

24/18

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



"ANALISIS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS
DE ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA
PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE
COLECTIVO METRO"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :
JOSE MANUEL BECERRA ESPINOSA
LAZARO SALMERON MENDOZA



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.

INDICE

PROLOGO

CAPITULO I ANTECEDENTES.

CAPITULO II INTRODUCCION

II.1 Requerimientos eléctricos del Metro.

II.2 Recursos eléctricos de la Ciudad de México.

II.3 Justificación de la alimentación en 85 KV en la primera etapa

II.4 Alimentación del Puesto de Alta Tensión (PAT)-

II.5 Distribución de la energía desde el PAT a las líneas del Metro.

CAPITULO III ESTRUCTURAS FACTIBLES DE UTILIZAR

III.1 Argumentos a la no conveniencia del primer arreglo de alimentación al Metro.

III.2 Desventajas del arreglo.

III.3 Estructuras propuestas.

CAPITULO IV ELEMENTOS CONSTITUTIVOS EN LA RED DEL METRO.

IV.1 Alimentadores.

IV.2 Subestaciones de rectificación.

IV.3 Subestaciones de alumbrado y fuerza.

CAPITULO V ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA EFECTOS COMPARATIVOS.

V.1 Elementos sujetos al análisis de costos.

V.2 Costos del equipo.

V.3 Análisis de costos por unidad (alimentador).

- CAPITULO VI ANALISIS DE COSTO-CONFIABILIDAD
- VI.1 La continuidad como función de la confiabilidad.
 - VI.2 Pasos a seguir en el estudio de confiabilidad seleccionado.
 - VI.3 Análisis de confiabilidad.
 - VI.4 Tablas y desarrollo de cálculo.
 - VI.5 Resultados.

- CAPITULO VII ANALISIS DE SENSITIVIDAD
- VII.1 Variaciones en las tasas de falla de los componentes.
 - VII.2 Variaciones en el tiempo requerido para las funciones de trabajo.
 - VII.3 Doble contingencia o falla simultánea de dos alimentadores.

- CAPITULO VIII EJEMPLO DE APLICACION.
- VIII.1 Datos necesarios para el análisis.
 - VIII.2 Cálculo del costo real.
 - VIII.3 Cálculo de confiabilidad.
 - VIII.4 Cálculo comparativo de las Figuras de mérito.

- CAPITULO IX CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA.

PROLOGO

El presente trabajo constituye un análisis de varias estructuras de distribución subterránea en términos de confiabilidad y costos, con el propósito de seleccionar un diseño preferente de alimentación al STC Metro.

Este estudio es una aplicación directa de las técnicas desarrolladas por N. E. Chang, usando datos estadísticos nacionales. Cabe señalar que este análisis es novedoso en nuestro país, ya que casi no se conocen estudios que involucren costo y confiabilidad de manera simultánea.

Los resultados de este trabajo pueden utilizarse como marco de referencia para establecer si la alimentación actual al Metro es la óptima, o bien, que ésta pueda cambiarse por otra más económica y con la misma confiabilidad.

El capítulo I es una descripción del incremento demográfico, así como de los problemas viales de la Ciudad de México a partir de 1920, hasta llegar a la necesaria construcción del Metro y sus ampliaciones.

En el capítulo II se explica la forma de suministrar la energía al Metro en su primera etapa, así como los criterios utilizados.

En el capítulo III se proponen las alternativas de alimentación. El siguiente capítulo describe en forma muy superficial como están constituidas las subestaciones de rectifica-

ción, así como las de alumbrado y fuerza.

En el capítulo V se obtienen los costos aproximados de cada una de las alternativas. El sexto capítulo analiza la confiabilidad de cada una de las estructuras propuestas y se obtienen los resultados que determinan cual es la mejor opción.

El séptimo capítulo discute la validez de los resultados del capítulo VI.

El capítulo VIII aplica todo el desarrollo de costo-confiabilidad en un caso real y se define la estructura que debería utilizarse en ese caso.

Finalmente, el capítulo IX expone las conclusiones globales de todo el estudio realizado.

Por último, se desea agradecer a todas aquellas personas que contribuyeron en la elaboración de este estudio. Agradecemos especialmente la valiosa cooperación del personal de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, así como de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro S.A. que desinteresadamente aportaron información y orientación, ya que sin esto no hubiera sido posible la realización del presente trabajo.

Los Autores.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

Afortunadamente la Ciudad de México hasta 1920 careció de uno de los problemas que hoy en día la agobian: el transporte urbano.

En aquella época, la población de la ciudad rebasó el millón de habitantes y a partir de esa fecha, creció con proyección geométrica incrementando los problemas urbanos.

La etapa de desarrollo nacional por la que atravesaba el país, propició muy especialmente en la ciudad de México, el uso del automóvil, de manera que en 1925 existían ya 21 200 automóviles. En la década 1930-1940 varios eventos en la vida capitalina son dignos de mencionar: la población creció hasta 1'760 000 habitantes, el área urbana se extendió a 92 Km² y el número de vehículos aumentó constantemente, haciendo necesaria la construcción de nuevas arterias viales.

A partir de 1946, hicieron su aparición las primeras zonas industriales al norte de la ciudad: la industrial Vallejo en el D.F. y los núcleos de Ecatepec, Tlalnepantla y Naucalpan en el Estado de México. La red vial se extendió para conectar la ciudad con estas zonas, dando lugar a las primeras manifestaciones de conurbación.

En 1948 se inició la construcción de la Ciudad Universitaria, cuya presencia generaría un importante crecimiento de la ciudad hacia el sur. Surgieron nuevas vías de comunicación: División del Norte, Taxqueña, Av. Universidad, Cuitláhuac, Río Mixcoac, etc.

El periodo comprendido entre 1950 y 1964, es seguramente el más importante de nuestra época para la ciudad. El crecimiento demográfico adquirió considerables proporciones, alcanzando una tasa media de incremento superior al 5 % anual.

La población del D.F. que en 1950 era de 3'100 000, llegó en 1960 a 5'240,000 y a más de 6'000 000 en 1964, es decir se duplicó en 14 años, mientras que el área urbana aumentó de 200 a 320 Km² en el mismo periodo. El número de vehículos creció de 130 000 en 1950 a 450 000 a fines de 1964, es decir 3.5 veces. Este crecimiento repercutió notablemente en los problemas de tránsito. Tal cantidad de vehículos circulando en arterias insuficientes, provocó serios congestionamientos.

Las figuras I-1 y I-2 muestran gráficas en las que se pueden comparar tasas de crecimiento de la población y el número de unidades del transporte urbano, respectivamente.

Para solucionar el problema, las autoridades decidieron llevar a cabo, la construcción de las siguientes vías de circulación continua de alta velocidad, destinadas principalmente a los automóviles: el Viaducto Miguel Alemán, el Anillo Periférico y la calzada de Tlalpan.

FIGURA I-1

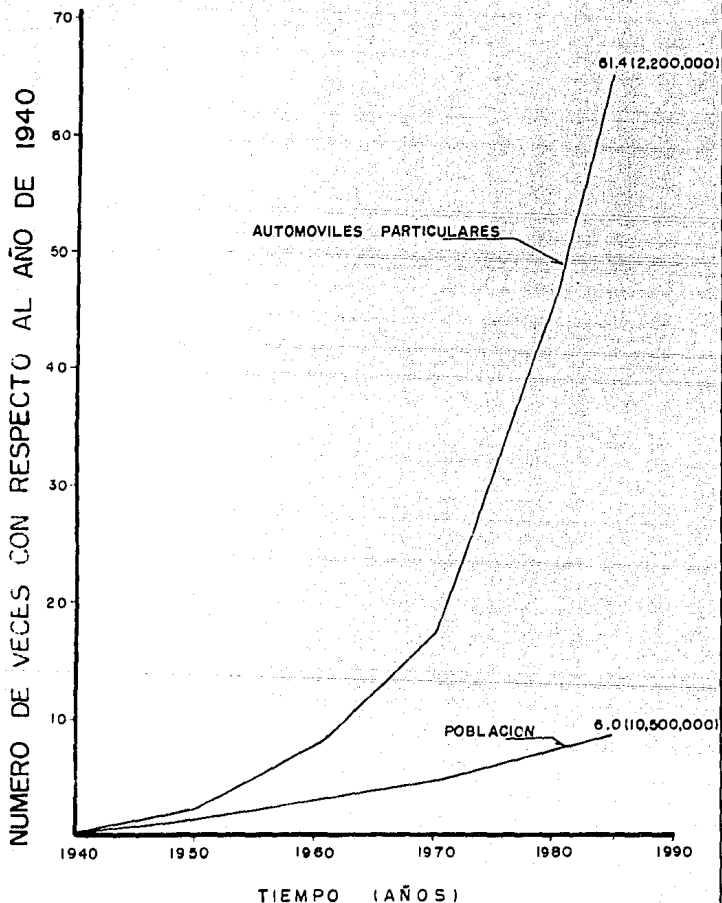
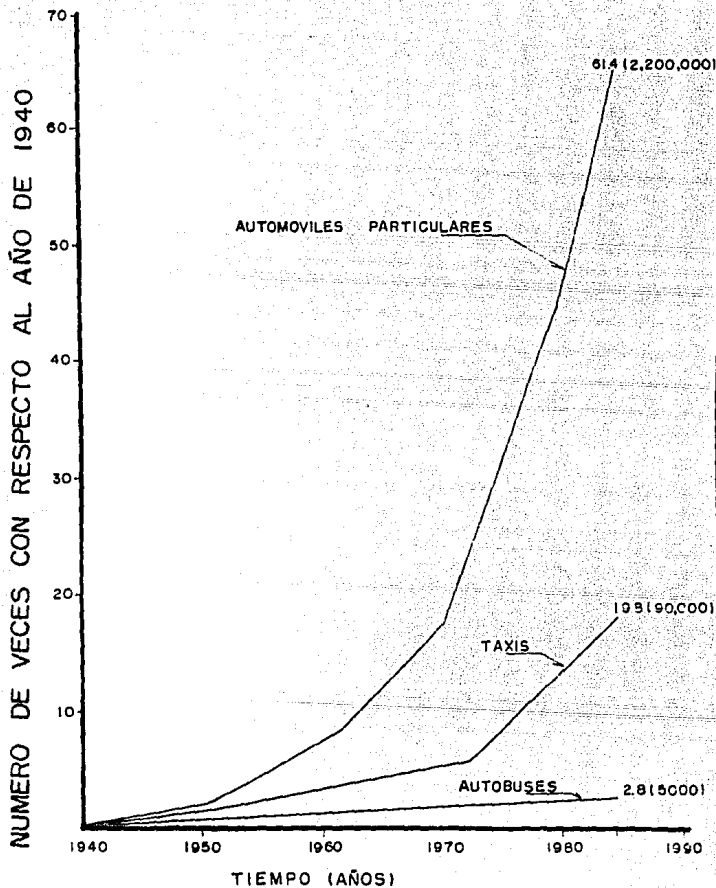


FIGURA I-2



Ninguna de estas Obras sería para transporte masivo de - pasajeros. Fué entonces cuando el Departamento del Distrito Federal tomó la decisión de construir un medio de transporte que respondiera a las necesidades de la creciente urbe capitlina.

En 1967 se crea el Sistema de Transporte Colectivo Metro como resultado de estudios iniciados en 1958. Durante este lapso se analizaron los problemas técnicos, económicos y fi - nancieros; apoyándose en una investigación colectiva de otras tantas ciudades, para conocer sus orígenes, desarrollo y expe - riencias acumuladas adaptándolas a nuevas características.

En junio de 1967 se iniciaron los trabajos de la línea 1 (después de haber analizado 30 alternativas de trazo), la cual cubría las necesidades más urgentes de transporte colectivo y solucionaba al mismo tiempo los problemas de congestionamiento de la zona central de la ciudad.

Posteriormente se construyó otra línea y un tramo de una tercera. Todo esto dentro de la primera etapa del Metro la - cual se puso en servicio entre 1969 y 1970.

Durante el periodo de 1970 a 1976 no se le dió la impor - tancia debida a este proyecto, y como consecuencia hubo una - paralización en las obras de construcción.

Fue hasta 1977 cuando se decidió continuar la ampliación de la red del Metro; procediendo al análisis y actualización de los problemas de vialidad y transporte urbano, tomando en cuenta el crecimiento demográfico, territorial y el número de vehículos, así como también las obras viales realizadas durante ese periodo.

La segunda etapa del Metro contempló las siguientes -- obras: prolongación de la línea 3 al norte y al sur, así como las nuevas líneas 4, 5 y 6. Esta etapa en su conjunto tiene un desarrollo de 44.6 Km de longitud que sumados a los 41.5 - Km de la primera etapa totalizan 86.1 Km, con una capacidad de transportación de 5 millones de usuarios puesta en operación entre 1978 y 1982.

Antes de finalizar la segunda etapa se observó que lo realizado todavía no era suficiente para resolver a corto plazo el problema que vive la ciudad por falta de transporte colectivo suficiente y eficiente. Fue por esta razón por lo que se proyectó una tercera etapa que complete la segunda y que permita transportar 1.5 millones más de pasajeros.

