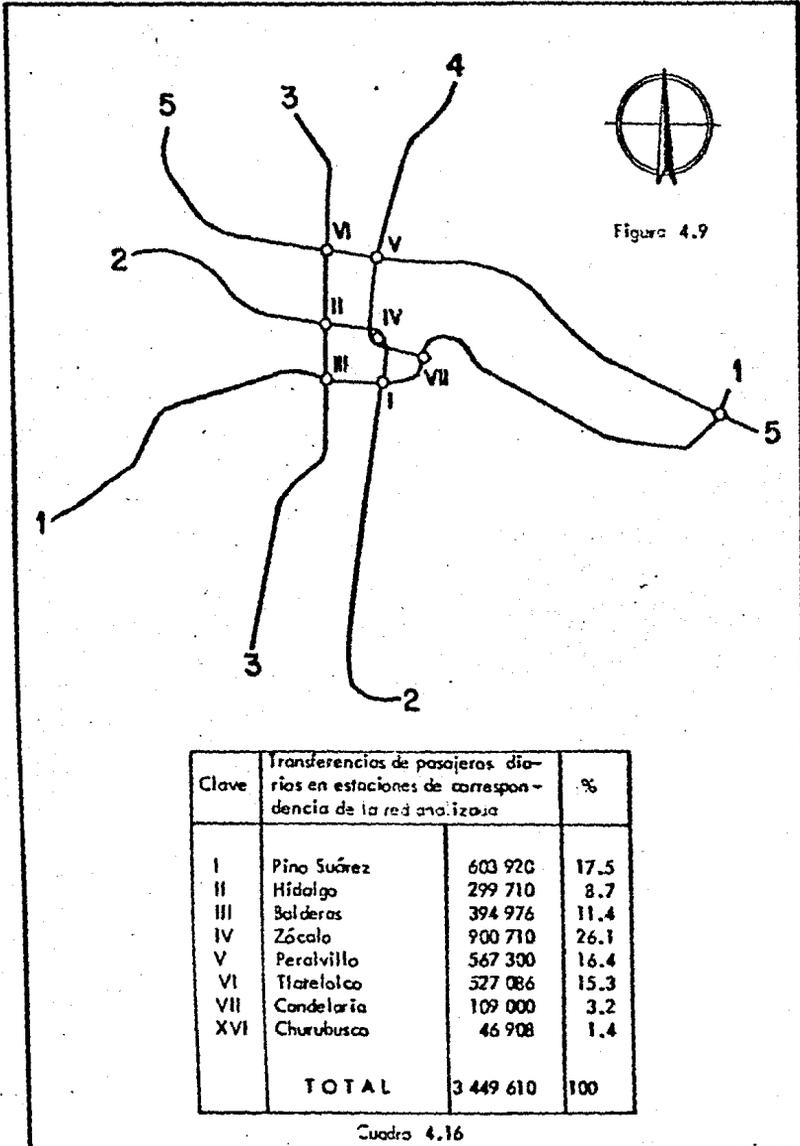




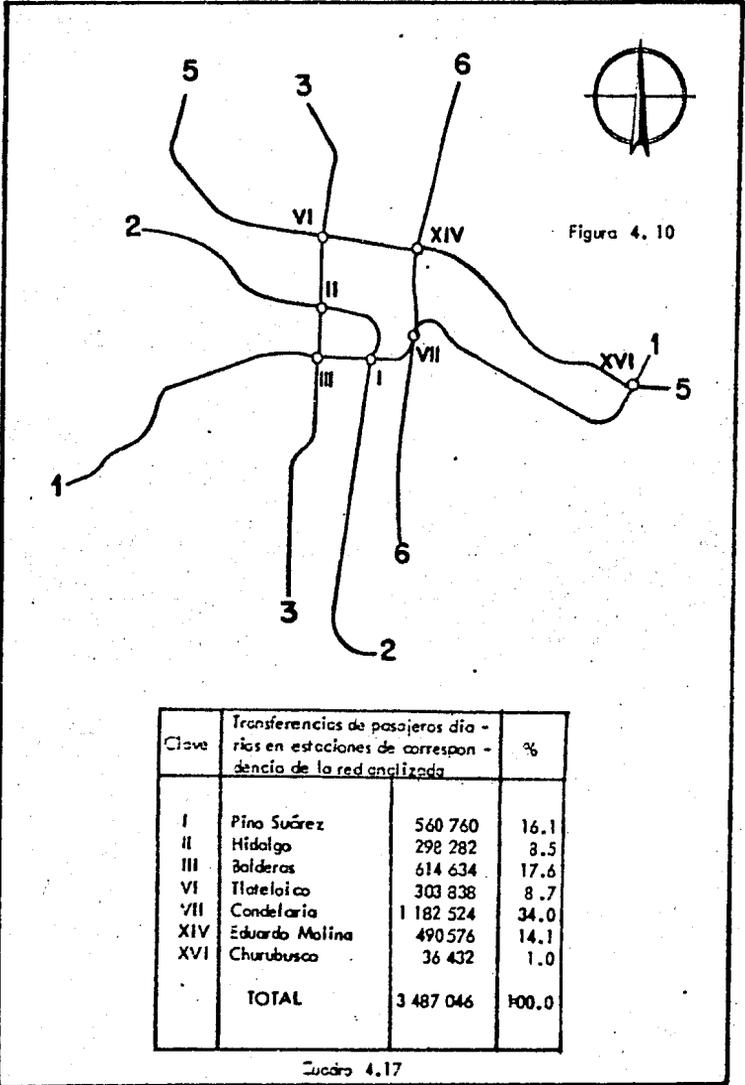
ALTERNATIVA D-II



ALTERNATIVA D-12



ALTERNATIVA D-13



| Clave | Transferencias de pasajeros diarios en estaciones de correspondencia de la red analizada | | % |
|-------|--|-----------|-------|
| I | Pino Suárez | 560 760 | 16.1 |
| II | Hidalgo | 298 282 | 8.5 |
| III | Balderas | 614 634 | 17.6 |
| VI | Matelolico | 303 838 | 8.7 |
| VII | Condelaria | 1 182 524 | 34.0 |
| XIV | Eduardo Molina | 490 576 | 14.1 |
| XVI | Churubusco | 36 432 | 1.0 |
| | TOTAL | 3 487 046 | 100.0 |

Cuadro 4.17

ALTERNATIVA D-14

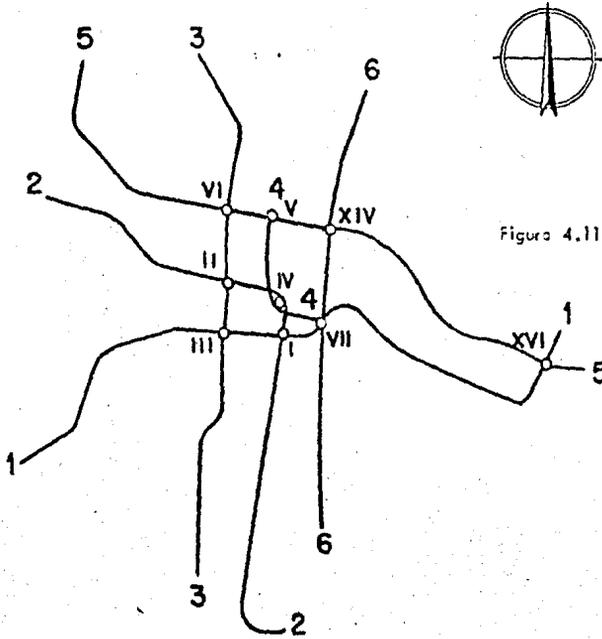
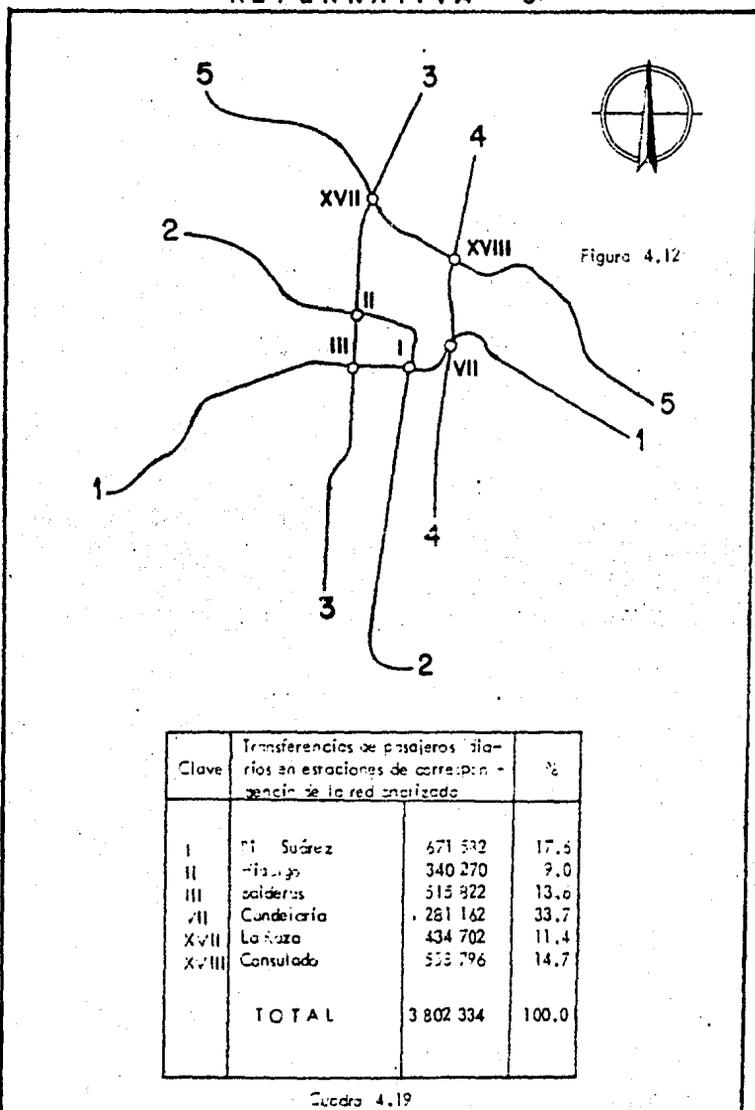


Figura 4.11

| Clave | Transferencias de pasajeros diarios en estaciones de correspondencia de la red analizada | | % |
|-------|--|-----------|-------|
| I | Pino Suárez | 540 672 | 13.3 |
| II | Hidalgo | 292 676 | 7.2 |
| III | Baideras | 600 662 | 14.7 |
| IV | Zócalo | 386 550 | 9.5 |
| V | Peralvillo | 214 494 | 5.2 |
| VI | Tlatelolco | 265 190 | 6.5 |
| VII | Candelaria | 1 366 080 | 33.5 |
| XIV | Eduardo Molina | 369 738 | 9.1 |
| XVI | Churubusco | 36 432 | 1.0 |
| | TOTAL | 4 072 494 | 100.0 |

Cuadro 4.18

ALTERNATIVA G



En el cuadro (4.20), se presentan en resumen las diferentes alternativas con las condiciones más favorables, entre ellas los resultados de la alternativa "G" seleccionada.

La línea No. 4 tiene una dirección de Norte a Sur, comprendiendo las Avs. Inguarán, Sastretería, Morazán, Calz. de la Viga y Calz. Miramontes, con una longitud total aproximada de 10.7 km., contará con 11 estaciones de paso y 5 estaciones de correspondencia.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS ALTERNATIVAS

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|------|--------|--------|---------|-----------|------|---------|------|------|-------|
| D | 60 799 | 55 366 | 105 % | 889 168 | 1.80 | 640 622 | 85.6 | 1.23 | 7 484 |
| D-1 | 58 913 | 50 185 | 101 % | 724 394 | 1.63 | 244 433 | 78.0 | 0.77 | 3 134 |
| D-4 | 53 784 | 46 265 | 97.7 % | 913 528 | 1.85 | 517 374 | 88.6 | 0.99 | 5 838 |
| D-5 | 53 508 | 47 176 | 93.5 % | 812 786 | 1.71 | 385 227 | 77.5 | 0.82 | 4 971 |
| D-6 | 63 099 | 52 898 | 96.9 % | 882 650 | 1.64 | 533 664 | 78.8 | 1.22 | 6 771 |
| D-9 | 56 653 | 49 524 | 73.6 % | 824 004 | 1.66 | 406 807 | 77.8 | 0.95 | 5 229 |
| D-10 | 57 676 | 49 959 | 45.6 % | 597 902 | 1.51 | 273 707 | 64.1 | 0.71 | 4 270 |
| D-11 | 63 688 | 53 725 | 113.7 % | 1 045 456 | 1.71 | 653 390 | 85.2 | 1.33 | 7 689 |
| D-12 | 63 200 | 64 213 | 83.7 % | 900 710 | 1.74 | 504 739 | 73.7 | 1.14 | 6 849 |
| D-13 | 66 763 | 59 006 | 98.8 % | 1 182 824 | 1.70 | 673 384 | 75.6 | 1.31 | 7 684 |
| D-14 | 66 574 | 56 910 | 108.4 % | 1 366 080 | 1.77 | 630 611 | 79.5 | 1.36 | 7 932 |
| G | 64 542 | 62 168 | 113 % | 1 281 162 | 1.70 | 681 381 | 83.8 | 1.35 | 8 131 |

I Alternativas

II Captación Pasajeros
Longitud de operación, km

III Captación Estaciones

IV Incremento de pasajeros %, (Sobre la red)

V Transferencias máximas en estación de correspondencia

VI Transportados Captación

VII Altero en horas - hombre

VIII Longitud de operación, (km)

IX Incremento de pasajeros Longitud de operación, (km)

X Altero en horas - hombre Longitud de operación, (km)

• Características favorables

Cuadro 4.20

V SELECCION DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION

5.1) Descripción de los procedimientos de construcción

Una vez seleccionado el recorrido de la línea del Metro, se procede a realizar el planteamiento preliminar del eje de trazo mediante una poligonal gráfica llevada sobre planos fotogramétricos, tratando de colocar dicho eje en el centro aproximado de la calle o a cierta distancia de los paramentos, especificada -- por los estudios de Mecánica de Suelos. Esto permite colocar en forma semigráfica la posición de los puntos de apoyo para tangentes del trazo, valor de deflexiones aproximadas, así como el -- planteamiento de las curvas entre los tramos rectos y de esta manera proceder a la verificación de la geometría preliminar, que se refiere a la localización en el terreno de los puntos obligados del trazo, para que con estos datos se afine el proyecto calculando las curvas reales de acuerdo con medidas lineales y ángulos verdaderos.

Para el proyecto de perfil se lleva a cabo una nivelación de precisión apoyada en los bancos de nivel profundo a lo largo del eje de trazo y sobrepuesta a éste, con objeto de conocer los niveles reales del terreno y en base a esta información

iniciar el proyecto de perfil que se apoya en los siguientes criterios.

Pendientes longitudinales máximas: 7.0%

Pendientes longitudinales mínimas: 0.1%

5.2 Procedimiento constructivo subterráneo

Los tipos de estructuras para el cajón subterráneo son - las siguientes:

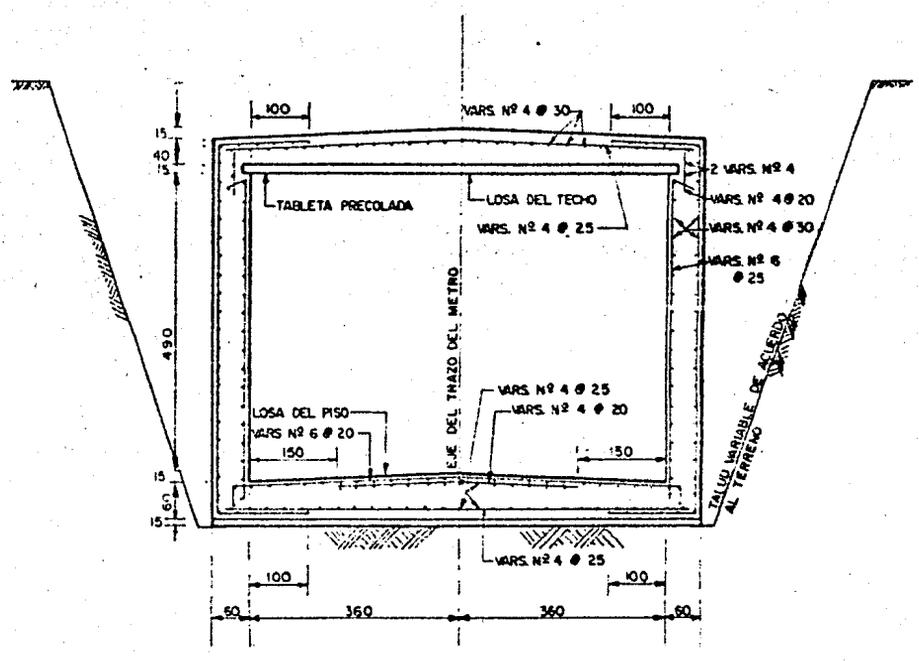
Cajón Convencional.- Con muro estructural construido a cielo abierto suele utilizarse en avenidas o calzadas sumamente anchas, es un cajón rectangular de concreto con muros de aproximadamente 1.00 mts. de espesor, losa inferior de 0.80 mts. y losa superior de 0.60 mts. aproximadamente, construido dentro de una excavación a cielo abierto con profundidad máxima de 7.00 mts. Los taludes de la excavación son diseñados de acuerdo con las características de los suelos en cada tramo y el fondo es estabilizado (si se trata de suelos arcillosos o limosos) abatiendo el nivel freático previamente a la excavación mediante el bombeo, con objeto de reducir la magnitud de las expansiones de dicho fondo, y por consiguiente mantener el factor de seguridad -- contra deslizamientos de los taludes fig. (5.1)

Cajón con Muro Ademe y/o Muro Estructural. Es también un cajón rectangular mediante un sistema de muro ademe o milán.

Este proceso constructivo tiene 2 alternativas; una es -

CAJON CONVENSIONAL CON EXCAVACION A CIELO ABIERTO

Figura 5.1



construir entre los muros ademe otro cajón rectangular de menor espesor; esta solución se aplica en casos en que la profundidad del desplante del Metro sea tan grande que requiera mayor peso en la estructura para contar así con una cimentación del tipo -- compensada.

La razón principal es que al aumentar la profundidad de perfil, aumenta el volumen de excavación del núcleo, por lo que es necesario compensar peso a dicho volumen, agregando este muro de acompañamiento fig. (5.2).

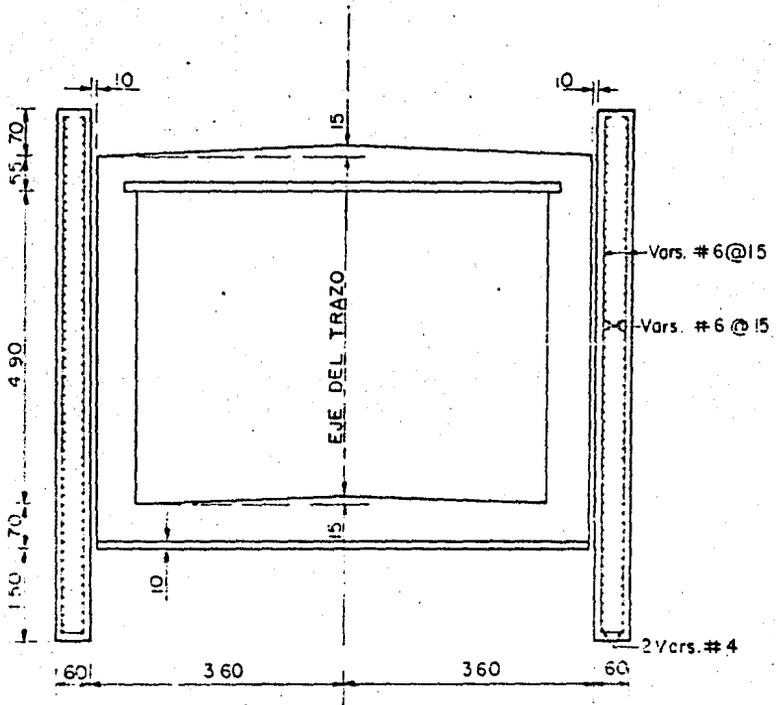
La otra alternativa es en la que tanto la losa superior como la inferior se ligan estructuralmente a los muros ademe, -- integrado así una estructura rígida y que consiste en colar primero los muros del cajón dentro de zanjas excavadas con un cucharón de almeja provisto de una barra guía fig. (5.3).

5.2.1) Construcción de muro ademe o milán

Este se inicia con la construcción de los brocales, que son pequeñas estructuras de concreto armado, que tienen por objeto principal:

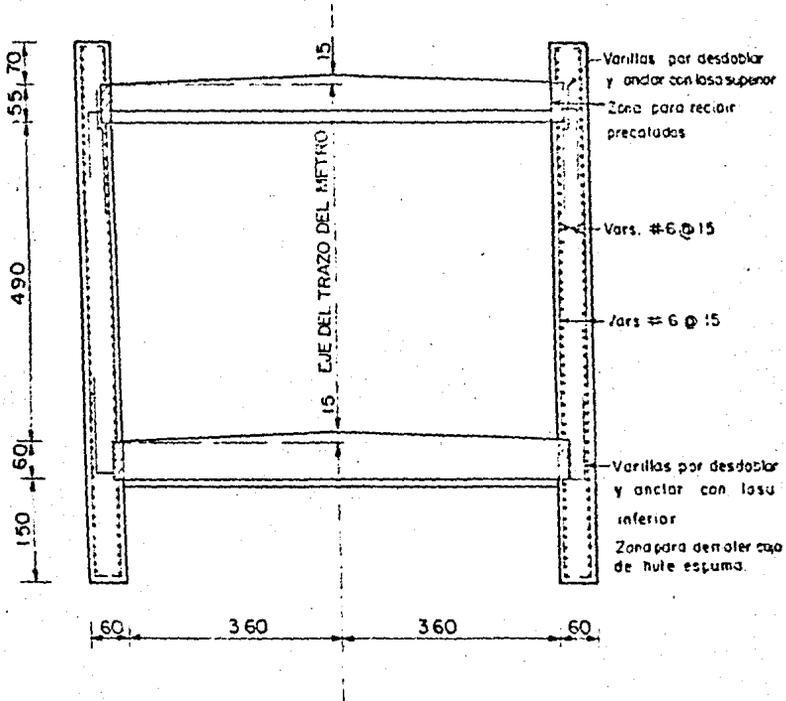
- a.- Servir de guía al instrumento de ataque.
- b.- Localizar las instalaciones municipales como agua potable, teléfonos, drenaje, cables de corriente eléctrica, etc. Las cuales una vez localizadas, se procede a desviarlas o suspenderlas.
- c.- Detener las paredes del relleno superficial.

Figura 5.2



CAJON CON MURO ESTRUCTURAL
Y TABLESCADO DE ACOMPAÑAMIENTO

Figura 5.3



CAJON CON TABLESTACA
ESTRUCTURAL

En el procedimiento constructivo, se siguen los siguientes pasos:

Primero. Se ejecuta el trazo del eje del muro milán y se procede a la demolición del pavimento, ya sea de concreto asfáltico o hidráulico, se puede hacer con draga habilitada, con pera o con rompedoras accionadas por un compresor neumático, a continuación se hace una zanja o cepa que tiene un ancho de 1.15 que está en función del ancho ya determinado del brocal, que es de 0.85 mts. y del espesor de los muros a cada lado, que son de 0.15 mts. cada uno y su profundidad es del orden de 1.50 mts. a 1.80 mts. dependiendo del espesor de los materiales de relleno.

Segundo. Se procede a la construcción del brocal, éstos están formados por dos piezas en forma de ángulo recto de concreto armado, constituidos por un alero a losa que es la rama horizontal de 1.00 mts. de ancho y 0.15 mts. de espesor, ésta deberá construirse de manera que su lecho superior quede 0.15 mts. debajo de la superficie de rodamiento de la calle en que se construya, para evitar su demolición posterior y de un faldón o muro que es la rama vertical, la separación entre los dos faldones será de 0.05 mts. mayor que el espesor del muro por construir, en el cimbrado de los faldones deberán plomearse y troquelarse perfectamente las cimbras. Así mismo, después de descimbrado los faldones, deberán troquelarse entre sí con armaduras simples o con polines. Esta separación debe ser tal que permita que la herramienta de excavación pase libremente entre ellos, a conti--

nuación se indica una sección transversal de un brocal ya terminado, así como su armado y dimensiones fig. (5.4).

5.2.2) Perforación con broca

En la segunda etapa, para guiar la introducción del cucharón de almeja, se hacen perforaciones previas con una broca de 0.80 mts. de diámetro, separadas entre ejes 1.75 mts. llevándolas a las profundidades indicadas en el punto correspondiente a las dimensiones. Al mismo tiempo que se ejecutan las perforaciones, se llenan de lodo bentonítico con el objeto de estabilizar las paredes y el fondo de la perforación. El material extraído se deposita a un lado de la máquina, donde posteriormente se carga a mano o con máquina a los camiones.

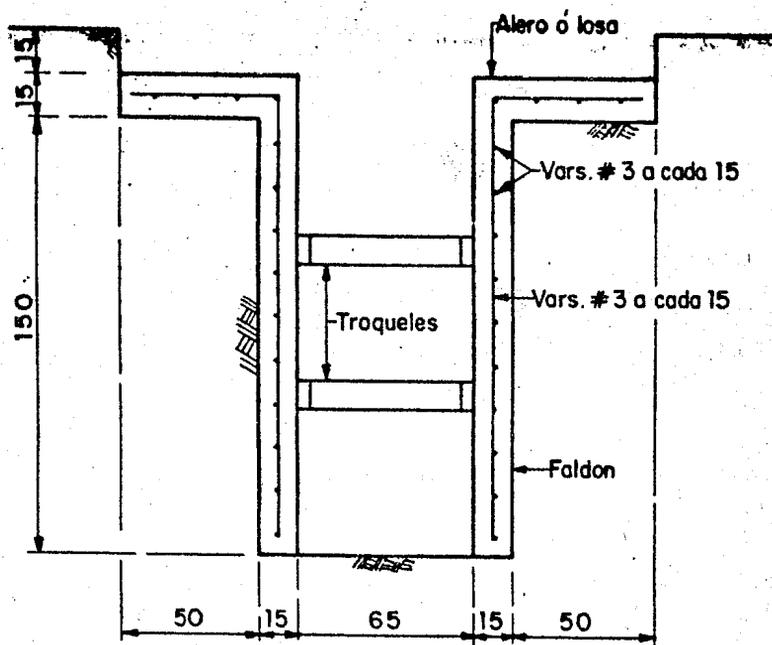
5.2.3) Compuertas

Antes de iniciar los trabajos de excavación, se colocan unas compuertas que son tapas de madera o de fierro, a cada 6.00 mts. entre los brocales en los extremos de cada tablero para -- aislar tableros contiguos y evitar el paso del lodo bentonítico de uno a otro, una vez colocadas las compuertas se llena el brocal con lodo bentonítico hasta un nivel de 0.50 mts. abajo de la superficie del pavimento. Estas compuertas confinan tramos de brocales de longitud igual a la del tablero por excavar más el espesor de sus portajuntas.

5.2.4) Excavación para muro

Una vez llena la zanja de lodo bentonítico, se procede a

Figura 5.4



la excavación de los tableros o muros, esta excavación siempre se hace alternada, es decir; nunca se excavan simultáneamente -- dos tableros contiguos, sino que debe esperarse a que alcance el fraguado inicial el concreto de un tablero para excavar el siguiente. Es de suma importancia que durante la excavación del tablero y durante el tiempo que quede abierto antes del colado, la zanja permanezca inundada con lodo bentonítico hasta el nivel de 0.50 mts. abajo de la superficie del pavimento.

Para empezar la excavación de un tablero cualquiera, se coloca el equipo de excavación frente al lugar que ocurra el mismo en una posición fija, se alinea y nivela correctamente y se ataca la posición A, que es una posición extrema, ya excavada se procede a mover la máquina, alinearla y nivelarla correctamente, y se ataca la posición B, y por último se hace lo mismo y se ataca la posición C, el material extraído como se indicó se descarga a un cargador lateral que se desplaza sobre ruedas y este descarga el producto de la excavación directamente a los camiones - fig. (5.5).

El procedimiento para excavar, se lleva a cabo introduciendo el cucharón sin dejarlo caer bruscamente, apoyando sus -- dientes en el piso del suelo, con las mandíbulas totalmente abiertas, en seguida se cierran éstas con una sola operación para cortar, como se hacen perforaciones previas, el cucharón se centra en ellas perfectamente.