La tercera etapa de ampliación del Metro está constituida por las ampliaciones de las líneas 1,2,3 y 5 así como la construcción de la parte central de la línea 7.

Esta tercera etapa totaliza 26.4 Km de longitud, fue concluida y puesta en servicio en 1985.

Actualmente se construye la cuarta etapa del Metro (parte se encuentra en operación) la cual contempla la ampliación de la línea 6 al oriente, la 7 al norte, así como la construcción de la línea 9; esta etapa estará totalmente terminada en Octubre de 1988.

Todas estas etapas de ampliación forman parte de un proyecto global llamado "Programa Maestro del Metro", el cual -- constituye la estructura principal del sistema de transporte-masivo en la ciudad de México y que tiene como uno de sus -- principales objetivos el de definir una política de amplia- -- ción de las líneas, la cual se adecúa según cada necesidad.

El Metro con sus grandes ventajas, por si solo no resuelve el problema del transporte urbano, pertenece a un conjunto constituido por el transporte de superficie, del cual también forman parte los trolebuses, autobuses, tren ligero, vehícu - los particulares y en un futuro el Metro Ligero. El punto - más importante consiste en coordinar adecuadamente todos los - sistemas para aumentar la eficiencia en forma general.

La figura I-3 muestra el avance sistemático que ha tenido el Programa Maestro del Metro mediante las etapas de construcción, y a su vez la figura I-4 muestra el programa en su forma integral.

FIGURA I-3
ETAPAS DE AMPLIACION.

SIMBOLOGIA.

- ++++ PRIMERA ETAPA
- SEGUNDA ETAPA
- TERCERA ETAPA
- CUARTA ETAPA

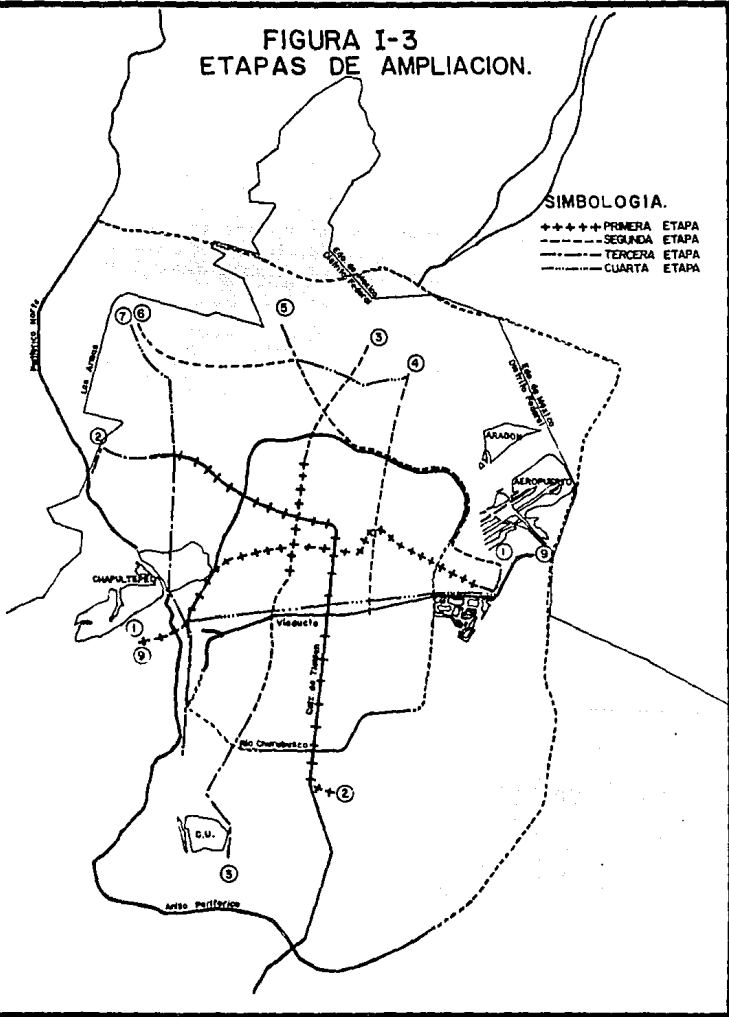
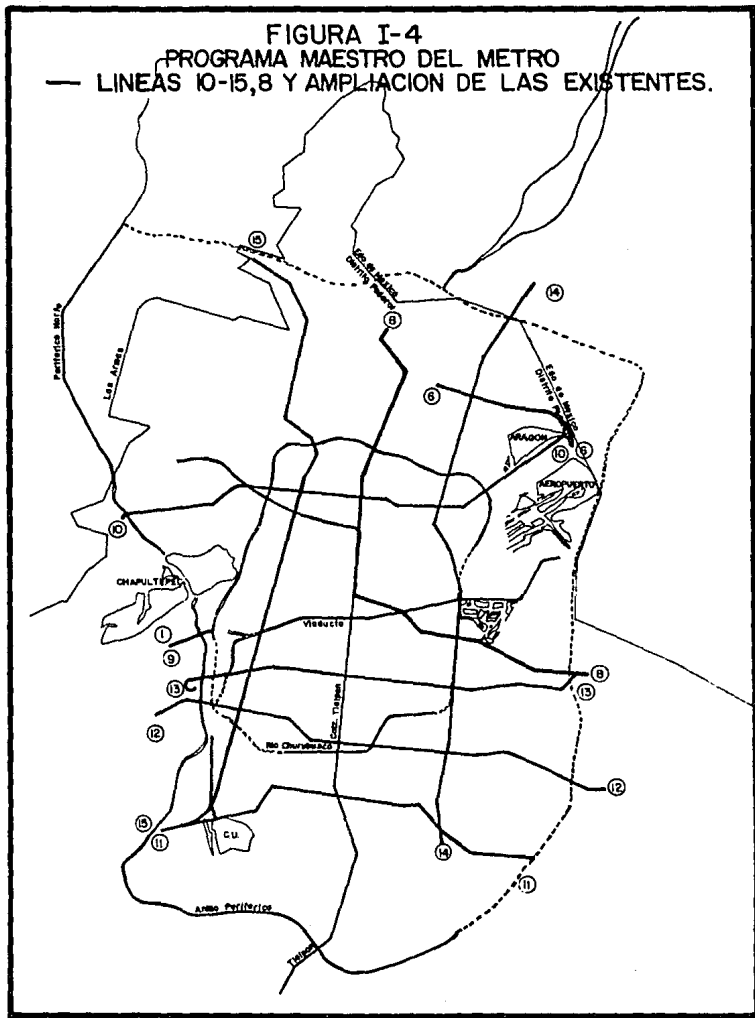


FIGURA I-4
 PROGRAMA MAESTRO DEL METRO
 — LINEAS 10-15, 8 Y AMPLIACION DE LAS EXISTENTES.



CAPITULO II

INTRODUCCION

En el presente capítulo se describirán los criterios en los que se basaron los proyectistas del STC METRO en su primera etapa para elegir la alimentación, distribución, nivel de voltaje que se debería utilizar para garantizar la continuidad del servicio.

Es importante señalar que por tratarse de un proyecto novedoso en nuestro país, no se contaba con la experiencia requerida, lo que trajo como consecuencia adoptar asesoría extranjera, fundamentalmente francesa.

II.1 REQUERIMIENTOS ELECTRICOS DEL METRO.

El Metro de la ciudad de México operaría con motores de corriente directa a 750 volts. Esta energía de tracción sería obtenida de subestaciones de rectificación a lo largo de la línea.

El alumbrado de túneles y estaciones, así como otros servicios requieren baja tensión (30, 440 y 220 V) que se obtendría de subestaciones reductoras para alumbrado y fuerza, que en número de dos se localizarían en locales especiales dentro de cada estación. Estas subestaciones serían alimentadas -- por cables de energía diferentes para que en caso de falla accidental de uno, el otro pueda sustituirlo y garantizar cuando menos el 50% del servicio de alumbrado y el 100% de seguridad. * Ver capítulo IV.

ridad (idealmente).

II.2 RECURSOS ELECTRICOS DE LA CIUDAD DE MEXICO.

El sistema eléctrico de la red del Metro debería ser de máxima autonomía con respecto a las redes alimentadoras municipales y debería contar cuando menos de dos fuentes de energía diferentes para garantizar la continuidad en el servicio.

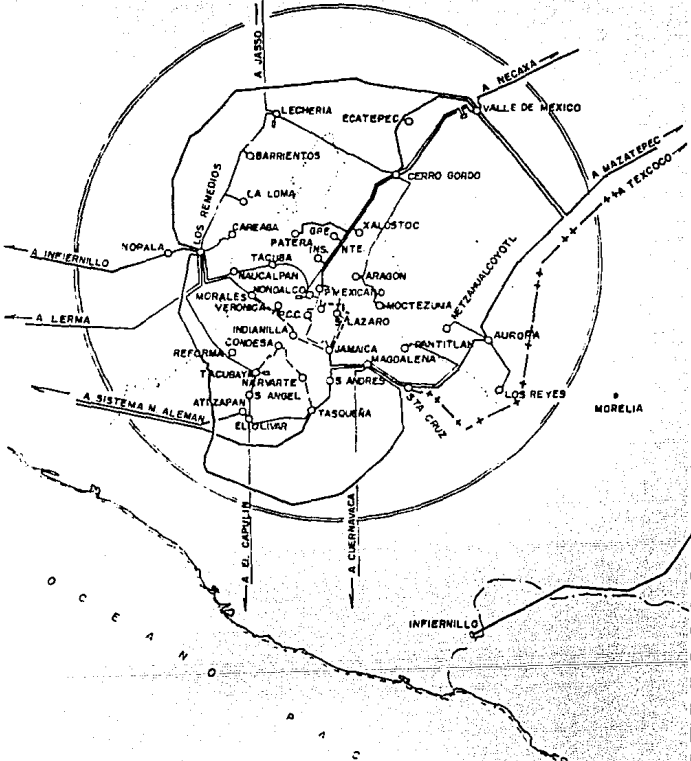
La condición más equilibrada, con los mínimos costos de instalación, operación del sistema eléctrico y los máximos índices de eficiencia, se lograrían si la fuente alimentadora de cada línea se ubicase en el punto medio de ésta.

Hacia 1967 la ciudad de México contaba con dos anillos alimentadores: uno cerrado de 85 KV y otro abierto de 220 KV como muestra la figura II-1. Para los proyectistas, las alimentaciones múltiples del anillo de 85 KV garantizarían que éste se mantuviera permanentemente energizado, lo que se traduciría en un alto factor de seguridad para el suministro constante de energía eléctrica al Distrito Federal. Solo un sector quedaría temporalmente sin alimentación cuando existiera una falla en algún componente del sistema eléctrico de potencia.

En los anillos se ubican una serie de subestaciones re -

FIGURA II - 1

ANILLOS AUMENTADORES DEL SISTEMA CENTRA EN 1968



ESPECIFICACIONES

- PLANTA GENERADORA
- SUBESTACION
- LINEA DE 150 KV O MAS.
- - - - LINEA DE 230 KV
- LINEA DE 85 KV O MENOS.
- - - - CABLE DE 85 KV.
- ++-+- FUTURA LINEA DE 400 KV.

ductoras que transforman el potencial de 85 KV a 23 KV con lo que se suministran a las diferentes zonas de influencia de -- tal manera que las eventuales interrupciones en el servicio -- solo afectan a un sector de la urbe. Solo una falla imponderable y con escasas probabilidades de presentarse, podría a -- fectar los anillos con un 100 % y dejar sin energía eléctrica a toda la ciudad.

II.3 JUSTIFICACION DE LA ALIMENTACION EN 85 KV EN LA PRIMERA ETAPA.

Se presentaron dos posibilidades de alimentación para su ministrar energía a la red del Metro: una en 85 KV y la otra en 23 KV.

Para tomar la energía del anillo de 85 KV, se planteaba la alternativa de alimentar cada línea de las dos subestaciones de la CLYF más próximas a sus extremos. Por ejemplo, la línea dos podía conectarse por el sur a la subestación Taxqueña y por el Noroeste a la subestación Tacuba.

Esta solución presentaba las siguientes desventajas:

- a) No cumplía con la recomendación de máxima autonomía ni con las fuentes alimentadoras al centro de la línea.
- b) Se necesitaba forzosamente de las dos alimentaciones extremas para que una relevara a la otra en caso de falla.

- c) La alimentación por un solo extremo ocasionaría pérdidas de cargas dobles a las que habría si la fuente de energía estuviera al centro de la línea.
- d) No en todas las subestaciones del anillo de 85 KV, se tenía la capacidad suficiente para satisfacer la demanda del Metro.
- e) Instalaciones especiales para el Metro, en cada subestación del anillo de 85 KV.
- f) Incremento en el personal de operación para vigilar el suministro de energía al sistema.

Ante estos inconvenientes se decidió buscar la solución para alimentar cada línea desde su punto medio, es decir, desde tres subestaciones que como se muestra en el cuadro de cargas (Figura II-2) se localizarían:

- Para la línea 1 entre las estaciones Isabel la Católica y Saldo del Agua.
- Para la línea 2 entre las estaciones Pino Suárez y San Antonio Abad.
- Para la línea 3 entre las estaciones Hidalgo y Juárez.