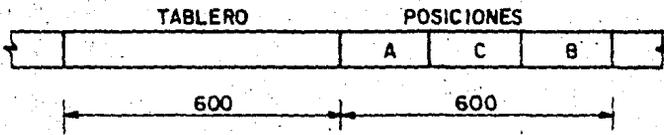


FIG. 5.5

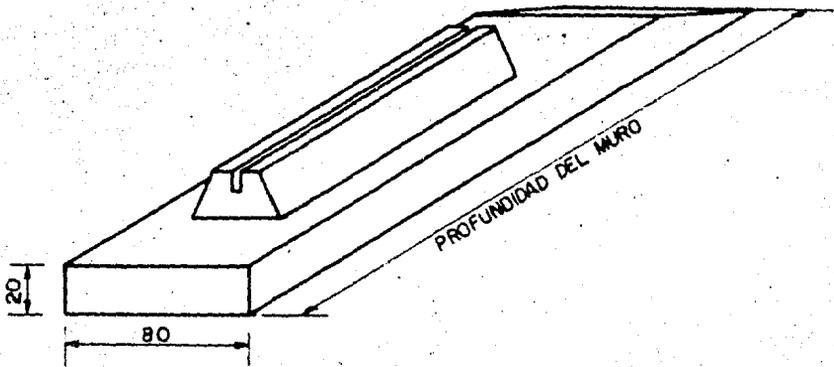


FIG. 5.6

La excavación de cada tramo, se realiza deslizando lentamente el cucharón, tanto al bajar como al subir de manera de evitar choques con el lodo o contra las paredes o efectos de embolo, los cuales son perjudiciales para la verticalidad y alineamiento de las paredes de la zanja. Una vez que el cucharón sale de la zanja, se detiene un momento y se abre ligeramente para que escorra el lodo que viene mezclado con el producto de la excavación, posteriormente se descarga el material al cargador lateral.

Una vez que el tablero se termina de excavar, se sondea para tener la profundidad especificada y lograr un fondo horizontal y limpio de azolves, para evitar que éstos se mezclen con el concreto y ocasionen una disminución de su resistencia.

Se especifica que el tiempo máximo entre la excavación de un tablero y su colado, no sea mayor de 6 horas. En caso de no poder colar por algún motivo un panel ya excavado, se controlan las características del lodo cada hora por medio de muestreos, para garantizar la estabilidad de las paredes y el fondo de la excavación.

5.2.5) Estabilización

Como se ha indicado en páginas anteriores, antes de comenzar la excavación de la zanja profunda y durante el tiempo que dura su excavación, se debe de mantener un determinado nivel del lodo bentonítico, este lodo fundamentalmente llena dos requisitos:

Primero.- Estabilizar las paredes de la zanja.

Segundo.- Facilitar la ejecución del colado con limpieza e integridad del muro.

Para lograr lo anterior, la calidad del lodo estabilizador debe llenar los siguientes requisitos mínimos:

- a.- Se pide que sea una suspensión coloidal estable, es decir, que no se sedimente al quedar en reposo.
- b.- La viscosidad debe quedar controlada dentro de ciertos límites para facilitar su bombeo y manejo durante la excavación y facilitar su desplazamiento durante el colado.
- c.- Debe tener una densidad adecuada para crear suficiente presión sobre las paredes de la zanja y estabilizarla, evitando el flujo plástico y los derrumbes.
- d.- El espesor de la costra no debe ser excesivo a fin de evitar que se acumule en las juntas y en el acero de refuerzo.
- e.- El lodo debe de mantenerse limpio, es decir, libre de arena y de trozos de arcillas que produzcan sedimentación, con las consiguientes bolsas de lodo y pérdida de adherencia del concreto con el acero.

La materia prima que se utiliza es bentonita sódica, -- este es un material que se produce industrialmente a partir del mineral de arcilla natural.

Describiremos a continuación las propiedades y características fundamentales del lodo estabilizador.

5.2.6) Propiedades y características del lodo estabilizador

Se define un lodo estabilizador como una suspensión estable, de arcilla coloidal o de bentonita sódica en agua, se dice que es tixotrópica porque presenta una cierta resistencia al corte en reposo, puesto que el lodo estabilizador tiene una densidad mayor que la del agua, el empuje hidrostático que ejerce es mayor que el de aquella, contribuyendo a detener las paredes, para que el lodo estabilizador cumpla adecuadamente su función se requiere, por lo tanto:

- a.- Que el lodo forme una película impermeable en la frontera con el suelo, si se forma gruesa y poco resistente, el lodo penetra por los poros del suelo y la estabilización se pierde. Para garantizar la formación de la película, el lodo debe contener una cantidad importante de agua coloidal o de bentonita sódica.
- b.- Que la suspensión de arcilla en agua coloidal o de bentonita en agua sea estable, es decir, no debe hacer sedimentación o floculación de las partículas de arcilla.

Las propiedades características de un lodo son:

- 1.- Viscosidad plástica.

- 2.- Punto de fluencia.
- 3.- Densidad.
- 4.- Viscosidad.
- 5.- Volumen de agua libre.
- 6.- Contenido de arena.
- 7.- Potencial hidronio.

5.2.7) Limpieza de la excavación.

Una vez terminada la excavación de un panel se procede a ejecutar la limpieza del fondo; consistiendo ésta en repasar el fondo con el cucharón de almeja, para extraer el azolve acumulado en el proceso de la excavación, se utiliza un eyector de 0.15 a 0.20 mts. de diámetro cuyo extremo inferior se pasa varias veces por todo el fondo. El lodo que se extrae con el eyector se repone con lodo fresco, manteniendo siempre el nivel de este a - 0.50 mts. abajo de la superficie del terreno. Se recircula el lodo mientras dura el proceso de excavación, pasando por un tanque tamizador para eliminar la arena existente, si el porcentaje de arena es menor de 3% este se regresa, si el porcentaje es mayor, el lodo se pasa por una batería de hidrociclones y de ahí se recircula nuevamente a la excavación.

5.2.8) Introducción de juntas

Los portajuntas son elementos metálicos, que se introducen en los extremos de la excavación para limitar el colado de un tablero hembra, el ancho y la profundidad son los mismos que

el del tablero excavado, antes de introducir el portajuntas a la zanja se engrasa totalmente toda el área en contacto con el concreto, con grasa negra para disminuir al máximo la adherencia entre juntas y concreto, y poder extraer ésta después de un tiempo conveniente de haber colado el muro milán. La introducción a la zanja se hace lentamente y conservando su verticalidad, troquelándose en su parte superior para evitar movimientos posteriores fig. (5.6).

5.2.9) Colocación del acero de refuerzo

Una vez armada la parrilla de acuerdo con las indicaciones del proyecto y las medidas existentes de longitud de panel, ancho y profundidad, se dispone su introducción; éstas varían de 2 a 6 ton. de peso, antes de introducirla se colocan en la zanja cuatro elementos denominados "guías", formada por dos ángulos, -- aproximadamente de la longitud de excavación y un apoyo extremo, estas piezas sirven de guía a la parrilla. La parrilla lleva en su extremo dos elementos llamados orejas donde se conectan a -- otro elemento llamado balancin por medio de unos grilletes, el -- balacín es tomado por el equipo de izado y se procede a la introducción, la parrilla se refuerza para evitar pandeos por medio -- de "vibras y varillas diagonales", una vez colocada y centrada la parrilla hay que sostenerla y asegurarla, ya sea troquelándola con madera contra los brocales o bien, por medio de gatos hidráulicos, para evitar que emerja durante el colado. Estas -- parrillas cuentan con dos espacios que sirven de guías para el --

paso de las trompas de colado y además tiene las preparaciones - necesarias para recibir el armado de la losa de fondo en el lado inferior del muro, así como del armado superior.

5.2.10) Colado del muro milán

El concreto empleado en el colado de los muros tiene una resistencia $f'c$ de 175 kg./cm², teniendo en su composición; cemento, puzolana, agregado máximo de 3/4", revenimiento de 18 a 20 cms., y adicionando un retardador de fraguado, para lograr -- que el tiempo mínimo en que se presente el fraguado inicial sea de cuatro horas.

El concreto se introduce dentro de la zanja por medio de un tubo de 0.25 mts. de diámetro, formado por tramos de 1.50 a 2.00 mts., las juntas o coples de la tubería son herméticos, -- para evitar la entrada de aire o lodo por ellos, debido a la succión que hace la columna de concreto al descender por el tubo, - el extremo superior de la trompa lleva una tolva o embudo por el cual se descarga el concreto del camión revolador. Su capacidad será suficiente para no derramar el concreto a la velocidad que se requiere.

Antes de comenzar el colado se coloca en la boca inferior un balón inflado, que sella completamente el interior de la tubería, enseguida se introduce el concreto y por su propio peso descende expulsando el balón a la superficie, manteniendo un -- flujo constante de concreto, e impidiendo la mezcla del lodo con

el concreto. Para que el concreto se desplace dentro del table-ro y conserve un nivel horizontal, se desplaza suavemente la -- trompa verticalmente hacia arriba y hacia abajo, manteniendo -- siempre el extremo inferior dentro del concreto ahogado de 0.50 a 1.50 mts. La trompa se irá levantando conforme se haga el cola-do, dejando siempre ahogado su extremo inferior, cada vez que se levanta la altura correspondiente a un tramo de tubo, se desco--necta ésta y se adapta la tolva al tramo que queda. Como el -- peso específico del concreto es mayor que el de el lodo bentoni-tico, hace que éste vaya emergiendo hacia la superficie, por lo que se mueve hacia otros paneles o se recircula para limpiarlo.

Una vez terminado el colado, se extrae la trompa de cola-do, se quitan los troqueles y estorbos que afianzan a la parrilla y durante dos horas aproximadamente, mientras fragua el con-creto, se dan con la gufa pequeños desplazamientos verticales a la junta metálica para evitar que ésta se pegue, sacándola final-mente.

Durante el colado y para su control, se lleva una gráfi-ca en la que se indica con una recta continua el volumen teórico de colado, en función de la altura en metros de la zanja y con - trazos cortos se representa el volumen real del colado, con esta gráfica se sabe si existe alguna fuga de concreto y a la vez -- para saber en que momento se puede extraer un tramo de tubo.

5.2.11) Excavación del núcleo y colocación de troqueles

Los problemas de inestabilidad que presentan las excavaciones que se realizan en suelos blandos constituidos por limos o arcillas, bajo el nivel freático ejecutadas en el subsuelo del Valle de México, que se formó por la descomposición de la ceniza volcánica, de innumerables conos cineríticos que hicieron erupción en épocas geológicas pasadas; se deben fundamentalmente a - éstas dos condiciones.

- 1.- La alta plasticidad.
- 2.- La existencia de aguas freáticas casi superficiales del orden de 2.50 mts. de profundidad.

Así, que los anteriores conceptos, nos permiten predecir que en cualquier excavación abierta que se realiza en la zona de alta compresibilidad, se presentarán en función del área de excavación, de su profundidad y tiempo que permanezca descubierta -- los fenómenos siguientes:

- 1.- Expansiones en el fondo.
- 2.- Flujo de agua freática a través de taludes y fondo.
- 3.- Disminución de la resistencia al corte de las arcillas, por causa de la expansión y de la absorción de agua.
- 4.- Falla de taludes.
- 5.- Falla por el fondo.
- 6.- Asentamientos diferenciales durante la construcción de la estructura o una vez terminada.

Al concluirse los muros se procede al abatimiento del ni vel freático por medio de pozos de bombeo, colocados a cada 10 - metros sobre el eje del Metro; dicho abatimiento debe iniciarse 8 días antes de la excavación y se suspende una vez que se haya colocado la losa de piso. Una vez que el concreto de los muros haya alcanzado su resistencia nominal, se lleva a cabo la excava ción del núcleo y la colocación de troqueles en forma progresiva.

Este método está indicado para las excavaciones circunda das por construcciones donde no es posible tender taludes al exterior de la excavación, como se realiza en los métodos tradicio nales de excavación.

Primero se construyen los muros-ademe o milán, desplan-- tando éstos muros a profundidades mayores que las del fondo de - la excavación, con el fin de evitar principalmente la falla de - fondo, debido al flujo plástico del material, fenómeno que es -- acelerado por las fuerzas de filtración, creadas al fluir el -- agua por gradiente hidráulico, a través del suelo y troquelando los muros posteriormente para garantizar la estabilidad de los - mismo a diferentes niveles, ya que al extraer el material circun dado por los muros-ademe, éstos actúan como un cantiliver, que - está sujeto a un empuje de tierras, más un empuje hidrostático - bastante considerable debido al manto de aguas freáticas y más - las sobrecargas existentes por la presencia de las mencionadas - edificaciones.

Se distinguen fundamentalmente tres etapas que determinan el proceso evolutivo de la excavación.

- 1.- Abatimiento del nivel freático.
- 2.- Excavación del núcleo central.
- 3.- Apuntalamiento metálico.

1.- Durante el abatimiento del nivel freático debe de - llevarse un riguroso control de los niveles piezométricos, y no se permite el comienzo de las excavaciones, si no se registra en los piezómetros centrales que se ha logrado el abatimiento del - nivel freático a la profundidad deseada, también punto importante es el control de los posibles movimientos de la excavación y de las colindancias, durante el avance de los trabajos se llevan nivelaciones apoyadas en bancos superficiales y en bancos profundos.

El abatimiento del nivel freático se lleva principalmente con el objeto de controlar las filtraciones durante la excavación y evitar que el manto arcilloso se expanda, disminuyendo en tre otras su resistencia al corte.

2.- En la excavación del núcleo central se tiene:

- a.- Una vez que el concreto de los muros-ademe hubo alcanzado el 70% de su resistencia, se procede a efectuar la excavación.
- b.- La excavación se programa de tal forma de avanzar en tramos de 15 mts. de longitud máxima.

- c.- La excavación se realiza siguiendo el método de taludes sucesivos, según avanza el troquelamiento.
- d.- Se procede a la colocación y acuñamiento de los troqueles metálicos.

La excavación del núcleo se lleva a cabo con retroexcavadora o draga, hasta llegar al primer nivel de troqueles, después y debido a dichos troqueles, solamente se utiliza la almeja libre o drega. Los troqueles se colocan para evitar que el empuje de la tierra voltee el muro milán, generalmente se colocan en dos niveles y a cada 50 cm. de las juntas de tramos de muro y deben de quedar alineados en los dos sentidos, tanto vertical como horizontal.

3.- El apuntalamiento se realiza con troqueles metálicos que consiste en dos elementos básicos, el primero es un tubo metálico con un diámetro de 35.6 cm. y un espesor de 11.1 mm., que tiene en sus extremos dos placas de 40.0 x 40.0 x 2.5 cm. y mide de extremo a extremo 13.50 mts. o menor según el ancho del tramo, de tal manera que esa longitud sea la distancia entre paños interiores del muro estructural y que se proyecta en esa forma, para que una vez llegado el momento conveniente se pueda retirar el tubo, utilizándolo para un siguiente tramo.

El segundo elemento se denomina canastilla, que consta de dos placas de apoyo separadas entre sí 0.80 mts. y cuyas dimensiones son: 60.0 x 60.0 x 2.5 cms., éstas placas están unidas

por cuatro ángulos de 10.2 x 10.2 x 1.3 cm., y unidas por tres - soleras, en cada una de las cuatro caras de la canastilla.

5.2.12) Losa de fondo

Cuando se haya excavado hasta el nivel de desplante de - la losa de piso, se procede a colocar el troquel inferior y co- - llar una plantilla de concreto pobre o bien de grava, una vez fra - guada esta plantilla de concreto pobre se arma la losa de fondo - trasladando su refuerzo con el de los muros; garantizando así -- una junta continua entre losa y muros, con un espesor de 0.60 -- mts. y un ancho libre en tramo recto de 6.90 mts. compuesto de - dos anchos de carro de 2.50 mts. cada uno, un espacio intermedio - de 0.40 mts. y dos andadores laterales de 0.75 mts. cada uno. La - altura interior tiene un total de 4.80 mts. constituidos por -- 0.40 mts. de espesor de balasta, 0.30 mts. de durmiente y la pis - ta de rodamiento, 3.60 mts. de altura del vehículo y 0.50 mts. - de espacio libre sobre el techo del tren.

En los tramos curvos, ambas dimensiones deben incremen-- tarse por los desplazamientos central y extremo del carro y por la sobreelevación transversal, que se prevee en las curvas.

5.2.13) Losa de techo

Para la construcción del techo del cajón, se preparan - los muros descopetándolos hasta el nivel requerido, a continua-- ción se colocan tabletas precoladas y preesforzadas, posterior-- mente se efectúa el armado y colado de la losa superior ligando

su armado con el de los muros, tiene un espesor de 0.40 mts. y el mismo ancho de la losa inferior. Finalmente se retiran los troqueles superiores y se procede al relleno y pavimentación de la calle en la forma tradicional, con sub-base, base y carpeta asfáltica, quedando concluida la obra.

5.3) Procedimiento constructivo del túnel profundo

La excavación de túneles se ha realizado desde hace muchas centurias. En varios países del mundo ha sido pionera de ésta técnica la minería para la exploración de yacimientos minerales y carboníferos.

La tecnología en la excavación de túneles presenta actualmente adelantos muy importantes, tanto en rapidez como en seguridad. Una obra que se está realizando en la ciudad de México y que por las características y magnitud de la misma sirve como ejemplo, es la línea 7 que estará alojada al poniente de la Ciudad y de la cual se analizaron para su realización muchas alternativas, llegando finalmente a la solución de un túnel de 9.14 mts. de diámetro, para dos vías, con una profundidad de desplante del piso de 30 mts. aproximadamente.

Se han construido varias lumbreras con diámetro libre de 10.20 mts. con el fin de introducir el equipo necesario para construir el túnel, hacer las instalaciones necesarias para ventilar tanto el túnel, así como a la línea ya en operación y extraer la rezaga producto de la excavación.

Se estudiaron 5 diferentes procedimientos a emplear en la construcción de este túnel, seleccionados de acuerdo con las 5 zonas en que, por su diversa estratigrafía, se dividió la línea 7:

Zona 1.- La excavación del túnel se realizará con un escudo de frente abierto. El diámetro exterior de este escudo será de 9.14 mts.

Zona 2.- a) Sin marcos. La excavación del túnel se hará por medio de un banqueo, dividiéndose la sección transversal del túnel en dos secciones: sección media superior y sección media inferior.

La longitud de avance máximo será de 1.20 mts. y el avance de banco será de 2.40 mts. El recubrimiento provisional será de concreto lanzado de 25 cm. de espesor con doble malla electrosoldada del tipo 6" x 6" 4/4. En la sección media inferior se construirán zapatas longitudinales de apoyo con sección transversal de 0.80 x 0.40 mts.

b) Con marcos metálicos. La excavación del túnel se efectuará por medio de un banqueo dividiendo la sección transversal del túnel en dos secciones. La longitud de avance máximo y de avance de banco será similar a la indicada anteriormente.

El recubrimiento provisional será con marcos metálicos, concreto lanzado de 15 cms. de espesor y una malla electrosolda-

da. También deberán construirse zapatas de apoyo al marco de --
0.80 x 0.40 mts. en la sección media inferior.

Zona 3.- La excavación del túnel se efectuará a media --
sección por medio de un banqueo. La longitud de avance será de
2.40 mts. y el avance de banco de 4.80 mts.

El recubrimiento provisional estará constituido por con-
creto lanzado de 15 cms. de espesor y doble malla electrosolda--
da. En la sección media inferior se construirán zapatas longitu-
dinales de apoyo con sección de 0.80 x 0.40 mts.

Zona 4.- El procedimiento constructivo se realizará en -
forma análoga al indicado para la zona 3, a excepción de que el
espesor de concreto lanzado será de 25 cm.

Zona 5.- La excavación se efectuará a media sección por
medio de un banqueo, la longitud de avance máximo será de 2.40m.
y el avance de banco será de 4.80 mts. El recubrimiento provi--
sional será con marcos metálicos y concreto lanzado de 15 cms. -
de espesor.

Como en esta zona existe arena pumitica sobre la clave -
del túnel, será necesario colocar gunita con malla de gallinero
o lámina acanalada, con objeto de evitar caídas. En la sección
media inferior deberán construirse zapatas de apoyo al marco.

En términos generales, el procedimiento a seguir en la -
construcción de túnel profundo es el siguiente con las variantes

para cada caso, de acuerdo a la zona de que se trate.

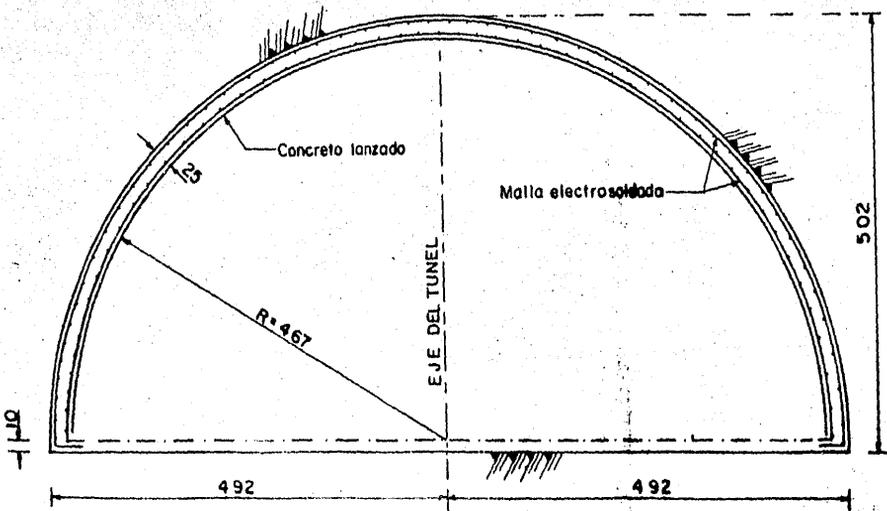
5.3.1) Sección media superior

Se excava la sección superior y se coloca el revestimiento primario de concreto lanzado, siendo la primera capa de 5 cms. de espesor, se procede enseguida a colocar la primera malla electrosoldada, dejando 30 cm. para traslape con la malla de la sección media inferior. Se lanza la segunda capa de concreto -- que será de 15 cm. de espesor, colocando la segunda malla electrosoldada y dejando también 30 cm. para el traslape con la malla de la sección inferior, lanzandose la tercera y última capa de concreto cuyo espesor es de 5 cm. fig. (5.7).

5.3.2) Sección media inferior

Terminado el recubrimiento preliminar de la sección media superior, se procede a excavar la sección media inferior o banqueo, incluyendo la zanja para la zapata, una vez terminada la excavación se procede a colocar el revestimiento primario lanzando la primera capa de concreto de 5 cm. de espesor, hasta la zanja de la zapata. Se coloca la primera malla, efectuando el traslape y amarre con la primera malla de la sección superior, -- así mismo esta malla deberá prolongarse hasta constituir el refuerzo de la zapata, dejando 30 cm. de malla para realizar el traslape con la segunda malla, se coloca la segunda capa de concreto lanzado de 15 cm. de espesor realizando también el colado de la zapata, después se coloca la segunda malla electrosoldada,

Figura 5.7

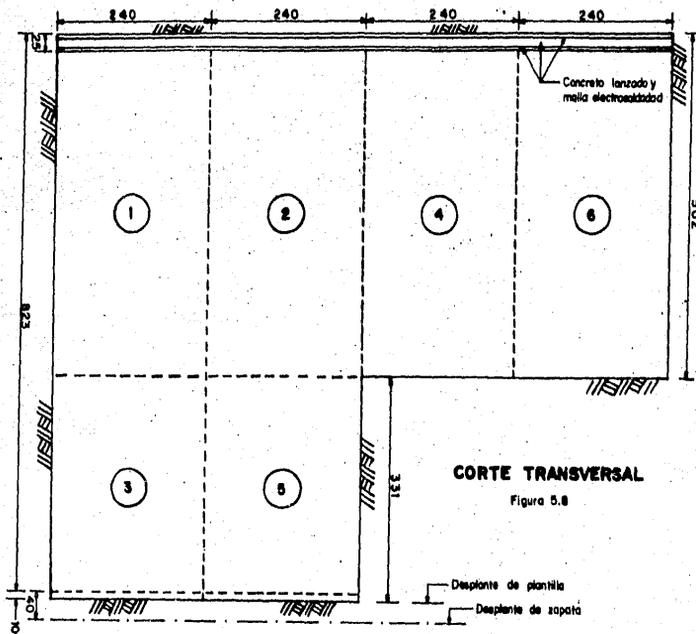


efectuando el traslape y amarre con la misma malla de la sección superior y con la de la zapata, colocando la tercera capa de concreto lanzado de 5 cm. de espesor quedando terminado el recubrimiento primario, figs. (5.8) y (5.9).

5.3.3) Revestimiento definitivo

Teniendo el túnel totalmente terminado en su fase de excavación y revestimiento primario, se procede a nivelar el sitio donde quedarán alojadas las guarniciones, que después de ser armadas con acero de refuerzo se cuelan junto con los muros también armadas con acero de refuerzo, para formar la cubeta. Posteriormente con una cimbra del tipo yumbo de forma circular se procede a colar la clave del túnel previamente armada, esta cimbra se traslapa de un lugar a otro por medio de ruedas, que se deslizan apoyadas sobre la guarnición proporcionándoles así apoyo firme y seguro, fig. (5.10).

Por último el armado y colado de la losa de piso se efectúa cuando se tiene la seguridad de que no interferirá con el transporte de la rezaga de algún otro tramo. Antes de iniciar la construcción de la losa de piso, se deberá colocar una plantilla de concreto pobre de 10 cm. de espesor, durante la construcción de la losa se deberán dejar alojados los ductos que funcionarán como drenes, así como los registros necesarios para quedar terminada la sección.



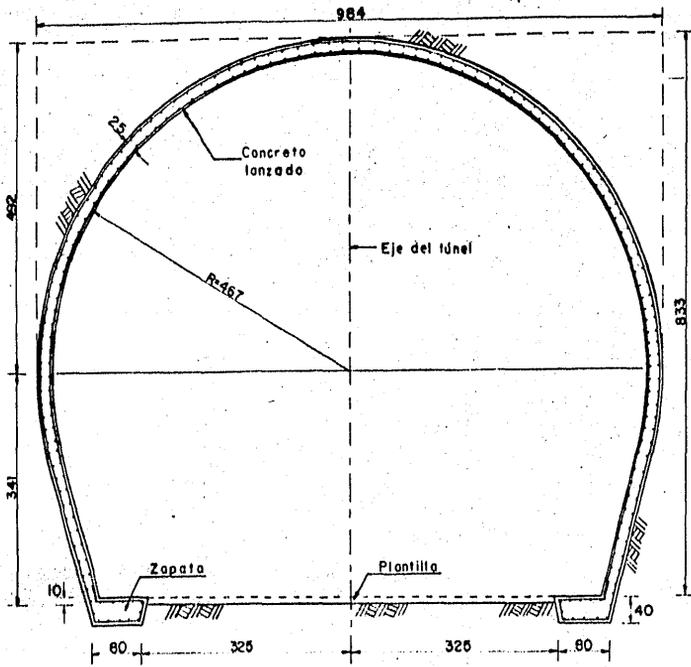


Figura 59

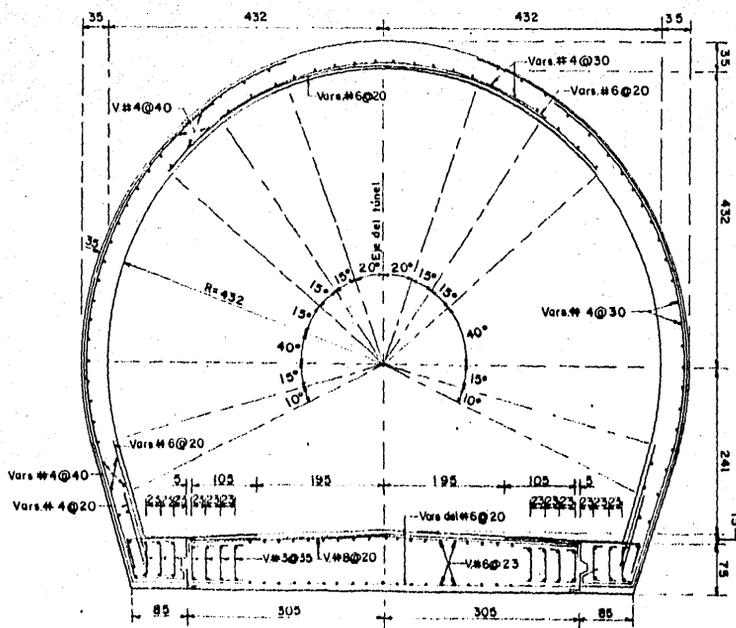


Figure 5.10

El colado del revestimiento definitivo: losa de piso, -
guarniciones, muros y clave se realizará mediante concreto hi- -
dráulico con un $f'c$ de 250 kg/cm^2 y acero de refuerzo de un f_y -
de $4,000 \text{ kg/cm}^2$ o mayor y agregado grueso de $3/4''$ máximo.