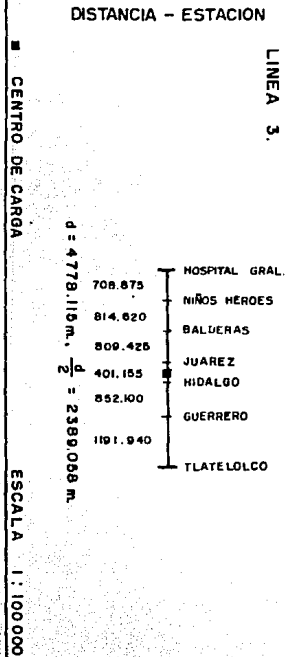
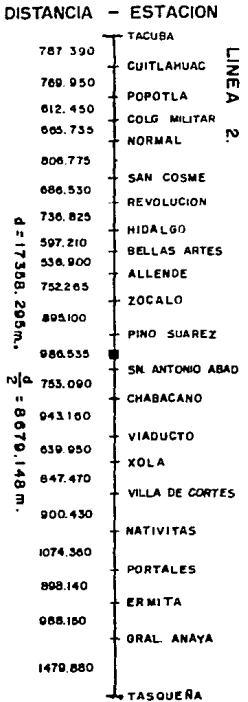
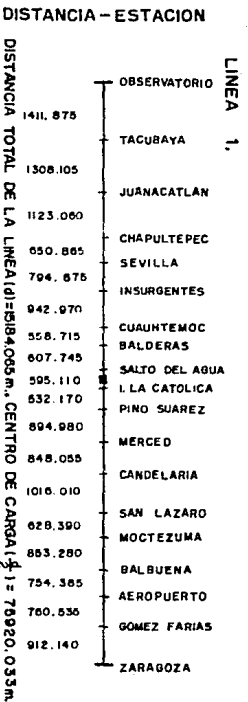
En las tres líneas, los respectivos centros de carga se localizaban dentro del primer cuadro.

Tal circunstancia fué aprovechada por los proyectistas para centralizar la distribución de energía eléctrica, con --

FIGURA II-2

CUADRO DE CARGAS Y LOCALIZACION DE CENTROS DE CARGA.

LÍNEAS 1, 2 Y 3



las siguientes ventajas:

- 1.- Se construiría una sola subestación eléctrica en vez de tres repartidas en el primer cuadro.
- 2.- La central eléctrica podía ser alimentada desde dos puntos del anillo de 85 KV con lo que se lograba: la doble alimentación requerida, la autonomía del sistema y la garantía en la continuidad del servicio.
- 3.- Menores costos de operación y en general todas las ventajas del mando centralizado, traducidos al sistema eléctrico.

Por otra parte se tenía la opción de alimentar en 23 KV directamente de la red de distribución. En este caso, cada una de las subestaciones de rectificación podía conectarse a la red en forma fácil y económica. Los proyectistas, sin embargo, tuvieron el siguiente razonamiento: la red está seccionada y en cada una de esas secciones era factible que el suministro de corriente se interrumpiera al salir de servicio una sección del anillo de 85 KV por cualquier causa.

Las subestaciones localizadas a lo largo de las líneas del Metro, por distintos rumbos de la ciudad, se conectarían a diferentes secciones de la red de distribución, por lo que se pensó que sería lógico que una falla local detendría la operación de toda una línea. Por lo tanto se eligió la primera opción y se decidió la creación de una subestación centralizada, la cual recibe el nombre de Puesto de Alta Ten

sión (PAT) y su instalación dentro del mismo edificio del Puesto Central de Control (PCC).

El PCC constituye el centro nervioso del sistema. Es un edificio que alojaría una compleja red de telecomunicaciones, mediante la cual se lograría permanentemente comunicación con todas las estaciones, los operadores de trenes, supervisores, inspectores, personal de talleres, autoridades, etc. Obteniéndose con esto una máxima centralización de informes, medios de control y mando. La ubicación del PCC debería estar preferentemente en el centro de sus respectivas áreas tributarias.

En el caso de la Ciudad de México, el PCC debería quedar localizado dentro del anillo formado por las tres líneas en el primer cuadro. Otra ubicación hubiera repercutido en excesivas longitudes y costos de trinchera, ductos y cables para interconectar todas las líneas con el PCC. Finalmente se adquirieron los terrenos de la manzana que forman las calles Delicias y Buen Tono.

II.4 ALIMENTACION DEL PUESTO DE ALTA TENSION (PAT).

Las subestaciones más próximas a Delicias y Buen Tono eran: Nonoalco, San Lázaro, Jamaica e Indianilla.

Indianilla, siendo la mas cercana, no podía utilizarse -

por falta de capacidad, San Lázaro se encontraba en situación similar como lo demuestra la tabla II-1. Recurrir a ellas - requeriría aumentar sus capacidades con los consiguientes incrementos de costos. Por lo tanto, se concluyó que el Puesto de Alta Tensión sería alimentado desde las subestaciones - Nonoalco y Jamaica.

Las subestaciones elegidas forman parte del anillo de 220 KV y reciben diversas alimentaciones provenientes de los centros de generación. La línea de 220 KV llega a un bus de esa tensión y de éste pasa a bancos de transformadores que reducen la tensión a 85 KV. Todas las líneas de 85 KV se concentran en buses de ese potencial eléctrico, de los cuales se conectan bancos de transformadores de 85 KV a 23 KV, la figura II-3 muestra el diagrama unifilar de una subestación de 220/85/23 KV. La tensión de 23 KV es distribuida desde la subestación a diferentes circuitos que cubren distintas zonas de la ciudad. La suma de las capacidades de los circuitos - debe ser menor o igual al del banco de transformadores, de manera que no se sobrepase su límite de seguridad.

Cuando las demandas aumentan, pueden agregarse circuitos - en aquellos bancos que aún admiten carga hasta saturarlos. En adelante, se hace necesario derivar del bus de 85 KV nuevos bancos de transformadores. El bus de 85 KV ofrece pocas posibilidades de quedar sin energía, puesto que cuenta con varias-

TABLA II-1

SUBESTACION	TENSION [KV]	CAPACIDAD INSTALADA (MVA)
INDIANILLA	85/23	120
JAMAICA	220/85/23	400
SAN LAZARO	85/23	70
NONOALCO	220/85/23	400

DEMANDA
DEL METRO:

CAPACIDAD DE LOS ALIMENTADORES PARA EL METRO = 164 MVA

CAPACIDADES DE LAS SUBESTACIONES DE CLYF MAS CERCANAS
AL PAT (SUBESTACION BUEN TONO).

FIGURA II-3

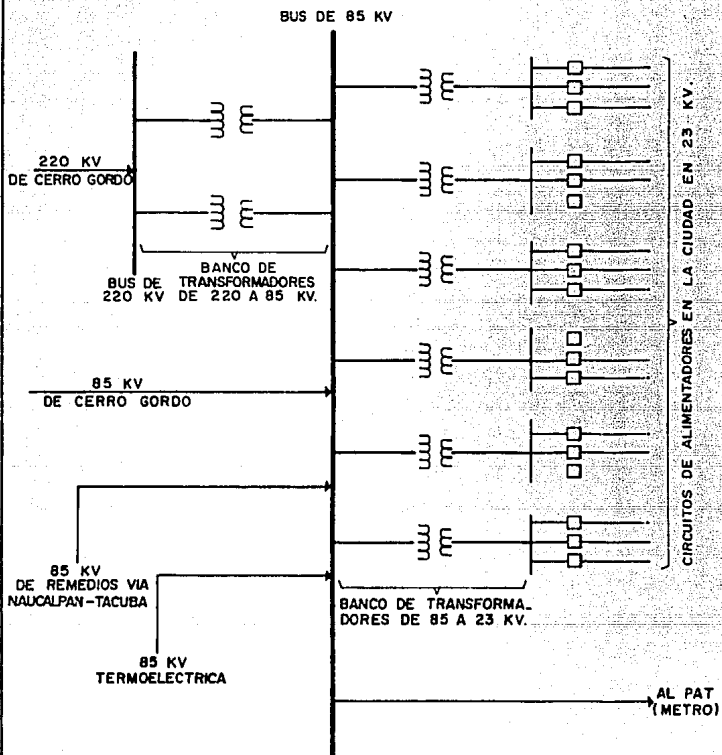


DIAGRAMA UNIFILAR DE LA ESTACION NONOALCO EN 1968.
SUBESTACION TIPO 220 KV/ 85 KV/ 23 KV)

alimentaciones. En el remoto caso de que todas fallasen serían relevadas por las de otras subestaciones pertenecientes al anillo, haciéndose los ajustes necesarios para mantener el equilibrio eléctrico que garantiza el suministro de energía a los servicios mas indispensables de la ciudad. Lo mismo puede decirse de los buses de 220 KV, con la particularidad de que éstos son aún mas confiables y seguros.

Por todo lo anterior, resultó plenamente justificada desde el punto de vista de los proyectistas, la selección de esas dos subestaciones que tomarían la energía de los buses de 85 KV y la conducirían hasta el PAT, donde se instalaría un solo banco de transformadores que podría conectarse indistintamente a Nonoalco o a Jamaica, esto es mostrado esquemáticamente en la figura II-4. El PAT como subestación reductora recibió el nombre de subestación "Buen Tono".

II.5 DISTRIBUCION DE LA ENERGIA DEL PAT A LAS LINEAS DEL METRO.

Para distribuir la corriente del PAT a las líneas se plantearon dos alternativas:

- Alternativa "A". En 23 KV siguiendo las normas y costumbres de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro.
- Alternativa "B". En 15 KV según criterios europeos recomendados por los asesores y fabricantes franceses.

FIGURA II-4

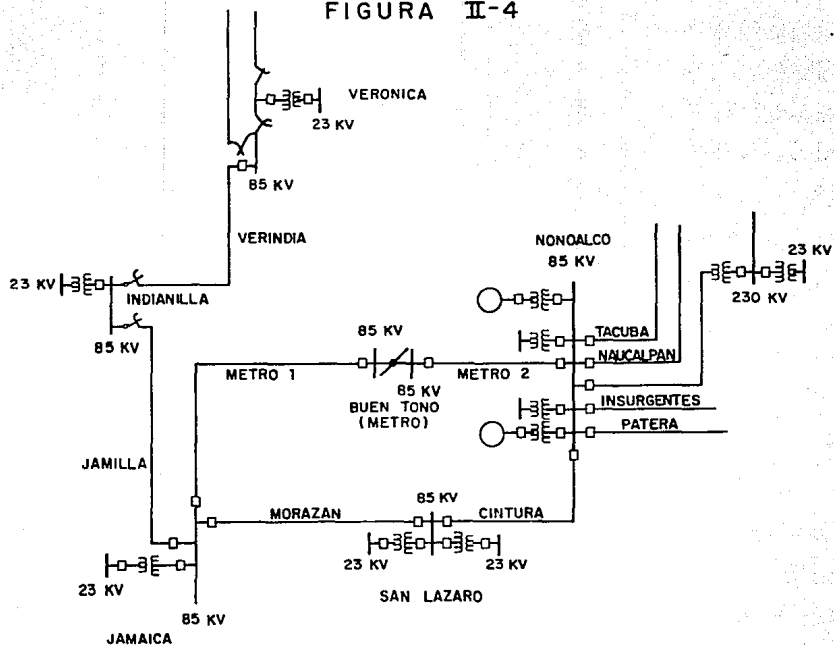


DIAGRAMA UNIFILAR DE ALIMENTACION AL PAT (SUBSTACION BUEN TONO)

Un minucioso estudio técnico-económico de las ventajas y desventajas de una y otra alternativa que consideró, la altura de la Ciudad de México, las dimensiones requeridas por las instalaciones tanto en el PAT como en las subestaciones rectificadoras y las de alumbrado y fuerza dentro de las estaciones del Metro, etc., dió como resultado la elección de la alternativa "B". Dicho estudio en el que participaron técnicos de CFE, CLyF, STC, DDF, ISTME y los asesores franceses, resultó favorable a la alternativa "B".

Los principales factores de orden económico, que inclinaron la decisión hacia la tensión de 15 KV y sus diferencias de costo, se indican en la tabla II-2, en la que puede observarse que el sistema de distribución en 23 KV, resultaba con un mayor costo que el de 15 KV lo que justifica la decisión tomada.

TABLA II-2

CONCEPTO	NOTAS	SOBRECOSTO EN LA ALTERNATIVA "A"	
1) TRANSFORMADORES. DE 85 A 23 KV. DE 85 15 KV.	SIN DIFERENCIA APRECIABLE	\$	0.00 MILLONES
2) EDIFICIO DEL PAT.	DE MAYORES DIMENSIONES EN LA ALTERNATIVA "A"	\$ +	1.25 MILLONES
3) SISTEMAS DE INTERRUPCION		\$ +	2.00 MILLONES
4) SUBESTACIONES DE RECTIFICACION		\$ +	0.12 MILLONES
5) SUBESTACIONES DE ALUMBRADO Y FUERZA 96 UNIDADES DISTRIBUIDAS 2 EN CADA ESTACION DEL SISTEMA		\$ +	8.88 MILLONES
6) CABLES. A IGUALDAD DE PERDIDAS DE CARGA Y EFICIENCIAS.		\$ -	1.25 MILLONES
T O T A L		\$	11.00 MILLONES

C A P I T U L O I I I

ESTRUCTURAS FACTIBLES DE UTILIZAR

III.1 ARGUMENTOS A LA NO CONVENIENCIA AL PRIMER ARREGLO DE ALIMENTACION AL METRO.