5.4) Procedimiento constructivo superficial

Para ello se toman en cuenta las avenidas que cuentan --
con una sección mínima de 40 mts. aproximadamente, permitiendo --
con esto integrar esta vía de transporte colectivo con otras --
vías rápidas de transporte.

La secuencia a seguir en este procedimiento constructivo
es la siguiente: Despalme, excavación, plantilla, losa de piso
y muros, siendo a base de concreto reforzado apoyada sobre terre
no previamente mejorado, utilizando concreto de $f'c$ de 200 kg/cm^2
y acero de refuerzo f_y de 400 kg/cm^2 .

- El despalme que consiste en retirar los obstáculos de
cualquier tipo como lo es la carpeta asfáltica, guarniciones, ár
boles de los camellones, etc., se hace en una longitud y ancho -
aproximado de 25.00×11.00 mts.

- La excavación a realizar es poco profunda y variable -
dadas las condiciones del terreno, así como del perfil sobre el
eje de trazo. El ataque se hace en tramos de 20.00×8.80 mts.,
con profundidades promedio de 1.50 mts., el tajo está limitado -
con taludes de 0.5:1.0.

- Plantilla, una vez excavada la sección se procede a -
colocar la plantilla de concreto pobre a todo lo largo y ancho -
de la excavación con dimensiones promedio de 20.00 x 8.80 x 0.10
mts.

- Losa de piso, el siguiente paso es el armado de la --
parrilla, cimbrado y colado de la losa, con dimensiones promedio
de 20.00 x 7.20 x 0.35 a 0.40 mts., dejándose las preparaciones
necesarias para continuar el armado de los muros.

- Muros, cuyo diseño arquitectónico tiene la finalidad -
de ocultar la parte mecánica de los convoyes, una vez termina-
da la losa de piso se efectúa el traslape de las varillas de --
ésta con las de los muretes o muros laterales, procediéndose pos-
teriormente al cimbrado y colado de dichos muros, quedando así -
concluida la sección, fig. (5.11).

5.5) Procedimiento constructivo elevado

Una vez retirados del área los obstáculos, tales como ár-
boles, carpeta asfáltica, guarniciones, etc., en donde se aloja-
rá la zapata de cimentación y teniendo localizados sobre el eje
del viaducto, el eje de apoyo, se procede a localizar todos y --
cada uno de los ejes de los pilotes que deberán hincarse.

Teniendo terminada la localización de los pilotes se pro-
cede a realizar un trazo con cal de 0.50 x 0.50 mts. con una es-
taca o una varilla para marcar el centro, que vienen siendo los

SOLUCION SUPERFICIAL

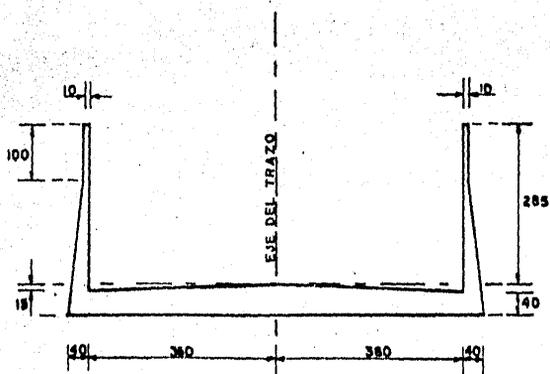


Figura 5.11

ejes de cada pilote a hincarse, ésto es con el objeto de que al entrar la piloteadora sea sencillo la localización del trazo del pilote a hincarse fig. (5.12).

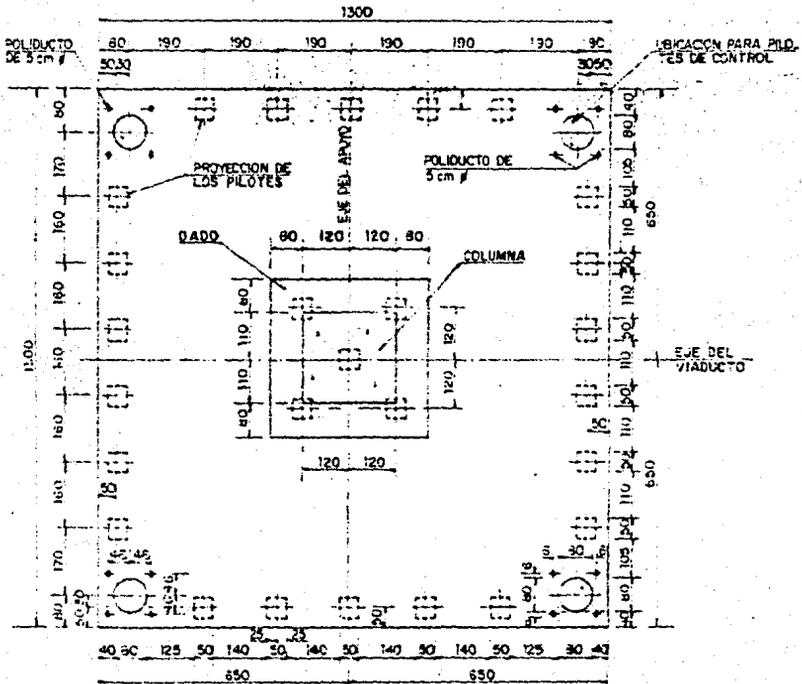
5.5.1) Hincado de pilotes

Cada apoyo es de dimensiones variables, al igual que del peralte, nos referiremos a uno de las siguientes dimensiones: - 13.00 x 13.00 x 1.15 mts., con 23 pilotes de 24.50 mts. de longitud cada uno.

Se utilizan pilotes de sección cuadrada de 50 x 50 cms., de concreto armado, estos pilotes de fricción van hincados a golpes desde la superficie del terreno natural, los pilotes están constituidos por dos tramos, un tramo inferior de 13 mts. de longitud constante y un tramo superior de longitud variable, para efectuar la unión del tramo inferior del pilote, deberá estar hincado por lo menos 12 mts., esta unión se efectúa mediante dos placas de acero de 1.3 cm. de espesor cada una, que son soldadas para tener continuidad estructural.

Antes de iniciarse el hincado, se realiza una perforación previa de 0.46 mts. de diámetro a una profundidad que para cada columna es equivalente a $\frac{2}{3}$ de la longitud del tramo inferior del pilote, más la profundidad de desplante de la zapata (2.20 mts. aproximadamente). Hincándose en primer lugar los pilotes del centro y posteriormente los de la periferia, empezando en cualquier esquina y continuando en un mismo sentido de giro,-

Figura 5.12



si se hincan primero los pilotes de la periferia, al hincar los del centro se necesitará más energía para continuar el hincado, con una profundidad promedio de 23 mts., siendo también su número por zapata variable, el promedio de éstos es de 26 por zapata.

Los pilotes son de concreto f'c de 200 kg/cm² con tamaño máximo del agregado de 3/4" y acero de refuerzo fy de 4,000 kg/cm². El proceso de hincado de los pilotes se efectúa con 2 dragas, una para el movimiento de los pilotes, la otra para la piloteadora y una perforadora.

El desplome máximo permisible del eje longitudinal de los pilotes es de 1% de la longitud total, para que el pilote trabaje de acuerdo al proyecto.

Antes de iniciarse el hincado de los pilotes, se debe proteger el cabezal del pilote con un colchón compuesto de 3 capas de madera de 5 cm. de espesor, unidas cada una de ellas firmemente y sobre las cuales se colocan unos capuchones metálicos. En caso de que el colchón se dañe, debe de reponerse inmediatamente para evitar daños estructurales de consideración en los pilotes. La altura de caída del martillo no debe exceder de 1.00 metros, lo que podría causar daños estructurales en el pilote.

Una vez que ya se tengan hincados todos los pilotes a su profundidad de proyecto, y con el objeto de lograr una adecuada continuidad estructural entre la zapata de cimentación y la cabe

za de los pilotes, se demolerá la parte superior de éstos hasta alcanzar el nivel de desplante de la zapata.

En el nivel de desplante del pilote se permite una tolerancia de + 20 cm.

En caso de que en éste nivel el concreto presente agrietamiento por hincado, es necesario seguir demoliendo el pilote hasta descubrir el concreto sano, debiéndose volver a colarlo para ligarlo al resto de la estructura.

Ningún pilote puede levantarse del sitio de fabricación ni tampoco hincarse, si el concreto que lo constituye no ha alcanzado la resistencia especificada de proyecto que corresponde a 14 días si es concreto rápido, y 28 días si es de concreto normal; ya que en este tiempo obtenemos las características necesarias del pilote.

Todo pilote cuya integridad estructural resulte dudosa por daños sufridos durante su manejo o hincado, deberá reemplazarse por otro nuevo, ya que si tuvieramos un pilote fracturado, no reúne las características necesarias de trabajo.

Posteriormente, se efectúan pruebas de carga a los pilotes, los pilotes de prueba deben ser del mismo tamaño y material, hincándose con el mismo equipo y procedimiento que los pilotes definitivos.

5.5.2) La zapata

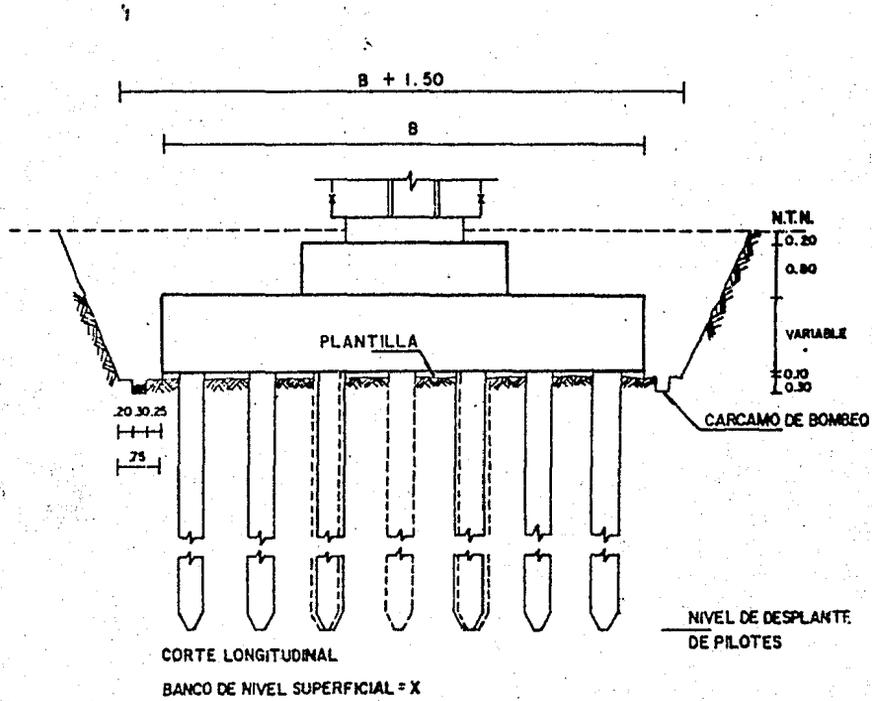
A continuación se realiza la excavación a cielo abierto para la construcción de la zapata, limitada por taludes de 0.5:1 horizontal a vertical.

El ancho máximo de la excavación en el fondo será igual al ancho de proyecto de la zapata más 1.50 mts. Esta excavación no podrá realizarse si antes no se tienen hincados todos los pilotes de la zapata. Para evitar inundaciones en la zapata por filtraciones de agua freática o por las aguas de las lluvias, habrá la necesidad de construir 2 cárcamos de bombeo para lograr controlar dichas filtraciones de 0.30 x 0.30 x 0.30 mts., los cuales van conectados por medio de una zanja rellena de grava. Desde dichos cárcamos se extraerá el agua producto de las filtraciones o de las lluvias mediante el uso de bombas autocebantes de 2" de diámetro fig. (5.13).

Este control de filtraciones deberá iniciarse desde el momento en que se alcanza la máxima profundidad de excavación en cada zapata y deberá suspenderse cuando se proceda a la colocación del relleno de las mismas.

En la etapa inicial, se excava la mitad del ancho total de la zapata hasta la profundidad de desplante colocandose una plantilla de concreto pobre con acelerante de fraguado, con 10 cm. de espesor. Dos horas después se demuele la parte superior de los pilotes (de 1.00 mt.).

Figura 5.13



En la segunda etapa, simultáneamente a la demolición se continúa con la excavación restante. Las dimensiones de la zapata son variables, entre 9.5, 10.5, 11.5 y 13.5 mts. por lado -- para tramo y para estación de 14 por 14 mts. y peraltes de 1.10, 1.15 y 1.20 mts.

Una vez terminado con el descabece de los pilotes, se procede al habilitado del acero de refuerzo y al cimbrado de la zapata, para vaciar un volumen aproximado de 200 metros cúbicos de concreto.

En cada una de las cuatro esquinas se dejan unas perforaciones de 0.80 mts. de diámetro por la altura de la zapata, con la finalidad de preveer posteriormente en caso necesario la colocación de pilotes de control como se muestra en la figura 5.12, por si hubiera asentamientos de la zapata de cimentación, ya sea durante el proceso constructivo de la obra, o bien ya que este - funcionando la línea y así corregir dichas asentamientos futuros.

Con el objeto de observar la magnitud de los movimientos que se presenten posteriormente a la construcción de la zapata de cimentación, deberán de instalarse 4 bancos de nivel localizados uno en cada esquina de la zapata. Estos bancos estarán señalados con pintura y deberá tenerse cuidado de que no se borren - durante todo el proceso constructivo de la cimentación. Antes de iniciar el relleno, las cotas de estos bancos se trasladarán al dado y posteriormente cuando el relleno alcance el nivel de -

éste, deberá ubicarse éstas cotas en la columna en un punto situado a 1.00 m., arriba del nivel del camellón con la finalidad de no perder la continuidad de las lecturas.

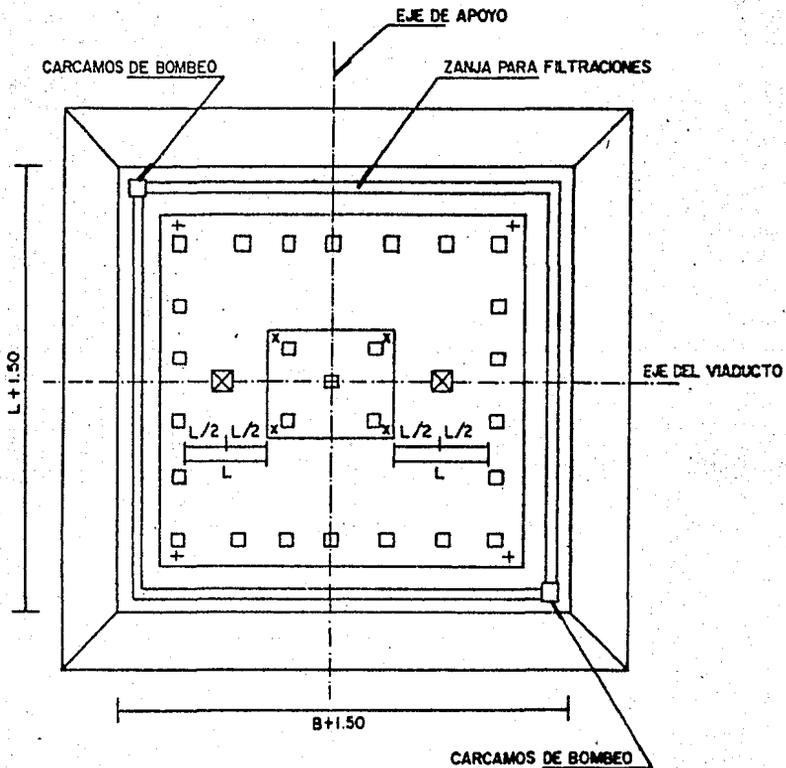
La frecuencia de las lecturas será de tres veces por semana después de colada la zapata y hasta el colado de la columna una vez por semana, y una vez por semana desde el colado de la columna hasta el colado de la trabe. Posteriormente una vez cada 15 días hasta la terminación del colado de los parapetos y la colocación del balasto, una vez al mes hasta el inicio de la operación del sistema, dos veces al mes durante el primer año de operación del sistema, y posteriormente una vez cada seis meses.

Así mismo con el objeto de conocer la distribución de presiones de la zapata de cimentación sobre el terreno, se instalarán en varias columnas de la línea, 2 gatos planos entre el fondo de la excavación y la plantilla de concreto pobre. Las mangueras de los gatos se pasarán a través de la zapata y se tendrá especial cuidado en impermeabilizar los puntos de cruce. La posición de éstos gatos se indican en la fig. (5.14).

5.5.3) El dado

A continuación se procede al armado, cimbrado y colado del dado, elemento que liga la zapata con la columna y es de las siguientes dimensiones 3.80 mts. en el sentido longitudinal al eje del viaducto y 4.00 mts., en el transversal con un peralte

Figura 5.14



SIMBOLOGIA

- B = ANCHO DEL PROYECTO
- + = BANCOS DE NIVEL SUPERFICIAL
- ⊗ = GATOS PLANOS

de 0.80 mts., y con un vaciado de 12.16 metros cúbicos de concreto, se coloca previamente un dren para aguas pluviales de 15 cm. de diámetro que queda ahogado en el dado y la columna.

Se deja la preparación para el armado de la columna, logrando así tener una continuidad estructural, esto es que el -- armado de la zapata, dado y columna, se hace integral y éste a -- su vez se liga con las varillas que quedan de la demolición de -- la cabeza de los pilotes.

5.5.4) Columnas

En vista de la necesidad de conservar el mayor número posible de carriles de circulación en las calles donde se empleará esta solución, llevó a la decisión de utilizar una sola hilera -- de columnas de apoyo, en forma similar a lo observado en algunos otros metros elevados del mundo que fueron objeto de estudio previo, como los de Rotterdam, Marsella y San Francisco. Como se -- comentó anteriormente, al armar la zapata de cimentación y el dado, se deja una preparación para posteriormente terminar el armado de la columna, la cual se termina colocándole los estribos.

Las columnas para el metro elevado son de altura varia-- ble dependiendo del perfil del terreno de 5.15 a 5.55 mts., de-- jando un claro vertical de 5.00 mts. para el paso de vehículos -- bajo las trabes, una de sus caras es de forma rectangular de -- 2.40 mts., esta cara es paralela al eje del viaducto fig. (5.15), la otra cara que es perpendicular tiene 2.20 mts., quedando en -

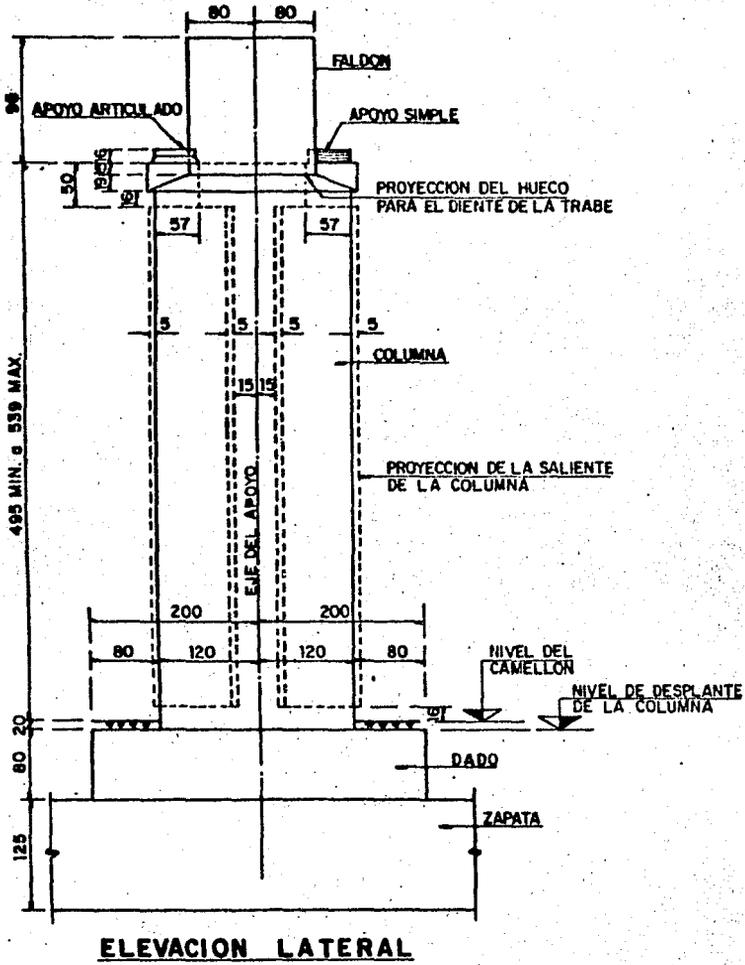
ambos lados 80 cms. de claro entre el extremo del lado y el de la columna, es de forma trapezoidal con pendiente de 1: 7.5 horizontal a vertical con la finalidad de obtener una sección óptima en la trabe. Se le da una saliente de 5 x 15 cms. en el sentido del eje del viaducto, con el fin de darle un mejor aspecto al acabado de las columnas.

En la parte superior de la columna se le deja un hueco en el centro de la misma por ambos lados respecto al eje del viaducto de 1.20 mts. de ancho por 0.50 mts. de altura y 0.57 mts. de profundidad con la finalidad de colocar ahí el diente de la trabe. En dicho hueco se colocan dos placas de neopremo de 1.2 x 50 x 57 cm. con el fin de evitar algún juego entre la trabe y la columna.

Las columnas estan provistas de dos apoyos en la parte superior, uno simple y otro articulado figs. (5.15) y (5.16).

El apoyo simple consiste en 7 placas, en donde 2 son de neopremo de 0.3 x 45.0 x 48.0 cms., 3 de acero de 0.3 x 44.0 x 79.0 cms. y por último 2 de neopremo de 1.3 x 45.0 x 80.0 cms. que van vulcanizadas para formar una sola pieza. Con la finalidad de tener cierta libertad de desplazamiento cuando se requiera, evitando que la columna se entere de dichos desplazamientos, buscando que no se presenten efectos de cortante entre la trabe y la columna, y que trabaje por separado cada elemento, ya que la columna, el dado, la zapata y los pilotes están ligados estructuralmente formando una sola pieza.

Figura 5.15



El apoyo articulado está formado de 21 placas, las cuales son: 11 de acero de las siguientes dimensiones 0.3 x 44 x 79 cms., 10 de neopreno de 1.3 x 45 x 80 cms., las 23 placas también van vulcanizadas para formar una sola pieza que constituye un apoyo de neopreno, con la misma finalidad del apoyo simple.

Estas placas se colocan sobre un mortero de cemento-arena en relación 1:2 con aditivo estabilizador de volumen el cual tiene un espesor de 22 cm. Para el apoyo articulado este mortero se coloca sobre una superficie picada y limpia, con el objeto -- que dicho mortero penetre y tenga una adherencia con el concreto de la columna.

5.5.5) Trabes

Una vez definido el apoyo en una sola hilera de columnas, se procede a analizar las distintas alternativas posibles para las trabes, tanto desde el punto de vista del material a emplear: acero, concreto pretensado, concreto postensado, o acero pretensado, como desde el punto de vista de la sección transversal: -- viga I, viga T, o cajón, y de los claros que podrían salvarse. -- Se analizó también la posibilidad de usar estructuras tipo Gerber.

Las alternativas estudiadas fueron las siguientes:

1.- Estructura Isotática: Vigas libremente apoyadas sobre columnas, con las siguientes variantes en claros y sección:

- a) Precolada pretensada a base de cuatro cajones de sección reducida uno bajo cada eje de rodamiento, con claros de 20, 25 y 30 mts. unidos por una losa colada sobre ellos con ancho total de 8 mts.
- b) Precolada pretensada a base de 2 cajones de mayor dimensión cuyas almas coincidan con los ejes de rodamiento, con claros de 20 y 25 mts. unidos por una losa colada sobre ellos.
- c) Cuatro vigas I de acero con una losa de concreto colada sobre ellas con claros de 20, 25, 30, 35 y 40 mts.
- d) Cuatro vigas I de acero pretensado, con losa colada sobre ellas con claros de 30, 35 y 40 mts.
- e) Cajón postensado colado en sitio, con cuatro nervaduras coincidentes con los ejes de rodamiento, en claros de 25, 30, 35 y 40 mts.
- f) Cuatro vigas T precoladas, pretensadas, con claros de 20, 25 y 30 mts., unidas por tramos de losa colada en sitio.

2.- Estructura isostática tipo el Metro de Rotterdam, consistente en tramos simplemente apoyados en los extremos de un cabezal colado sobre columnas. El voladizo de los cabezales a cada lado de la columna se hizo variar entre 2 y 5 mts. Las secciones de los tramos de trabe eran similares a las de la alternativa

tiva 1.

3.- Estructura Isotática de claros desiguales: 35-15-35, 40-15-40 mts., con voladizos de 7.5 mts. de cada lado.

Esta alternativa se estudió únicamente para sección de cajón postensado, en sitio, de cuatro nervaduras. Las dos columnas podrían ser sustituidas por apoyos en forma de V.

4.- Solución tipo Gerber, constituida por tramos de viga apoyados sobre columnas con voladizo a cada lado, que reciben tramos simplemente apoyados en sus extremos. Esta solución fue estudiada únicamente para sección de cajón colado en sitio, postensado, de cuatro nervaduras.

5.- Solución similar a la anterior pero haciendo las vigas continuas con las columnas y articulando éstas en su base.

6.- Estructura con columnas articuladas en su base y claros desiguales con sección de cajón postensado colado en sitio, continuo con las columnas.

7.- Estructuras de viga continua, sección de cajón postensado.

Se hizo una comparación económica de las distintas alternativas estudiadas tomando en cuenta las cantidades de materiales necesarios por Kilómetro de línea, en cimentación (zapata, dado y pilotes) y superestructura (columnas, cabezales en su --

caso, trabes y losas) tanto de concreto colado en sitio, como -- precolado o acero estructural, para los distintos claros estudia dos y para soluciones a base de concreto ligero hecho con agrega dos de arcillas expansivas o concreto de peso volumétrico normal y tomando en cuenta la posibilidad de que se suprimiera o no el balasto para la colocación de la vía.

Se tomaron también en cuenta las dificultades de tipo -- constructivo, los equipos de construcción que sería necesario -- utilizar en cada solución, grúas, juegos de cimbra, etc.

Se optó por utilizar la solución isostática que tolera - fácilmente hundimientos diferenciales y permite la solución de - cimentación con pilotes de fricción. Desde el punto de vista -- sísmico, en dirección de la línea se puede hacer suficientemente resistente sin incrementos importantes de costo.

Por lo que respecta a la sección transversal de la tra-- be, se decidió emplear el cajón colado en sitio postensado, pues to que las soluciones a base de tramos precolados pretensados, - presentaban una serie de dificultades desde el punto de vista de transporte y montaje, que incrementaban el costo excesivamente. - En esta selección influyó también la gran rigidez torsional de - la sección en cajón, comparada con las soluciones de vigas o ca- jones aislados.

Solo en ciertos casos particulares, en que no sea conve- niente el uso de cimbra por interferir de manera importante con

la circulación normal de vehículos, o por la existencia de vías y espuelas del tren, etc. se utilizan traveses de acero, que una vez montadas en su sitio se les dará un terminado que no difiera de la apariencia de toda la línea.

Para cumplir con requisitos de deformación compatibles con la operación de los carros, resultó necesario incrementar el espesor de la losa superior para aumentar el momento de inercia, lo que permitió eliminar una de las nervaduras, quedando la solución definitiva con 3 nervaduras, losa superior con doble voladizo y losa inferior formando el cajón con las nervaduras. Con objeto de darle rigidez a la trabe, se colocaron dos diafragmas intermedios de 30 cms. de espesor y dos diafragmas extremos de 80 cms. de espesor cada uno.

El apoyo de las traveses sobre las columnas está constituido por dos conjuntos de placas de neopreno y acero en cada extremo. En el lado norte el espesor total del apoyo es de 16.3 cms., con objeto de limitar los desplazamientos horizontales y que funcione como apoyo articulado; en el lado sur el espesor total es de 4.1 cms., lo que da la libertad de desplazamiento horizontal necesario para considerar este apoyo como deslizante; la separación entre conjunto de placas en dirección perpendicular a la línea es de 2.50 mts. a ejes fig. (5.16).