Como se explicó en el capítulo II, el Metro en su primera etapa (línea 1, 2 y parte de la 3) se alimenta desde una sola subestación (S.E.) propia (subestación Buen Tono) energizada en 85 KV. Esta reduce el voltaje a 15 KV y se suministra a través de alimentadores, a cada una de las unidades rectificadoras que están repartidas a lo largo de las líneas.

La alternativa anterior llamada "Estructura en doble alimentación" en su momento satisfizo los requerimientos necesarios debido a que la S.E. se encontraba en el centro de carga de las líneas, pero cabe señalar que la confiabilidad en el servicio no era la adecuada, ya que se dependía de un solo punto de alimentación con líneas demasiado largas.

Quando se decidió construir la segunda etapa se analizaron las ventajas y desventajas de utilizar la misma estructura ó utilizar alguna otra.

Un factor importante en la no selección de la misma estructura consistió en la dificultad y costo para la construcción de subestaciones de gran capacidad y derechos de vía dedicados al Metro. La S.E. Buen Tono no tenía la capacidad suficiente como para absorber la carga de las ampliaciones,

aparte de que no quedaba ubicada en el nuevo centro de carga.

Así pues, con los datos obtenidos de COVITUR y con las necesidades de confiabilidad se analizaron otras alternativas de alimentación. Los datos fueron:

- Demanda de las Subestaciones de Rectificación ... 6000KW
- Demanda de cabeceras..... 1500 KW
- Confiabilidad requerida..... ALTA
- Respaldos internos.....ADYACENTES

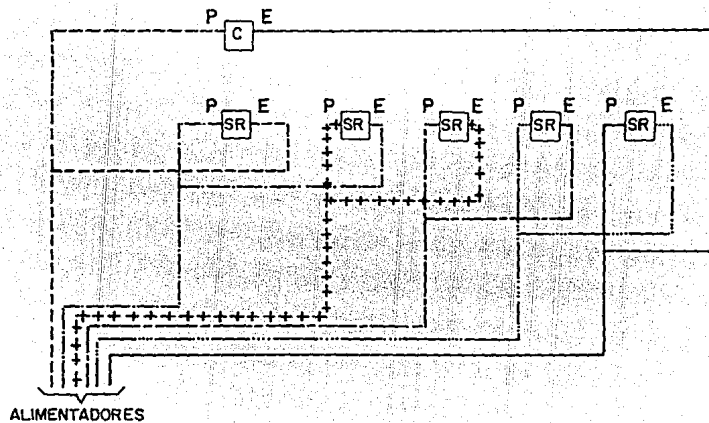
La capacidad promedio de los alimentadores de CLYF en 23 KV, es de 12 MVA.

Finalmente se concluyó que la estructura de alimentación que mayores ventajas presentaba, era el de "Primario Selectivo", tal y como se muestra en la figura III-1.

En este arreglo, cada una de las unidades rectificadoras tiene doble alimentación por medio de un interruptor de transferencia automática conectado a dos alimentadores subterráneos de 23 KV, que parten de subestaciones de CLYF diferentes de tal modo que en condiciones normales cada S.E. de CLYF alimentará a un solo puesto de rectificación y a dos en caso de emergencia, cuando salga de servicio una S.E. o un alimentador (ver sección dos del capítulo IV).

FIGURA III-1

ESTRUCTURA DE PRIMARIO SELECTIVO.
UN ALIMENTADOR POR CADA SR.



III.2 DESVENTAJAS DEL ARREGLO.

Desde la puesta en operación de las líneas 3 sur-sur, 4, 5 y 6 del Metro (primeros en ser alimentados con la estructura antes mencionada), a la fecha le han generado algunos problemas a la CLYF, ya que ésta debe paralelar la construcción de subestaciones de Distribución a la construcción de líneas del Metro.

La cantidad de alimentadores aéreos y subterráneos de 23-KV, así como la cantidad de alimentadores exclusivos para el Metro se muestra en la tabla III-1.

De los datos de la tabla se puede afirmar que el Metro cuenta con una energía disponible de 792 MVA. Por otro lado y tomando en cuenta que las lecturas de carga de los alimentadores destinados para el Metro y a los medidores gráficos instalados en las SR's, se aprecia que las demandas de las subestaciones de rectificación son de valores inferior a las demandas contratadas, lo que ocasiona que se tengan demandas de energía del orden del 31 % de la capacidad nominal de los alimentadores destinados al Metro. Es por esta razón por la cual se ve la necesidad de reconsiderar la estructura de alimentación al Metro en la que no exista tal desperdicio de capacidad instalada.

TABLA III- 1.
ALIMENTADORES DE 23 KV EN SERVICIO .

SISTEMA	CANTIDAD DE ALIMENTADORES	CAPACIDAD DISPONIBLE %
AEREO	322	74.88
SUBTERRANEO	42	9.76
METRO	66	15.36
TOTAL	430	100.00

III.3 ESTRUCTURAS PROPUESTAS-

Investigando los diferentes tipos de sistemas de distribución se sabe que existe una variedad de circuitos básicos que están disponibles. La selección del mejor sistema o combinación de sistemas depende sobre todo de las necesidades que se tengan.

En general, el costo de un sistema se incrementa con la confiabilidad de éste, si la calidad de los componentes es igual. La máxima confiabilidad por unidad de inversión será asegurado por un uso apropiado y un buen diseño de los componentes.

La necesidad de un circuito adicional puede existir para permitir mantenimiento de equipo. Un sistema altamente confiable necesita, para conservar dicha confiabilidad, una rutina de mantenimiento, así como seguridad de operación. Un sistema que no cumple con lo anterior, es un sistema mal diseñado.

El sistema debe ir acompañado por una selección apropiada del equipo y así lograr una reducción en los costos de éste. Sin embargo, la reducción de costos nunca deberá ser hecha mediante el sacrificio de la seguridad al usar el equipo no adecuado. Las reducciones pueden ser obtenidas median

te el uso de un sistema de distribución menos caro, con algún sacrificio en la capacidad de reserva y la confiabilidad

Para satisfacer la demanda y necesidades del Metro, se proponen las siguientes alternativas adicionales a la utilizada actualmente, la cual se menciona como primera opción:

1) Estructura de Primario Selectivo (Un alimentador de CLYF por subestación de rectificación).

En este diseño, dos circuitos independientes son recibidos dentro de cada centro de carga y conectados a la SR a través de un dispositivo automático que normalmente conecta la carga a uno de los circuitos primarios (preferente). La carga es automáticamente transferida al circuito alterno (emergente) en el momento en que falle la fuente normal de alimentación (Figura III-2.)

2) Estructura de Primario Selectivo (alimentación de dos SR's en forma preferente y dos en forma emergente).

Básicamente en una extensión de la estructura anterior, ya que la alimentación a las dos primeras SR's se repite a las otras dos mediante la derivación de los alimentadores como muestra la figura III-3.

3) Estructura de Alimentación por medio de Subalimentadores de distribución (n subalimentadores por alimentador), el cual consiste en suministrar energía mediante un solo alimentador proveniente de una S.E. de CLYF. La figura III-4-

FIGURA III-2.
—OPCION 1—

ESTRUCTURA DE PRIMARIO SELECTIVO.
(UN ALIMENTADOR POR CADA SR).

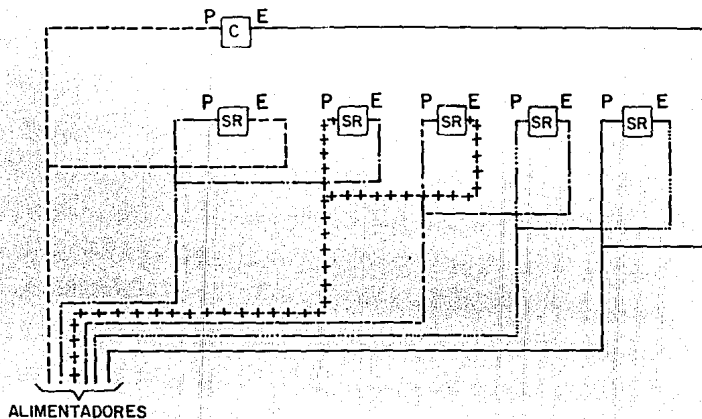


FIGURA III-3

— OPCION 2 —

ESTRUCTURA DE PRIMARIO SELECTIVO.
(UN ALIMENTADOR POR CADA DOS SR'S).

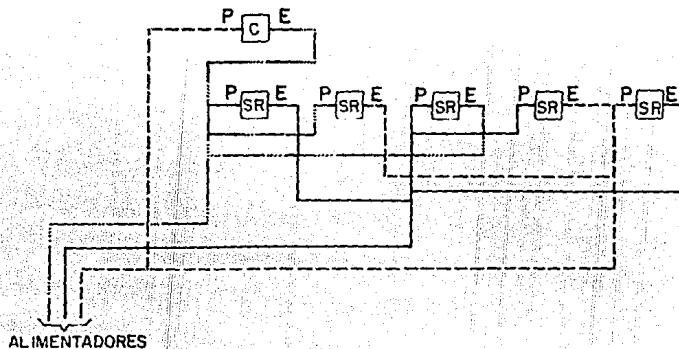
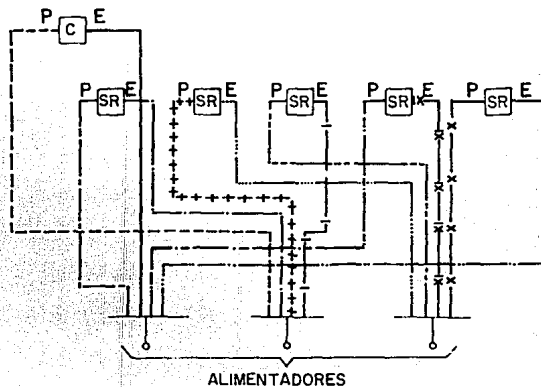


FIGURA III-4.
— OPCION 3. —
ESTRUCTURA DE ALIMENTACION MEDIANTE
SUBALIMENTADORES DE DISTRIBUCION.



muestra esta estructura donde:

$$n = \frac{2 (\text{No. de SR} + \text{No. de Cabeceras})}{\text{No. de S.E. de la CLYF}}$$

4) Estructura de Secundario Selectivo.

Si dos subestaciones son conectadas a través de un interruptor normalmente abierto en el secundario, el resultado es un sistema secundario selectivo. Si falla el alimentador primario, al liberarse la falla, el interruptor de "amarre" quedará cerrado con lo que la carga del primer alimentador es absorbida por el segundo alimentador sin descuidar su carga original. La operación debe ser automática para que exista continuidad. Este sistema se puede apreciar en la figura III-5.

5) Estructura de Anillo Primario.

Este sistema consiste de dos alimentadores radiales típicamente unidos al punto medio por un interruptor de enlace normalmente abierto. Una falla del cable que alimenta a la SR puede ser aislada mediante los interruptores y así evitar la salida del alimentador de la SE de la CLYF. El contacto normalmente abierto en el punto de enlace puede cerrarse para alimentar la carga de la SR en el lado de la falla, una vez liberada ésta. En la figura III-6 se observa este sistema de alimentación.

6) Estructura de Malla Secundaria.

FIGURA III-5
— OPCION 4 —

ESTRUCTURA DE ALIMENTACION POR SECUNDARIO SELECTIVO.

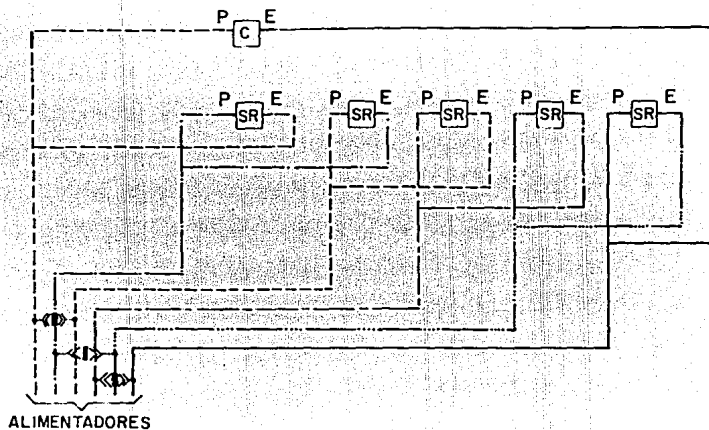
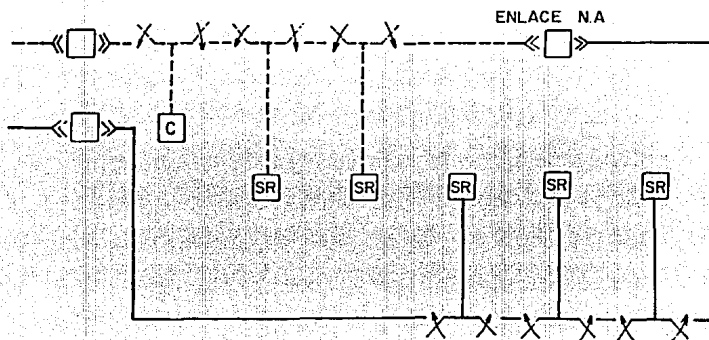


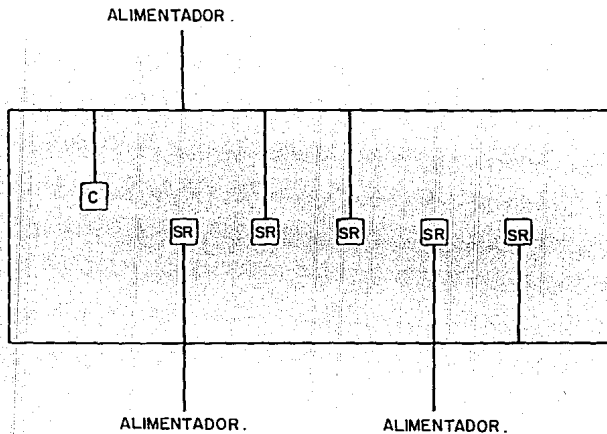
FIGURA III-6
— OPCION 5.—
ESTRUCTURA DE ALIMENTACION EN ANILLO PRIMARIO.



En este sistema de alimentación, los alimentadores de las diferentes subestaciones de la CLYF son conectadas en paralelo al bus secundario a través de un tipo de interruptor especial llamado protector de red. Si un alimentador falla, los restantes tienen la capacidad de absorber la carga total sin la pérdida en la continuidad del servicio, puesto que el protector de red impide que un alimentador suministre potencia hacia otro en el caso de una falla en alguno de éstos, tal y como se muestra en la figura III-7.

FIGURA III-7.
— OPCION 6 —

ESTRUCTURA DE ALIMENTACION EN MALLA SECUNDARIA.



C A P I T U L O IV

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA RED DEL METRO

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA RED DEL METRO

En este capítulo se describirán de una manera muy general como están constituidas las subestaciones de rectificación y las subestaciones de alumbrado y fuerza, así como la forma de distribuir la energía eléctrica para alimentarlos.

IV.1 ALIMENTADORES.

En base a estudios realizados sobre la conveniencia o no de utilizar el arreglo utilizado en la primera etapa del Metro, se decidió que a partir de la construcción de las líneas 3 sur-sur, 4, 5 y 6, la alimentación eléctrica que convenía adoptar debía provenir directamente de CLyF, en su voltaje normalizado de distribución, que es de 23 KV.

El sistema de distribución de la red en 23 KV, es de 3 fases, 3 hilos. La alimentación al Metro es mediante una estructura de primario selectivo, en el cual cada subestación tiene dos alimentadores independientes entre sí. Una alimentador es llamado preferente y el otro emergente y están unidos mediante un interruptor de transferencia automática, que en condiciones normales está conectado al suministro preferente, pero en caso de falla de éste, automáticamente cambia y se conecta al suministro emergente, tal y como se explicó en el capítulo III.

Todos los componentes de la red están diseñados para una capacidad máxima de conducción de corriente de 400 amperes en forma continua.

El conductor seleccionado, es cable unipolar de cobre con aislamiento de papel impregnado y forro de plomo, para 23-KV con sección transversal de 240 mm².

Para alojar el interruptor de transferencia automática, equipos de medición, así como la llegada de los alimentadores se construyeron locales especiales dentro de las subestaciones pertenecientes al Metro, de acuerdo con las normas de CLYF.

IV.2 SUBESTACIONES DE RECTIFICACION.

La función de las subestaciones de rectificación (SR) es la de reducir y rectificar la tensión de 23 KV de corriente alterna a 750 V de corriente directa que es la tensión nominal de trabajo de los trenes. Su ubicación se efectúa en base a varios parámetros, entre ellos la caída de tensión máxima permisible, considerando que la salida de servicio de una de ellas, nos afecte al mínimo la tensión requerida para el desplazamiento de los trenes, ya que las dos adyacentes pueden absorber la sobrecarga existente. La distancia entre SR's es variable para cada línea.

Las SR's tienen una capacidad de 4000 KV. Están aloja-

das en el exterior, independientes de las estaciones y su -
instalación interior esta formada por grupos o bloques móvi-
les que permiten su cambio en caso de avería por otro simi -
lan.

El diagrama unifilar de una SR se muestra en la figura IV-1.

Los grupos que constituyen una subestación de rectifica
ción son:

1) Gabinete seccionador.

Este gabinete contiene una mufa terminal del alimentador
en 23 KV y un seccionador tripolar que tiene como función ---
principal, aislar la subestación de rectificación del cable -
alimentador.

2) Grupo transformador auxiliar.

Este grupo esta conectado a las barras colectoras que-
salen del seccionador y esta constituido por un transformador
que suministra energia a todos los circuitos auxiliares de la
subestación. Las características principales de este trans-
formador son:

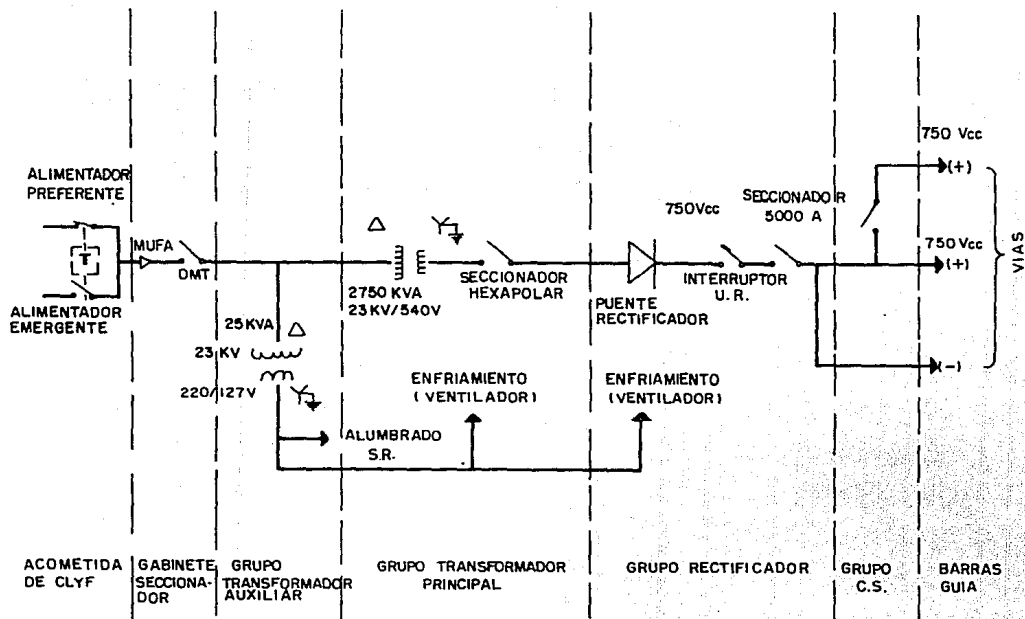
- Capacidad nominal de 25 KVA.
- Conexión Δ -Y
- Relación de transformación 23000/220-127 VCA,

3) Grupo transformador principal.

Este grupo esta conectado a las barras colectoras que --

FIGURA IV-1

DIAGRAMA UNIFILAR DE UNA SUBESTACION DE RECTIFICACION (S.R)



salen del seccionador y esta constituido por:

a) Transformador de potencia trifásico. Se utiliza para alimentar el grupo rectificador que suministra energía para la tracción de los trenes. Este transformador cuenta con un cambiador de derivaciones, con el objeto de poder regular la tensión de salida del mismo. Sus características son:

- Capacidad nominal de 2750 KVA.
- Conexión / - Y
- Relación de transformación 23000/540 VCA.

b) Un seccionador hexapolar que se encuentra conectado por un extremo al secundario del transformador de potencia y por el otro al grupo rectificador.

4) Grupo rectificador.

Este grupo es el encargado de rectificar la corriente alterna de 540 volts en corriente continua de 750 volts, la cual es suministrada a las barras guías (ver figura IV-2).

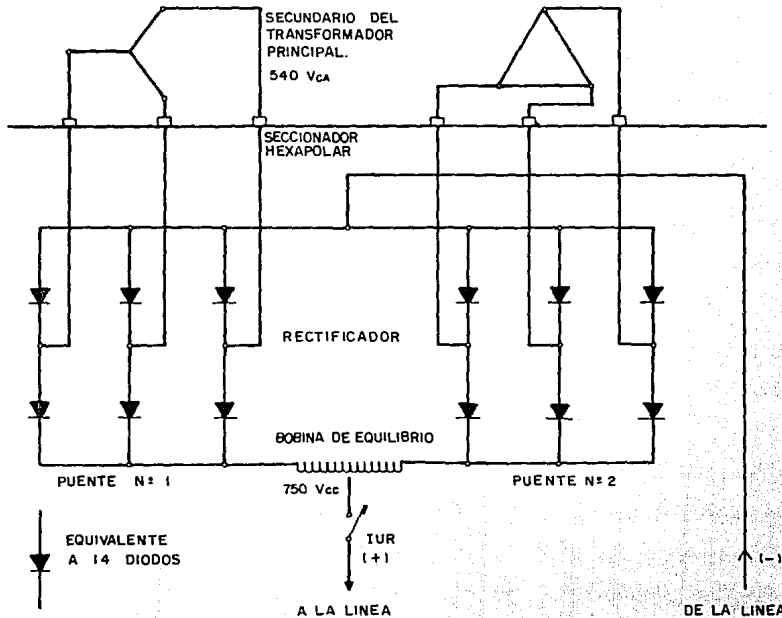
Esta constituido por:

a) Un rectificador dodecafásico. Formado por 168 diodos de silicio montados en dos puentes de Graetz conectados en paralelo con seis grupos de siete hileras y cada hilera con dos diodos conectados en serie.

b) Una bobina de equilibrio. Se encuentra conectada a la salida del rectificador dodecafásico y tiene como finalidad -

FIGURA IV-2

DIAGRAMA UNIFILAR DEL GRUPO RECTIFICADOR



corregir el rizo que se obtiene de la corriente rectificadora, haciendo más lineal su señal de salida.

c) Interruptor ultrarrápido. Este interruptor protege al grupo rectificador de las sobrecargas o cortocircuitos que pudieran producirse en la línea y permite la alimentación desde el grupo rectificador a las barras guías a través del seccionador de 5000 amperes. Consta de:

- Dispositivo de apertura máxima ajustable de 6000 a 18000 amperes.
- Sistema de bloqueos.
- Señalización de posición.

5) Grupo ventilador.

Este grupo con una capacidad de enfriamiento de 11 M3/seg tiene como función proporcionar un flujo de aire, a través de una cámara para enfriar al transformador principal y al grupo rectificador.

6) Seccionadores de 5000 amperes.

Estos seccionadores se encuentran dentro de la subestación y permiten alimentar o aislar a ésta de las barras guía.

IV.3 SUBESTACIONES DE ALUMBRADO Y FUERZA.

La función de las Subestaciones de Alumbrado y Fuerza (SAF) es la de iluminar las estaciones y túneles, así como la de cubrir la demanda de fuerza requerida para los servi-

cios de las mismas.

Cada línea del Metro cuenta con dos SAF, una en cada extremo. Es decir, cada línea tiene un total de cuatro alimentadores trifásicos en 23 KV.

La capacidad de las SAF depende de la longitud total de la línea y el tipo de estaciones que la componen.

La distribución de energía a lo largo de la línea se proyecta de tal manera que al ocurrir una falla en un alimentador, ésta pueda aislarse, alimentando todas las subestaciones desde cualquier extremo o bien, en caso de falta total del suministro de energía de CLYF en tres de los cuatro alimentadores, un solo alimentador tendrá capacidad para poder cubrir las demandas de todas las SAF de la línea.

En el Metro existen cuatro tipos de estaciones: túnel, subterráneas, superficiales y elevadas, que por lo general cuentan con las siguientes áreas: andenes, vestíbulos, pasarelas, accesos, locales técnicos y de servicio, y todo lo anterior necesita iluminación. Cada estación comprende dos subestaciones, que se localizan en locales llamados Subestación Via 1 y Subestación Via 2.

La alimentación a éstas, se realiza por medio de dos alimentadores trifásicos independientes entre sí, que corren a lo largo de toda la línea. Uno de ellos alimenta todas las subestaciones que se encuentran localizadas del lado de

la vía 1 y el otro alimenta a las que se localizan del lado de la vía 2.

Las SAF están constituidas por :

- a) Transformador trifásico de distribución de servicio interior, conexión Δ -Y, relación de transformación 23000/220-127 volts, capacidad de 25 KVA, sumergido en aceite.
- b) Tablero general preferente, con equipo de transferencia automática e interruptores termomagnéticos de servicio preferencial.
- c) Consolas autosoportadas en piso, para servicio de alumbrado de emergencia, con cargadores y baterías.