La transmisión de la fuerza cortante en dirección transversal a la línea se logra mediante un dentellón que sobresale -

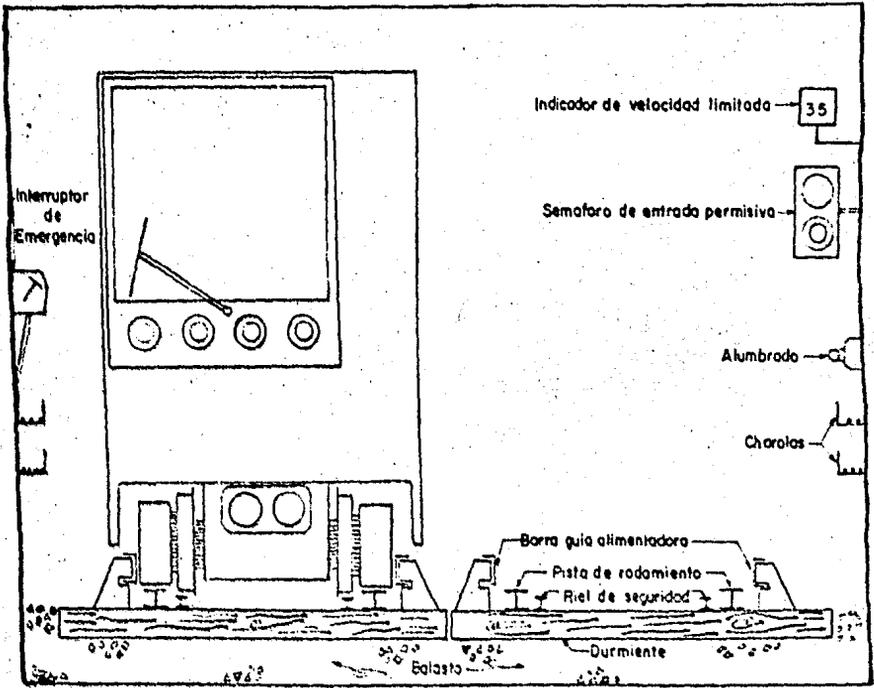
de los diafragmas extremos de las traves y encaja en una preparaci3n dejada al colar las columnas. Adem3s para evitar la ca3da de una trabe en direcci3n longitudinal durante movimientos s3smicos extraordinarios, se prolonga 50 cm. la longitud de apoyo por medio de m3nsulas y se utilizan barras de acero para unir una trabe con otra fig. (5.17).

As3mismo se han previsto preparaciones en todas las traves para colocar gatos hidr3ulicos planos entre trabe y columna, para un eventual cambio de apoyos de neopreno que sea necesario efectuar durante la vida de la estructura.

Las dimensiones de la columna en el extremo superior est3n regidas por los espacios entre traves para poder postensarlas, y por la separaci3n entre apoyos perpendicularmente a la l3nea para tomar eficientemente el momento de cabeceo y de sismo - la secci3n obtenida por requisitos estructurales era de menores dimensiones, por lo que se pod3a optar por hacer una columna de secci3n constante con m3nsulas en el extremo superior para satisfacer los requisitos constructivos, o bien, hacerla de secci3n variable reduci3ndola del extremo superior hacia la base, por razones arquitect3nicas se opt3 por esta 3ltima soluci3n.

En los tramos en tangente, las traves postensadas de concreto armado coladas en sitio, tienen una longitud de: 25.00, 30.00 6 35.00 mts., un peralte total de 2.20 mts., tienen 8.65 mts. en la parte superior incluyendo parapetos, con voladizos --

Figura 6.1



simétricos; el ancho en la parte inferior es de 5.55 mts. En estas taciones el ancho total en la parte superior aumenta a 14.50 mts. para dar cabida a dos andenes laterales; el ancho en la base es de 8.95 mts. y la losa superior se une con la inferior por medio de paredes inclinadas. El cajón en este caso tiene 4 nervaduras unidas por diafragmas extremos y 4 intermedios; el peralte total es también de 2.20 mts.

Con un peso aproximado de 433 toneladas, para una trabe de 35 mts. utilizándose 185 metros cúbicos de concreto f'c de 350 kg/cm^2 y 19 toneladas de acero de refuerzo, con un toron de 6.6 toneladas. En los tramos cada trabe postensada consta de 3 nervaduras longitudinales y 4 diafragmas transversales, dos de ellos localizados en los extremos y los otros dos en los tercios del claro figs. (5.18) y (5.19).

El procedimiento para el colado de los apoyos de concreto es de la manera tradicional, pero el colado de una trabe de estas dimensiones tiene particular importancia en el tipo de cimbra a ser utilizada.

Se pensó que tendría que ser una cimbra que además de soportar su propio peso y del concreto, tuviera la facilidad para sus movimientos, así como para sus ajustes y su nivelación. La solución final resultó ser el diseño de 2 tipos de cimbra: cimbra tubular y cimbra estructural.

Figura 5.18

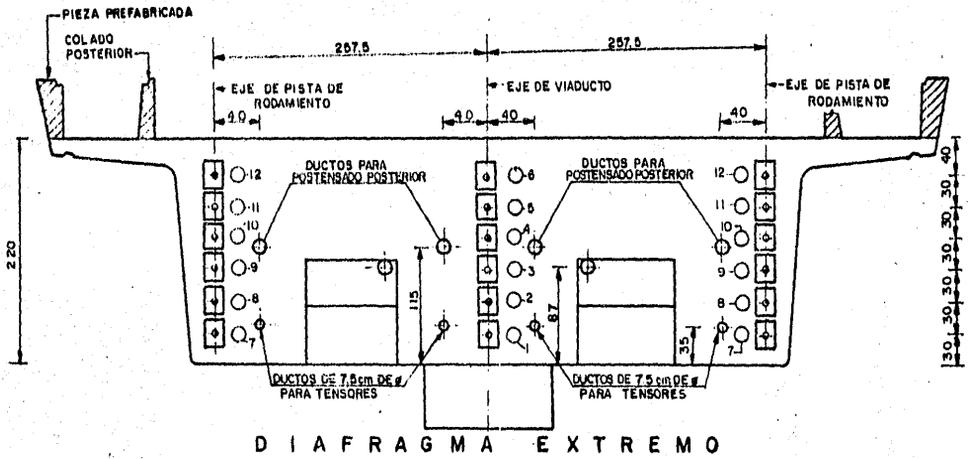
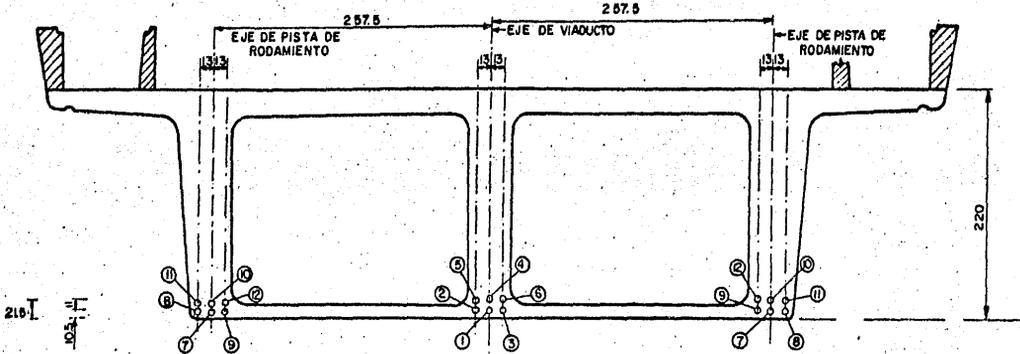


Figura 5.19



DIAFRAGMA INTERMEDIO

Es además necesario el mejoramiento de la superficie de rodamiento. Para la colocación del relleno que constituirá la capa rígida de apoyo, es necesario remover el material que conforma el camellón y realizar una excavación de 40 cms. de profundidad en zonas jardinadas, con el fin de extraer la tierra con material vegetal contados los 40 cms., a partir del nivel superior del pavimento, esa excavación se hace exclusivamente en el ancho del camellón.

Para los casos en donde exista pavimento no se excavará la caja, por lo que se utiliza el mismo pavimento como superficie de soporte de la cimbra.

Se usan dos tipos de cimbra, las tubulares y las estructurales o yumbo, las primeras sirven para atacar todo tipo de trabes del proyecto de longitud diferente en rectas y curvas, así también como claros de estación éstas cimbras están constituidas a base de andamios y marcos tubulares.

Esta cimbra está armada en su totalidad a base de andamios tubulares, que están apoyados en la parte inferior sobre placas de acero para lograr la distribución de cargas y en la parte superior van apoyados en vigas madrinas, en las cuales descansan las placas metálicas. Su ciclo es mayor ya que deben permanecer hasta que se haya efectuado la primera etapa de tensado de cables, la cual puede iniciarse después de 21 días de colada la losa superior.

La cimbra tipo yumbo sirve para atacar trabes rectas de tramo de 30.00 y 35.00 mts. de claro, con curvas mayores de 700 mts. de radio, que son las que predominan en el proyecto, teniendo la ventaja de producir el doble de trabes que la cimbra tubular por el sistema de apuntalamiento que lleva.

Está constituida por una estructura de acero en su totalidad, que consta de 12 trabes (4 intermedias y 8 extremas) a las cuales se apoyan los bastidores de la cimbra de contacto; 4 columnas centrales de carga; 2 columnas con capitel; 24 patas con ruedas para su transporte; 2 juegos de basamentos y un juego de tacones.

El colado de la trabe se realiza en tres etapas: En la primera se cuela la losa de fondo, nervaduras y diafragmas.

Después de que ha sido colocada la cimbra necesaria y una porción de acero de refuerzo ha sido puesta, los cables completos se colocan en posición en sus trazos correspondientes, se debe tener mucho cuidado de evitar daños en los ductos. Las placas de anclaje se fijan rígidamente a las tapas externas de la cimbra, y los componentes del anclaje se localizan con exactitud dentro de sus embudos, mediante dispositivos de ensamble provisionales, tan pronto como se termina la colocación de los cables, se les inspecciona para comprobar que el ducto está sano y hermético, se completa enseguida la colocación del acero de refuerzo, se cierra la cimbra y se cuela el concreto dejándolo en-

alcanzar hasta alcanzar la resistencia de diseño.

Es decir, como el proyecto es de trabe postensada, que quiere decir una vez colado el elemento se procede a tensarla -- por medio de cables en etapas.

El procedimiento de tensado es como sigue: La barra de montaje se retira; la barra de tensión se enrosca en la cabeza del anclaje ensartándose en ella la tuerca de retención, la tuerca de enmendar (en caso necesario), la silleta del gato, el gato y el dinamómetro; con una tuerca extrema se oprime una pieza contra la otra hasta poner el sistema alineado y fijo. La fuerza se aplica con el gato y se lee en el dinamómetro con una precisión del 1%.

Cuando la carga necesaria en el cable ha sido adquirida, se mide la elongación y el cable se ancla mediante una tuerca -- que se enrosca en la cabeza hasta topar con la placa de anclaje, después de lo cual el aparejo de tensión puede desmantelarse. -- El procedimiento se repite para cada cable.

Para eliminar pérdidas debidas a la deformación elástica los cables son a veces retensados siguiendo la misma secuencia. -- Después de terminado el preesfuerzo los cables se inyectan con mortero, la relativamente grande sección del ducto y la omisión de obstrucciones dentro del mismo, hacen esta operación muy simple. En algunos casos especiales puede ser deseable colocar el ducto vacío antes de colar, omitiendo los alambres para su futura inserción. Tres métodos pueden ser adaptados para ellos.

- a) Los alambres se "cabecean" por un solo extremo, mandando sueltos los componentes del anclaje de la parte libre. El cable se introduce en el ducto mediante una gufa, la cabeza fija se coloca entonces y los alambres se cabecean en el lugar, usando una máquina cabeceadora portátil. El embudo de la entrada debe ser suficientemente largo para permitir que ese extremo se introduzca y las puntas libres sobresalgan lo necesario para ser tomadas por la máquina cabeceadora, después de esto el cable se devuelve hasta su posición definitiva.
- b) Se coloca un ducto de grueso suficiente para permitir la entrada de lado a lado del componente básico, al llegar al extremo de salida, esta pieza se conecta con una tuerca de fijación, el cable se tensa desde el extremo de entrada.
- c) Los alambres previamente cabeceados y portando ya una de las piezas del anclaje se introducen por el ducto, que en este caso puede ser de dimensiones normales, y se insertan en los huecos de un anclaje tipo estrella, el cable se tensa desde el lado de entrada. Este último procedimiento se usa actualmente sólo para cables de capacidad inferior a las 50 tons. (12 alambres de .7 mm. de diámetro).

Para efectuar el tensado de la trabe es necesario que ésta esté colada en sus dos etapas (colado de nervaduras y diafragmas y colado de losa tapa). Es necesario que hayan transcurrido cuando menos 21 días a partir de la fecha de colado de la losa y que el concreto tenga una resistencia mínima del 90% de la resistencia de proyecto.

Se tensarán primeramente los cables 1, 2, 3, 7, 8 y 9. Posteriormente se tensarán los cables restantes 4, 5, 6, 10, 11 y 12, figs. (5.18) y (5.19), cuando el concreto tenga una resistencia del 100% de su resistencia de proyecto, es decir de 350 kg/cm^2 y hayan transcurrido cuando menos 90 días a partir del colado de la losa.

Con un tamaño máximo del agregado grueso de $3/4''$ y un revenimiento de 5 cm. que se aumentará hasta 12 cm. se utiliza un fluidizante para facilitar el bombeo del concreto.

En la segunda etapa se cuela la losa superior de la trabe, prácticamente este colado es el complemento de la primera etapa para dejar la trabe completamente terminada y 21 días después del colado de la losa proceder a tensarla en su primera y segunda etapa. El concreto a utilizar es exactamente igual al de la trabe en el colado de la primera etapa. El acero de refuerzo en esta segunda etapa consiste en dos lechos superior e inferior, el cual va ligado al acero de refuerzo de la primera etapa de armado; esto es para lograr una adecuada continuidad es

estructural esta unión se hace en las tres nervaduras así como en los cuatro diafragmas.

En la tercera etapa se puede decir que son colados complementarios y se realizan al tener colada la trabe completamente, estos elementos son las ménsulas parapetos y muretes.

Las ménsulas son el colado de unión entre trabe y trabe. Los parapetos en su principio se proyectó de que iban a ser colados en sitio cambiándose el proyecto, para ahora instalarse piezas precoladas.

Los muretes así como la tapa de los mismos nos servirán como andadores por el tramo y por dentro de estos se colocarán las diferentes instalaciones que sean requeridas para las construcciones electromecánicas y electrónicas de señalización.

5.5.6) Selección del procedimiento constructivo para la línea 4

En la selección del procedimiento constructivo intervienen varios factores de carácter económico, político, social, técnico (Modelo de Simulación), trazo elegido, Plan Maestro de la ciudad de México y Plan Maestro del Sistema de Transporte Colectivo (Metro).

Del análisis de estos factores como se vio en los capítulos anteriores, se determinará el procedimiento constructivo a seguir.