La distribución de la energía, a partir de los transformadores de las subestaciones de vía, se realiza a través de las siguientes cabinas:

1) Cabina "N"

Existe una por cada subestación en todas las estaciones y por lo tanto su alimentación es independiente. Es una cabina autosoportada que contiene interruptores termomagnéticos de diferentes capacidades. De la cabina "N" se alimentan:

- a) Escaleras mecánicas.
- b) CCM (centro de control de motores) para bombeo.
- c) Ventilación y extracción de aire.

- d) Instalaciones importantes de propaganda.
 - e) Alimentación de alumbrado del túnel.
 - f) Alimentación a la cabina P-1
 - g) Contactos monofásicos y trifásicos.
- 2) Cabina "P-1".

Esta cabina es del tipo autoportado, controla y alimenta los circuitos denominados preferenciales (señalización, pilotaje automático, mando centralizado, torniquetes, telecomunicaciones, alumbrado preferencial y de emergencia o cabina "J").

Dispone de dos alimentaciones directamente a sus barras colectoras, provenientes de las cabinas "N" para su alimentación normal y emergente. Mediante el interruptor de transferencia se logra que en la ausencia de alimentación normal, los circuitos que alimentan esta cabina permanezcan energizados a través de la subestación de la estación, todo ello se normaliza automáticamente cuando la alimentación normal se restablece, dejando de operar la emergente.

3) Cabina "J"

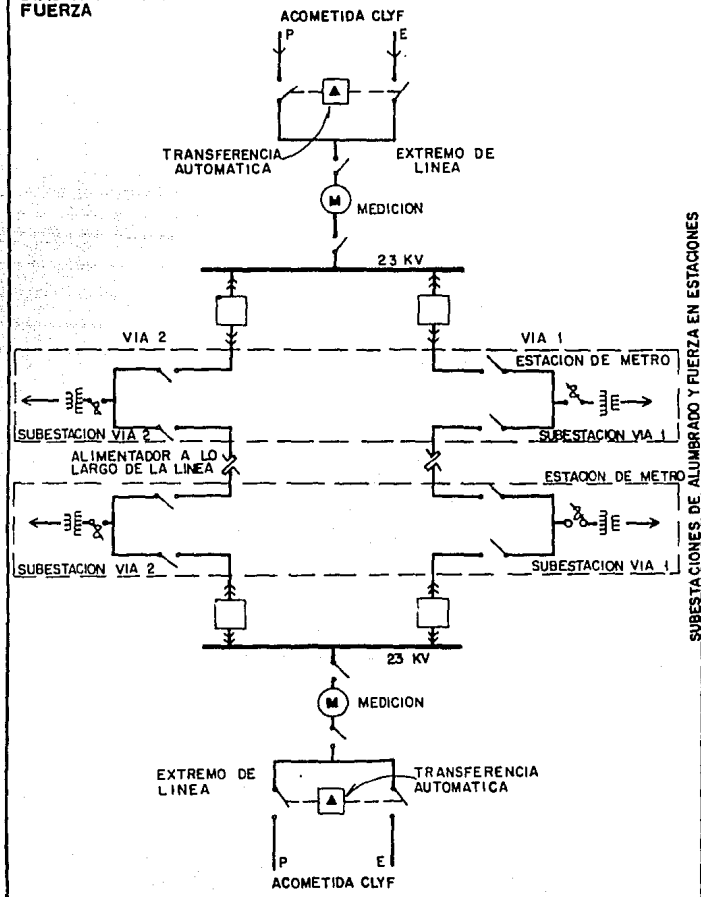
En caso de ausencia total de energía eléctrica o de falla de las dos subestaciones existentes en cada estación, se cuenta con una cabina "J" ubicada en una de las subestaciones la cual asegura el alumbrado de emergencia y cuenta con:

- a) Un banco de baterías de 120 V, 90 A-H y proporciona energía durante 3 horas aproximadamente.
- b) Un sistema que permite recargar la batería en 3 horas.
- c) Un contactor normalmente abierto, que cierra en caso de ausencia de corriente alterna.

En la figura IV-3 se muestra el diagrama unifilar de la alimentación a las Subestaciones de Alumbrado y Fuerza.

FIGURA IV-3

DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL DE LAS SUBESTACIONES DE ALUMBRADO Y FUERZA



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

C A P I T U L O V

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA EFECTOS COMPARATIVOS

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA EFECTOS COMPARATIVOS

Aquí se establecerán los costos a los que ascienden cada una de las alternativas propuestas, para que posteriormente, se utilicen estos montos en conjunción con los datos de confiabilidad para determinar cuál es la mejor opción.

Cabe señalar que se supuso una línea del Metro con 10 Km de longitud y con 10 subestaciones rectificadoras, así como dos subestaciones de alumbrado y fuerza. Es decir, en total con 12 cargas por alimentar en dicha línea.

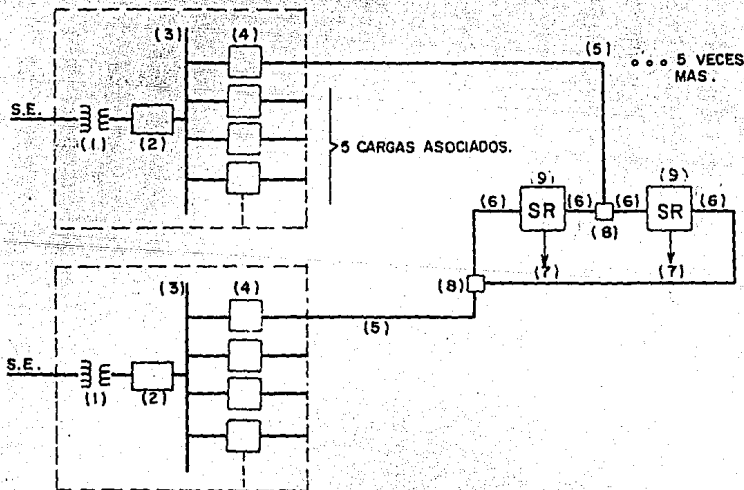
La distancia considerada entre las subestaciones de la CLYF las SR's fué tomada de 5 Km en promedio para todas las opciones.

V.1 ELEMENTOS SUJETOS AL ANALISIS DE COSTOS.

Para hacer un análisis de costos de cada una de las alternativas, se debe establecer cual es el equipo empleado. - La figura V.1 muestra los elementos que intervienen en la evaluación de la primera opción.

FIGURA V-1.

ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL ANALISIS PARA LA PRIMERA OPCION.



OPCION 1 -- 12 ALIMENTADORES

- En donde:
- 1.- Transformador reductor de la SE..
 - 2.- Interruptor general
 - 3.- Bus de la SE.
 - 4.- Interruptor del cable troncal.
 - 5.- Cable troncal.
 - 6.- Acometida al interruptor
 - 7.- Acometida al cliente.
 - 8.- Interruptor "RAC" de 3 vías.
 - 9.- Interruptor de transferencia automática.

Ahora, teniendo en cuenta que sólo una parte de la SE - de la CLYF está disponible para el Metro, se debe considerar el costo proporcional de cada elemento que sea común. Para el análisis, se consideraron 5 cargas asociadas al transformador de la SE en cuestión, por lo tanto, el costo proporcional del transformador asociado al Metro sería su costo dividido entre 5. Lo mismo sucede con el interruptor general y el bus.

V.2 COSTO DEL EQUIPO.

El precio de cada uno de los elementos que intervienen en la primera opción, a Enero de 1988 se muestra en la tabla VI.

TABLA V 1

ELEMENTO	COSTO POR (\$) UNIDAD	UNIDADES	COSTO TOTAL
TRANSFORMADOR (S.E.)	3,371'960,700.00	1/5	674'392,140.00
INTERRUPTOR GENERAL (S.E.)	65'916,000.00	1/5	13'183,200.00
BUS (S.E.)	1'241,728.00	1/5	248,345.60
INTERRUPTOR DEL CABLE TRONCAL	7'453,227.00	1	7'453,227.00
CABLE TRONCAL	[M] 64,903.00	3(5Km.)	973'545,000.00
ACOMETIDA AL INTERRUPTOR*	[M] 717,827.00	1(5Km.)	3,589'135,000.00
ACOMETIDA AL CLIENTE	279,381.00	1	279,381.00
INTERRUPTOR RAC DE 3 VIAS	442,441.00	1	442,441.00
INTERRUPTOR DE TRANS- FERENCIA AUTOMATICA.	5'898,415.00	1	5'898,415.00

* Incluye precio de ducto e instalación.

M COSTOS: \$ 5,264'577,100.00

V.3 ANALISIS DE COSTO POR UNIDAD (ALIMENTADOR).

De la tabla anterior se puede concluir que el costo por alimentador es:

$$C/A = \$ 5\,264' 577, 100.00 \text{ M/N.}$$

Considerando que todos los alimentadores tienen la misma distancia aproximada (esto significa que cada SR tiene -- una SE asociada de la CLYF, y es la más cercana) el producto de C/A por el número de alimentadores (12) nos da el costo total de la alternativa 1, en consecuencia:

$$\text{COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 1} = \$ \underline{63\,174' 926, 000.00 \text{ M/N.}}$$

Ahora, tomando como referencia ésta alternativa de alimentación, este costo se tomó como valor base por lo tanto:-
COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 1 = 1.0 P.U.

Procediendo de la misma forma, y teniendo en cuenta las configuraciones mostradas en las figuras V.2 a V.6 y dando - por hecho que los diagramas empleados en las SE's de la CLYF son semejantes, así como manteniendo la misma consideración de distancia entre SE's y SR's, se obtienen las tablas V.2, V.3 a V.6 con sus costos asociados.

FIGURA V-2

ALTERNATIVA 2

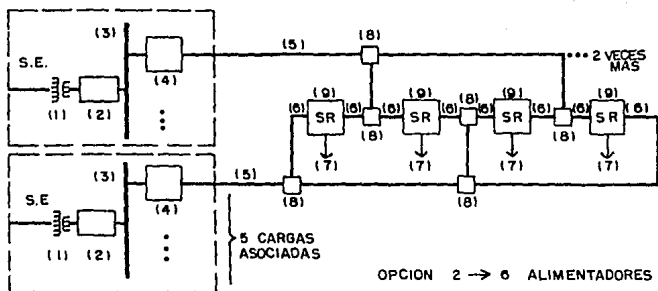


TABLA V-2

ELEMENTO	COSTO POR UNIDAD (\$)	UNIDS.	COSTO TOTAL
TRANSFORMADOR (S.E.)	3,371'960,700.**	1/5	674'392,140.**
INTERRUPTOR GRAL. (S.E.)	65'916,000.**	1/5	13'183,200.**
BUS (S.E.)	1'241,728.**	1/5	248,345.60
INTERRUPTOR DEL CABLE TRONCAL	7'453,227.**	1	7'453,227.**
CABLE TRONCAL	[m] 64,903.**	3(2)(5) km	1,947'090,000.**
ACOMETIDA AL INTERRUPTOR	[m] 717,827.**	2(5 km)	7,178'270,000.**
ACOMETIDA AL CLIENTE	279,381.**	2	558,762.**
INTERRUPTOR RAC DE 3 VIAS	442,131.**	3	1'326,393.**
INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA AUTOMATICA	5'898,415.**	2	11'796,830.**
Σ COSTOS:			\$ 9,834'318,900.**

De la tabla anterior :

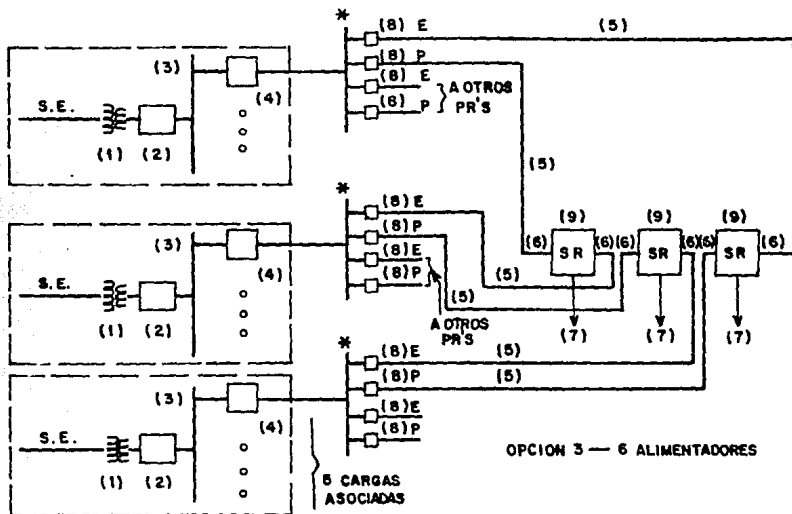
C/A = \$ 9 834' 318, 900.00 M/N.

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 2 = \$ 59 005' 913, 000.00 M/N.

EN P.U. : COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 2 = 0.9340 P.U.

FIGURA V - 3
ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL ANALISIS

ALTERNATIVA 3



* SU COSTO SE DESPRECIA

OPCION 3 - 6 ALIMENTADORES

TABLA V-3.

ELEMENTO	COSTO POR UNIDAD(\$)	UNIDADES	COSTO TOTAL
TRANSFORMADOR (S.E.)	3,371'960,700.00	1/20	168'598,040.00
INTERRUPTOR GENERAL (S.E.)	65'916,000.00	1/20	3'295,800.00
BUS (S.E.)	1'241,728.00	1/20	62,086.40
INTERRUPTOR DEL CABLE TRONCAL.	7'453,227.00	1/4	1'863,306.80
CABLE SUBTRONCAL. [m]	64,903.00	3(5 Km.)	973'545,000.00
ACOMETIDA AL INTERRUPTOR [m]	717,827.00	1(5 Km.)	3,589'135,000.00
ACOMETIDA AL CLIENTE.	279,381.00	1/2	139,690.50
INTERRUPTOR EN VACIO 400 A.	452,131.00	1	452,131.00
INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA AUTOMATICA.	5'898,415.00	1/2	2'949,207.00
M COSTOS:			4,740'040,300.00

De la tabla anterior :

C/SUBAL. = \$ 4 740' 043, 300.00 M/N

C/A = \$ 18 960' 161, 000.00 M/N.

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 3 = \$ 113 760' 970, 000.00 M/N.

EN PU. COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 3 = 1.800 P.U.

FIGURA V-4

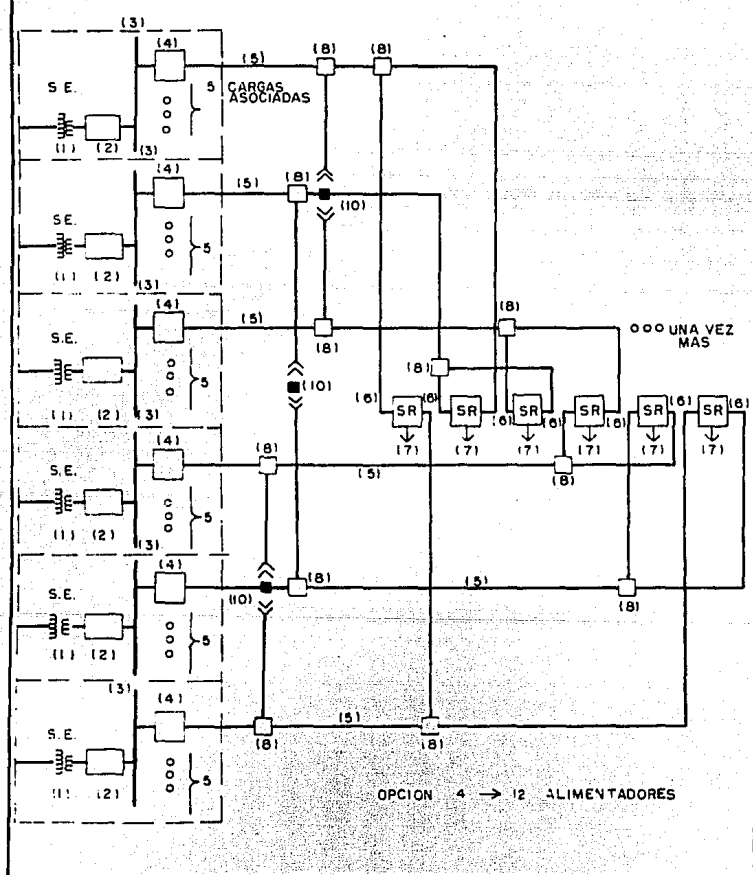


TABLA V-4

ELEMENTO	COSTO POR UNIDAD (\$)	UNIDADES	COSTO TOTAL
TRANSFORMADOR (S.E.)	3,371'960,700.00	1/5	674'392,140.00
INTERRUPTOR GENERAL (S.E.)	65'916,000.00	1/5	13'183,200.00
BUS (S.E.)	1'241,728.00	1/5	248,345.60
INTERRUPTOR DEL CABLE TRONCAL	7'453,227.00	1	7'453,227.00
CABLE TRONCAL [M]	64,903.00	3(5 Km)	973'545,000.00
ACOMETIDA AL INTERRUPTOR* [M]	717,827.00	1(5 Km)	3,589'135,000.00
ACOMETIDA AL CLIENTE	279,381.00	1	279,381.00
INTERRUPTOR RAC DE 3 VIAS	442,441.00	2	884,882.00
INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA AUTOMATICA	5'898,415.00	1	5'898,415.00
INTERRUPTOR DE ENLACE	7'453,227.00	1/2	3'726,613.00

* Incluye precio de ducto e instalación

Σ COSTOS \$ 5,268'746,200.00

De la tabla anterior:

C/A = \$ 5 268' 746, 200.00 M/N

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 4 = \$ 63 224' 954, 000.00 M/N.

EN P.U. COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 4 = 1.00079 P.U.

ALTERNATIVA 5

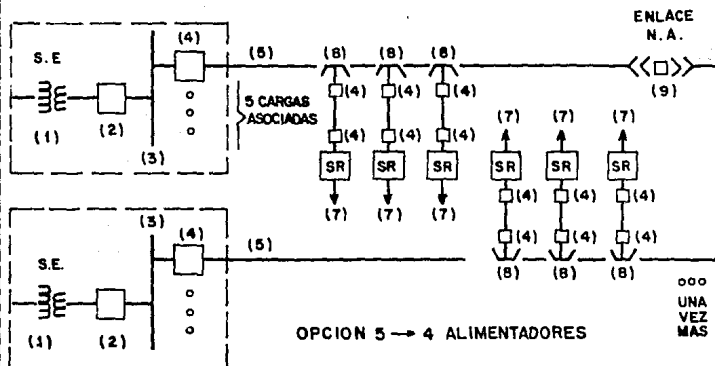


FIGURA V - 5

TABLA V - 5

ELEMENTO	COSTO POR UNIDAD (\$)	UNIDADES	COSTO TOTAL
TRANSFORMADORES (S.E.)	3,371'960,700.00	1/6	6 74 ' 392,140.00
INTERRUPTOR GRAL.(S.E.)	65'916,000.00	1/5	13 ' 183,200.00
BUS (S.E.)	1'241,728.00	1/5	248,345.60
INTERRUPTOR DEL CABLE TRONCAL	7'453,227.00	7	52' 172,589.00
CABLE TRONCAL	[m] 64,903.00	[m] 3(1.5/5)	1,460' 317,500.00
ACOMETIDA AL INTERRUPTOR	[m] 717,827.00	LS(5/5)	5,383' 702,500.00
ACOMETIDA AL CLIENTE	279,381.00	3	838,143.00
CUCHILLAS PARA SECCIONAR	201,984.00	6	1' 211,904.00
INTERRUPTOR DE ENLACE	7'453,227.00	1/2	3'726,613.50
Σ COSTOS :			\$ 7,589'792,900.00

De la tabla anterior :

C/A = \$ 7 589' 792, 900.00 M/N

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 5 = \$ 30 359' 172, 000.00 M/N

EN P.U. : COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 5 = 0.4805 P.U.

FIGURA V-6

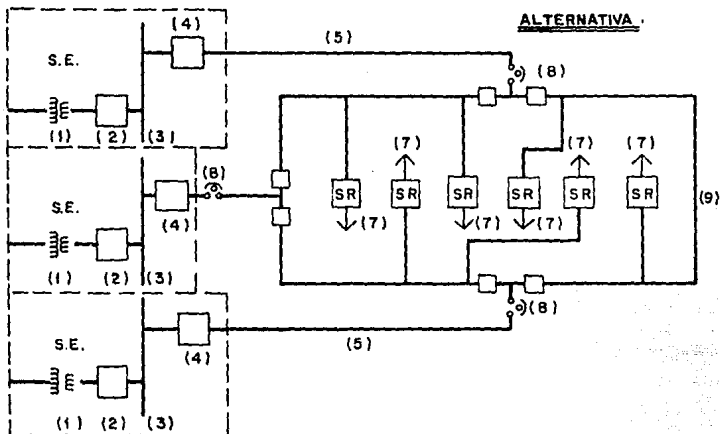


TABLA V-6

ELEMENTO	COSTO POR UNIDAD (\$)	UNIDS	COSTO TOTAL
TRANSFORMADOR (S.E.)	3,371'960,700.**	1/8	674'392,140.**
INTERRUPTOR GRAL.(S.E.)	68'916,000.**	1/8	13'183,200.**
BUS (S.E.)	1'453,227.**	1/8	248,345.**
INTERRUPTOR DEL CABLE TRONCAL	7'453,227.**	1	7'453,227.**
CABLE TRONCAL (m)	64,903.**	3(8km)	973'545,000.**
ACOMETIDA AL INTERRUPTOR (m)	717,827.**	1(8.33) km	5,981'891,600.**
ACOMETIDA AL CLIENTE	279,381.**	2	558,762.**
PROTECTOR DE RED	21'142,021.**	1	21'142,021.**
CABLE DEL ANILLO (m)	64,903.**	3(3.33) km	649'030,000.**
INTERRUPTOR DEL ANILLO	7'453,227.**	2	14'906,454.**
			COSTOS: \$8,336'350,800.**

De la tabla anterior.

C/A = \$ 8 336' 350, 800.00 M/N

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 6 = \$ 50 018' 105, 000.00 M/N.

EN P.U. : COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 6 = 0.9183 P.U.

C A P I T U L O VI

ANALISIS DE COSTO - CONFIABILIDAD

VI.1 LA CONTINUIDAD COMO FUNCION DE LA CONFIABILIDAD.

En la confiabilidad del sistema de distribución eléctrica radica la continuidad del Sistema de Transporte Colectivo Metro. Por lo tanto debe utilizarse un sistema confiable, ya que una interrupción en el suministro implicaría una paralización del servicio y esto daría por resultado un aumento considerable de usuarios sin servicio en las estaciones, lo cual es indeseable debido a que no existe otro medio de transporte que pueda absorber la demanda.

Es por esta razón que se debe emplear un método adecuado que analice la confiabilidad desde un punto de vista objetivo y que sea general. Se han realizado estudios con criterios de confiabilidad basados en experiencias previas para analizar diseños futuros. Esto no es apropiado porque las condiciones bajo las cuales esos criterios fueron desarrollados tienen cambios. Una tendencia reciente en la industria ha tenido evaluaciones rigurosas de criterios de confiabilidad para realizar un estudio de costo-beneficio, balanceando el costo de varios niveles de confiabilidad del suministro contra el beneficio a los usuarios de esos niveles. Esta aproximación tuvo la necesidad de un medio para cuantificar los beneficios de los usuarios de un sistema seguro, o inversamente, las consecuencias a los usuarios de un sistema inseguro. Un problema inherente con esta aproximación del cos-

to de interrupción al usuario es que ignora las diferentes consecuencias a los usuarios y como esas consecuencias varían con las características de la interrupción. Es por esto que ésta aproximación no es de la utilidad que se requiere.

Un estudio mas reciente ha buscado vencer estas deficiencias calculando la frecuencia y duración de las interrupciones, así como el costo de instalación para poder seleccionar una alternativa que sea óptima. Este estudio se describe a continuación.

VI.2 PASOS A SEGUIR EN EL ESTUDIO DE CONFIABILIDAD SELECCIONADO.

El punto de inicio en el procedimiento del cálculo de la relación costo/confiabilidad es el establecimiento de las tasas de fallas de los componentes del sistema en cuestión. Estas tasas son obtenidas por medio de estimaciones estadísticas sobre datos de fallas.

El segundo procedimiento o segundo paso, es recopilar una lista de procedimientos de operación de emergencia o funciones de trabajo, es decir las actividades que se deben realizar para restablecer el servicio.

El próximo paso es la obtención de los costos de los componentes del sistema basados en los precios de compra.

El cuarto paso es combinar los resultados del primero y segundo paso para obtener la frecuencia y duración de la interrupción de la alternativa.

Finalmente el quinto paso es combinar los resultados del cuarto paso con los coeficientes de costos recolectados en el tercer paso para calcular los resultados finales y así decidir la mejor alternativa.

VI.3 ANALISIS DE CONFIABILIDAD.

La confiabilidad en el servicio esta relacionada con la calidad del servicio en términos de presencia o ausencia de voltaje en el servicio al usuario. La confiabilidad puede expresarse de varias formas. Desde el punto de vista del usuario, el número y la duración de las interrupciones en el servicio son de interés primario. Los índices de confiabilidad o medición de utilidad usados en el análisis son :

$$P = \frac{\text{Indice de frecuencia de interrupción del sistema}}{\text{Suma de todas las interrupciones al usuario en un año}} = \frac{\text{Número de usuarios atendidos}}{\text{Número de usuarios atendidos}}$$

$$= \frac{\text{Interrupciones por usuario por año}}{\text{Número de usuarios atendidos}}$$

$$d = \frac{\text{Indice de duración interrupción del sistema}}{\text{Suma de todas las duraciones de las interrupciones por año}} = \frac{\text{Número de usuarios atendidos}}{\text{Número de usuarios atendidos}}$$

= Minutos de salida
por usuario por año.

t_{\max} = Tiempo máximo de interrupción.

El promedio de duración de interrupciones por varios diseños de sistemas y los costos por usuario de los sistemas respectivos pueden ser expresados en valores por unidad con un sistema base para fácil comparación. El inverso del producto de la duración promedio por unidad y el costo por unidad es definido como "figura de mérito", el cual puede ser usado como una gafa en los diseños. El mejor diseño es aquel con la mayor "figura de mérito" o número "FM".