La zona Norte de la ciudad es la que requiere inicialmente más de este servicio de transporte colectivo, conforme a los estudios realizados de acuerdo al Plan Maestro de la Ciudad de México y del Plan Maestro del Sistema Transporte Colectivo Metropolitano, así como los socio-económicos.

Para tomar una solución una vez realizados los estudios previos se deberá elegir entre las alternativas; Superficial, Subterráneo y Elevado.

El procedimiento constructivo superficial, requiere de un cierto ancho de vía, 30 mts., en promedio. Y las afectaciones correspondientes para las estaciones y obras inducidas.

Además se requiere de cruces de avenidas perpendiculares, a falta de éstos se requiere la construcción de pasos a desnivel necesarios, incrementando con esto los costos.

Para elegir este procedimiento constructivo sería conveniente que fueran las avenidas como en la de Tlalpan o Insurgentes Norte (tramo comprendido entre Monumento a la Raza-Indios Verdes).

Por lo tanto quedan dos opciones Subterránea y elevada. En el procedimiento constructivo subterráneo, se requiere un ancho de vía de 13 mts. en promedio, saber el tipo de suelo de que está formado el terreno, también es muy importante para la construcción del cajón.

Su costo es mayor que el superficial, se requiere hacer afectaciones para las estaciones, desviar instalaciones subterráneas; hidráulicas, sanitarias, eléctricas, telefónicas, de gas y otras, estas serían temporales o permanentes, ya que tiene que liberar el paso para los cajones del Metro, además se hacen otros estudios técnicos.

Se piensa entonces tomar en cuenta la opción de hacerlo elevado, para esto se estudian varias alternativas de diseño. -- Por ser éste un proyecto nuevo en México de este tipo, se requiere de una asesoría y opinión la cual es francesa, para hacerle algunas modificaciones al proyecto elevado.

Este también para su construcción requiere de obras inducidas como son desvío de instalaciones o corrección de éstas, - pero en menor escala como lo requiere la de cajón.

Con esto se libran la gran cantidad de cruces e interferencias que se presentan en la trayectoria que marca el trazo -- por donde va a pasar, que de acuerdo a su diseño tiene que ser -- una estructura elevada a base de puentes, permitiendo el paso libre tanto en las avenidas como en los cruces de ferrocarril, la ejecución de la obra es más rápida conforme a los estudios realizados y resulta ligeramente más económica que la obra subterránea.

Se toma en cuenta la altura de edificios que hay en la zona destinada en el trazo elegido, el promedio de niveles de --

los edificios es de 4 niveles, por lo cual se trata de evitar -- que se forme una caja de resonancia (ruido), por causa de los -- vehiculos que lleguen a pasar por ahí en la avenida y por el mismo Metro una vez realizado el proyecto.

Dos problemas fundamentales rigieron la elección de la - estructura a emplear, el problema de cimentación por el tipo de suelo altamente comprensible en que se desplantará la mayor parte de la línea y el problema sísmico.

El diseño y proceso constructivo tiene que adaptarse a - las características y capacidad de carga del suelo de la ciudad de México. Además la vista arquitectónica se incrementa en esta zona, ya que actualmente carece de ésta y el tipo de proyecto -- del Metro no concuerda con la que existe actualmente, y le daría a esta zona un toque futurista.

Se elige entonces por las razones de Planeación, Proyec- to, Economía, Políticas a seguir, Plan Maestro de la Ciudad de - México y Plan Maestro del Sistema de Transporte Colectivo, que - la construcción de la línea 4 sea del tipo elevado.

VI SELECCION DEL EQUIPO ELECTROMECHANICO

6.1) Descripción

La función primordial del Metro es la de transportar el mayor número de personas en el menor tiempo posible, con el mayor índice de seguridad. Para esto, la operación de cada línea cuenta con sistemas como la señalización, pilotaje automático, mando centralizado y telecomunicaciones, para regular la circulación de los trenes en toda la red.

En general las instalaciones básicas con que debe contar un sistema de transporte colectivo como lo es el Metro de la Ciudad de México son:

- a) Instalaciones de alimentación eléctrica en alta y baja tensión.
- b) Subestaciones de alumbrado y fuerza en estaciones y talleres.
- c) Instalación de alumbrado y fuerza en:
 - Estaciones
 - Tramos.

- Talleres.
 - Puesto central de control.
 - Edificios y estacionamientos.
- d) Subestaciones de rectificación.
- e) Instalaciones de tracción en corriente directa.
- f) Proyecto electromecánico de talleres y depósitos para el material rodante.
- g) Alimentación y subestaciones en cárcamos, pasos, entronques y puentes.
- h) Instalaciones de ventilación en estaciones y tramos subterráneos, en subestaciones, locales técnicos, puesto central de control y otros edificios.
- i) Sonorización de estaciones.
- j) Telefonía automática e intercomunicación en estaciones, locales técnicos y edificios.
- k) Instalaciones de control de:
- Mando centralizado.
 - Telecomunicaciones.
 - Puesto central de control.
 - Señalización de esparcimiento y maniobra.
 - Pilotaje automático.

- l) Alumbrado público en puentes, pasos, entronques y áreas relacionadas con las obras del Metro.
- m) Instalaciones hidráulicas y sanitarias en estaciones, tramos y edificios.
- n) Sistema de protección contra incendio.
- o) Sistema de control de boletos, taquillas y torniquetes.

En cada una de las ampliaciones del Metro, se hacen estudios, análisis técnicos y económicos necesarios para determinar el sistema que convenga adoptar en la alimentación eléctrica, -- las subestaciones de alumbrado y fuerza, y de rectificación, de cada una de las nuevas líneas.

Por medio de experiencias anteriores de técnicos especializados, una vez determinada la longitud total final de cada línea y los tipos de estaciones que la componen, se procedió a estimar la demanda de energía eléctrica de las subestaciones, para alumbrado y fuerza de estaciones y tramos.

Decidiéndose para el proyecto del sistema de transporte colectivo, que ésta alimentación que reciba sea en alta tensión de 23 kv. Así mismo para ello también, se consideró la importancia de la continuidad del servicio y la seguridad de los usuarios, con una alimentación eléctrica en 23 kv.

Las subestaciones de alumbrado y fuerza, se han proyecta do con dos alimentadores en cada extremo de la línea, uno llama do normal o "preferente" y el otro llamado "emergente", controla dos ambos alimentadores por interruptores de transferencia auto mática. En cada extremo, estarán conectados a dos subestaciones de potencia diferentes.

La distribución de energía a lo largo de la línea, se -- proyectó con un sistema tipo anillo abierto, de tal manera, que al ocurrir una falla en un alimentador, ésta se puede aislar, -- alimentando todas las subestaciones desde cualquier extremo o -- bien cuando en el caso de falla total del suministro de energía en tres de los cuatro alimentadores, un solo alimentador tendrá capacidad para poder cubrir las demandas de todas las subestacio nes de alumbrado y fuerza de línea.

Los carros utilizados en el Metro están construidos en - acero, teniendo una longitud de 17.8 mts., los dotados con cabi na y de 16.18 mts. los restantes, y una anchura de 2.5 mts.

Su capacidad normal es de 170 personas por carro, 39 sen tados y 131 de pie, lo que supone una capacidad total normal, - - en un tren de nueve carros, de 1,530 personas. Pero durante las "horas punta" de 6 horas diarias, es usual la ocupación de unos 240 pasajeros que equivale aproximadamente a nueve pasajeros por m², es decir 2,160 pasajeros por convoy.

Esto significa que en términos generales, la ocupación de los carros en dichos lapsos es de 50 a 60% más intensa. Puede decirse que cada ferrocarril metropolitano utiliza los vehículos mejor adaptados a sus necesidades.

Cada carro está soportado por dos bogies y cada uno de éstos está integrado por cuatro ruedas neumáticas, soportadas -- por las pistas y unidas a estas cuatro ruedas de acero más, además de cuatro ruedas guía horizontales también neumáticas, apoyadas en las barras guía situadas verticalmente a los lados, sobre estas barras se apoyan los juegos de escobillas mediante las cuales, y a través de los mecanismos de control, son alimentados -- los motores eléctricos que impulsan los carros.

Los bogies de cada carro motriz cuentan con dos motores de corriente directa, de 150 caballos de fuerza, contando así -- cada carro de este tipo con cuatro motores que totalizan 600 caballos de potencia.

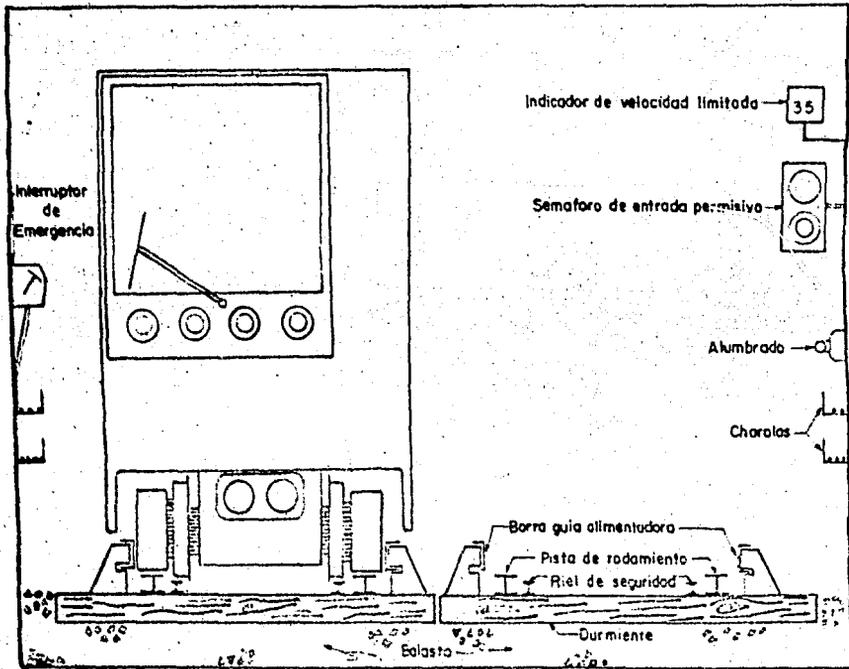
La velocidad que alcanzan estos trenes es de 80 kilómetros por hora como máxima y 35 kms. por hora, como velocidad comercial.

No todos los carros que forman un tren son motrices, de los nueve carros que normalmente forman un convoy, seis de ellos son motrices, los restantes tres carros cuentan con dispositivos de frenado, pero no con motores de tracción. La disposición de cada tren es la siguiente: Dos carros con motores y cabina de --

mando (M), con un peso de 27.3 toneladas cada uno, cuatro carros con motores pero sin cabina de mando (N), que pesan 26.4 tons., - cada uno y tres carros sin motores ni cabina (R), de 19.83 tons., de peso cada uno, el orden de los vehículos es el siguiente; -- M-R-N-N-R-N-N-R-M. Los sistemas de frenado con zapatas actúan sobre las ruedas metálicas, el frenado eléctrico se aplica a la totalidad de los motores del tren, siendo 24 en total.

Las ventajas que se tienen al seleccionar un motor eléctrico son: Su baja producción de ruido, nula producción de gases tóxicos, menor calentamiento y fácil alimentación de energía, en relación con un motor de combustión interna, así como de requerir un menor mantenimiento, fig. (6.1).

Figura 6.1



VII CONCLUSIONES

En los trabajos de Ingeniería Civil se diversifican los siguientes campos; la investigación, planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento. Siendo cada una de ellas, de gran importancia en cada etapa de un proyecto o de una obra por ejecutarse.

Por lo que al hacernos un juicio de la planeación y construcción del cual comprende este tema, enfocado al sistema de comunicación terrestre como lo es el Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México.

Siendo la planeación un proceso de análisis sistemático y documentado, esto es principalmente la recopilación de información previa en dependencias privadas, estatales o en campo, que comprende la localización del lugar mas adecuado para la construcción, así como los beneficios esperados, factibilidad económica, programación de la obra y visualizar de antemano la obra terminada entre otros.

El uso de la computadora en nuestros días favorece gran-

demente en la generación y análisis de alternativas en un tiempo sumamente corto, ya que la gran cantidad de variables que intervienen durante la planeación y programación de una obra, y la interrelación que tienen hace muy difícil su manejo.

De preferencia se debe conocer perfectamente, con amplitud y en profundidad, las características o naturaleza de la obra valiéndose para ello de toda información disponible; como de planos, reglamentos vigentes, especificaciones técnicas, tipos de materiales de obra y otros. Tener una idea clara del entorno social, cultural, geográfico, político y económico de la obra. Y así elaborar presupuestos, seleccionar métodos y procedimientos de construcción, así como el equipo y elaborar programas de ejecución.

Para llegar a fin una buena ejecución de las diversas actividades de que comprende una obra en base a planos de diseño, especificaciones y de acuerdo con la planeación establecida, el Ingeniero organizará los recursos y procedimientos específicos a seguir.

REFERENCIAS

- 1.- FERROCARRILES.
Ing. Francisco M. Tongo.
Editorial Representaciones y servicios de Ingeniería.
México, 1977.
- 2.- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDER--
RAL.
Editorial Porrúa, S.A.
- 3.- INGENIERIA DE TRANSITO.
Rafael Cal y Mayor I.C., I.I.
México, 1972 4a. Edición.
- 4.- COMPENDIO ESTADISTICO DEL TRANSPORTE EN EL D. F.
D. Gral. de Ingeniería de Tránsito.
Depto. del D. F.
México, 1975.
- 5.- ANUARIOS ESTADISTICOS.
D. Gral. de Estadísticas.
Secretaría de Industria y Comercio

- 6.- LA OPERACION DEL METRO DE MEXICO EN 1973
Gerencia de operación del S.T.C. (metro)
1974.
- 7.- RAILWAYS HISTORY.
C. Hamilton Ellis.
Duttonvista London 1966.
- 8.- RAPID TRANSIT RENAISSANCE.
K. A. Godfrey (civil engineering).
New York, 1966.
- 9.- LES METROS DANS LE MONDE .
U.I.T.D.- R.A.T.P.
París, 1974.
- 10.- THE METROPOLITAN LINE.
Ch. E. Lee, F.C. I.T.
London-Transport, London 1973.
- 11.- LE METRO URBAIN.
R.A.T.P.
París, 1971.
- 12.- TECNICAS DE SIMULACION EN COMPUTADORAS.
Nailor, Burdick.
Edit. Limusa.

13.- SISTEM SIMULATION.

G. Gordon (Prentice-Hall).

14.- APUNTES DE SIMULACION DIGITAL.

Por Ing. Leonard Rapopov.

División de estudios superiores

de la U.N.A.M.