Sea :

λ_i = Tasa de falla del componente.

n_i = Número de componenetes iguales.

c_i = Factor de peso o número en por unidad de usuarios afectados por componenete fallado.

t_{ij} = Tiempo asociado de operación de funciones de trabajo paso por paso en componentes fallado aislado.

c_{ij} = Número de usuarios por unidad afectados durante la operación paso por paso de las funciones de trabajo por unidad.

x = Longitud del circuito.

c = Costo del sistema en pesos por usuario atendido o en-
por unidad de la base del sistema.

donde i = Índice por componente y j = índice por funciones -
de trabajo.

La frecuencia promedio de interrupción para un diseño -
dado es obtenida por :

$$\bar{f} = n_1 c_1 \lambda_1 + n_2 c_2 \lambda_2 + n_3 c_3 \lambda_3 + \dots + n_n c_n \lambda_n = \sum_{i=1}^n n_i c_i \lambda_i$$

El promedio de duración de interrupciones resultante de
todas las posibles localizaciones de falla del alimentador -
es calculado apropiadamente combinado varias funciones de -
trabajo relevantes y el número de usuarios afectados por la-
salida

$$\bar{d} = n_1 \lambda_1 \sum_{j=1}^{m_1} c_{1j} t_{1j} + n_2 \lambda_2 \sum_{j=1}^{m_2} c_{2j} t_{2j} + n_3 \lambda_3 \sum_{j=1}^{m_3} c_{3j} t_{3j} + \dots + n_n \lambda_n \sum_{j=1}^{m_n} c_{nj} t_{nj}$$

El tiempo máximo de interrupción esta dado por:

$$t_{\max} = \text{Máximo de } \sum_{j=1}^{m_i} t_{ij}$$

La figura de mérito es calculada como sigue:

$$FDM = \frac{1}{c \cdot \bar{d}}$$

Estos índices proporcionan una medida numérica de la confiabilidad y son los más comúnmente usados por el total de sistemas. Esto es, ellos también pueden aplicarse a tipos de construcción aérea o subterránea, a voltajes primarios diferentes, a subestaciones de distribución o aún a circuitos alimentadores individuales.

Entre los índices de confiabilidad definidos, el promedio de frecuencia de interrupción \bar{f} y el promedio de duración de interrupción \bar{d} contestan la pregunta de cuantas veces y cuanto tiempo en promedio, un usuario esta expuesto a ser afectado por una interrupción. El tiempo máximo de interrupción promedio t_{\max} es determinado por el cociente de la suma de todas las duraciones de las interrupciones de los últimos usuarios afectados que son restaurados al servicio sobre el número de interrupciones durante un año. Este índice es una medida de la posible irritación de los usuarios afectados e indica el peor de los casos.

Las salidas en el servicio pueden ser no planeadas (forzadas) debido a fallas en el circuito o en el equipo, o planeadas con el propósito de dar mantenimiento o realizar expansiones. Salidas en el circuito primario son la causa predominante en las interrupciones en el servicio. Los esfuerzos para controlar la confiabilidad en el servicio deben dirigirse a: el control del número de salidas del circuito pri

mario, el número de usuarios afectados por una salida en el circuito primario dado y la duración de las interrupciones - en el servicio. Fallas en el equipo y salidas en el circuito secundario también son importantes pero son menos significativas debido a que son pocos los usuarios afectados. El control en la confiabilidad en el servicio envuelve el diseño, construcción, y operación del sistema de distribución.

VI.4 TABLAS Y EJEMPLO DE CALCULO.

Para continuar con el análisis es necesario conocer los datos de tasas de falla, funciones de trabajo y costos asociados (mostrados en el capítulo V) para utilizarlos en los cálculos posteriores. Estos datos se muestran en las tablas VI-1, VI-2 y VI-3 respectivamente.

Con el objeto de dar mayor claridad en la obtención de los resultados de las tablas VI-4 a VI-9, a continuación se presenta un ejemplo de cálculo de los índices \bar{F} , \bar{d} y t_{max} de la opción 1 considerando que el elemento fallado es el interruptor de transferencia automática.

Cabe señalar que los índices totales \bar{F} , \bar{d} y t_m para cada una de las opciones están dados por la suma de estos mismos índices para cada elemento analizado parcialmente.

- Ejemplo de cálculo:

TABLA VI - I

TASAS DE FALLA PARA LOS COMPONENTES DEL
SISTEMA DE DISTRIBUCION DE LA CLYF

Nº	COMPONENTE	TASA DE FALLA FALLAS/UNID/AÑO
1	INTERRUPTOR DE LA SUBESTACION	0.043
2	CABLE TRONCAL	0.005
3	INTERRUPTOR DE TRANSF AUTOMA.	0.008
4	ACOMETIDA AL CLIENTE	0.030
5	CABLE SUBTRONCAL	0.030
6	INTERRUPTOR DEL SUBALIMENTADOR	0.005
7	INTERRUPTOR RAC DE 3 VIAS	0.005
8	ACOMETIDA AL INTERRUPTOR	0.030
9	PROTECTOR DE RED	0.005
10	BUSES	0.001
11	CABLE DEL ANILLO	0.030
12	INTERRUPTOR DE ENLACE	0.043
13	CUCHILLAS	0.003
14	FUSIBLES LIMITADORES	0.008
15	CAJAS DE DERIVACION	0.001
16	TRANSFORMADORES DE INTERIOR	0.002
17	INTERRUPTOR DE ANILLO	0.005
18	INTERRUPTOR DEL CABLE TRONCAL	0.005

TABLA VI - 2

TIPO	OPERACION	TIEMPO EN HORAS
F 1	RECEPCION DE LA QUEJA Y DESPLAZAMIENTO AL LUGAR	1.25
F 2	OPERACION DE UN DISPOSITIVO DE SECCIONAMIENTO MANUAL SUMERGIBLE	0.35
F 3	LOCALIZACION DE LA FALLA Y DE LA CAUSA	8.00
F 4	REPARACION DE LA FALLA	2.00
F 5	RESTAURACION DEL SERVICIO DEL ALIMENTADOR TRONCAL O RAMAL	0.10
F 6	IDENTIFICACION DEL EQUIPO FALLADO O REEMPLAZO DE FUSIBLES	0.50
F 7	REEMPLAZO DE TRANSFORMADOR	10.00
F 8	REEMPLAZO DE INTERRUPTOR (MANUAL, SUMERGIBLE, AIRE ETC.)	8.00
F 9	REEMPLAZO DE ACOMETIDA EN M.T.	6.00
F 10	REEMPLAZO DE BUS	8.00
F 11	OPERACION DE INTERRUPTOR MANUAL SUMERGIBLE	0.40
F 12	PUNTEO DE UN INTERRUPTOR FALLADO	1.50

FUNCIONES DE TRABAJO CON TIEMPOS PROMEDIO PARA PONER EN SERVICIO ALGUN ELEMENTO FALLADO. (DATOS DE CLYF).

TABLA VI-3

COSTOS ASOCIADOS A LAS ESTRUCTURAS PROPUESTAS

OPCIONES	COSTO POR ALIMENTADOR	COSTO TOTAL
UNO	\$ 5, 264' 577,000.00	\$ 63,174' 926,000.00
DOS	\$ 9, 834' 318, 900.00	\$ 59, 005 913, 000.00
TRES	\$ 18, 960' 161, 000.00	\$ 113, 760' 970,000.00
CUATRO	\$ 5, 268' 746, 200.00	\$ 63, 224' 954,000.00
CINCO	\$ 7, 598' 422, 900.00	\$ 30, 359' 172, 000.00
SEIS	\$ 8, 336' 350, 800.00	\$ 50, 018' 105, 000.00

Interruptor de transferencia automática.

$$n_3 = 12, \quad x_3 = 1, \quad c_3 = 1/12, \quad \lambda_3 = 0.008$$

$c_3 = 1/12$ ya que si falla este elemento, una SR sale de servicio de 12 que conforman la línea.

Funciones de trabajo: F1, F3, F12, F8, F12, F5. Sus tiempos son: 1.25, 8.0, 1.0, 0.1 H respectivamente.

Las funciones de trabajo son: 1/12, 1/12, 1/12, 0, 1/12, 1/12.

Teniendo en cuenta que :

$$\bar{f} = n_1 c_1 \lambda_1 + n_2 c_2 \lambda_2 + \dots n_i c_i \lambda_i$$

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n x_i \lambda_i \sum_{j=1}^m c_{ij} t_{ij}$$

se tiene que:

$$f = 12 (1) (1/12) (0.008) = 0.008$$

$$d = 1 (0.008) 1.25 (1/12) + 8.0 (1/12) + 1.5 (1/12) + 8.0 (0) + 1.5 (1/12) + 0.1 (1/12)$$

$$d = 12(0.008) 1.25 (1/12) + 8 (1/12) + 1.5 (1/12) + 1.5 (1/12) + 0.1 (1/12) = 0.0988$$

$$t = 1.25 + 8.0 + 1.5 + 8.0 + 1.5 + 0.1 = 20.35 \text{ hrs}$$

estos resultados se muestran en su lugar respectivo dentro de la tabla VI-4.

VI.5 RESULTADOS.

TABLA VI-6.

OPCION 3.

INDICES DE CONFIABILIDAD.

COMPO- NENTE:	n1	xi	ci	xi	TIEMPO DE OPERACION [Tij]								USUARIOS AFECTADOS [Cij]								f̄	d̄	t	c FALLA													
					T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18																	
1	12	1	0	0.043	F6 0.5	F8 8.0	F5 0.1													F6 0	F8 0	F5 0										0	0	8.6	0		
5	24	3(X5)	0	0.005	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28								C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28							0	0	11.35	0
3	12	1	1/12	0.006	F1 1.25	F3 8.0	F4 2.0	F5 0.1												F1 1/2	F3 1/2	F4 0	F5 0									0.006	0.099	20.35	16.35		
4	12	1	1/12	0.08	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38								C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38							0.03	0.461	15.35	76.24
8	24	2	0	0.03	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48								C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47	C48							0	0	15.35	0
10	12	1	0	0.001	F1 1.25	F3 8.0	F8 6.0	F5 0.1												F1 0	F3 0	F8 0	F5 0									0	0	16.10	0		
18	12	1	0	0.005	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T67	T68								C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68							0	0	8.6	0
6	24	2	0	0.005	F3 8.0	F10 8.0	F5 0.1													F3 0	F10 0	F5 0										0	0	17.35	0		
-					T71	T72	T73	T74	T75	T76	T77	T78								C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78							-	-	-	-
					F6 0.5	F8 8.0	F5 0.1													F6 0	F8 0	F5 0															
					T81	T82	T83	T84	T85	T86	T87	T88								C81	C82	C83	C84	C85	C86	C87	C88										
					F1 1.25	F3 8.0	F8 8.0	F5 0.1												F1 0	F3 0	F8 0	F5 0														
					T91	T92	T93	T94	T95	T96	T97	T98								C91	C92	C93	C94	C95	C96	C97	C98										

$$\bar{f} = n_1 c_1 \lambda_1 + n_2 c_2 \lambda_2 + n_3 c_3 \lambda_3 + \dots + n_n c_n \lambda_n ; \bar{d} = \sum_{i=1}^n x_i \lambda_i \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}$$

$$\sum = 0.0360559320.35 92.6$$

Donde: ni → N° de unidades; xi → N° de componentes o Km de circuito; ci → N° de usuarios afectados por elemento fallado; xi → Tasa de falla del componente.

t_{máx.}

TABLA VI-7.

OPCION 4.

INDICES DE CONFIABILIDAD

COMPO- NENTE.	ni	xi	ci	λi	TIEMPO DE OPERACION [Tij]								USUARIOS AFECTADOS [Cij]								f̄	d̄	t	c FALLA								
					T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18												
1	12	1	0	0.043	F6 0.5	F8 8.0	F5 0.1							F6 0	F8 0	F5 0										0	0	8.6	0			
10	12	1	0	0.001	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28												
18	12	1	0	0.005	F3 8.0	F10 8.0	F5 0.1							F3 0	F10 0	F5 0										0	0	16.10	0			
2	12	3(1)5	0	0.005	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38												
8	24	2	0	0.03	F6 0.5	F3 8.0	F5 0.1							F6 0	F8 0	F5 0										0	0	8.6	0			
4	12	1	1/12	0.03	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48	C41	C42	C43	C44	C45	C46	C47	C48												
7	12	1	0	0.005	F1 1.25	F3 8.0	F4 2.0	F5 0.1						F1 0	F3 0	F4 0	F5 0									0	0	11.35	0			
3	12	1	1/12	0.008	T51	T52	T53	T54	T55	T56	T57	T58	C51	C52	C53	C54	C55	C56	C57	C58												
12	6	1/2	0	0.043	F1 1.25	F3 8.0	F9 6.0	F5 0.1						F1 0	F3 0	F9 0	F5 0									0	0	15.35	0			
7	12	1	0	0.005	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T67	T68	C61	C62	C63	C64	C65	C66	C67	C68												
3	12	1	1/12	0.008	F1 1.25	F3 8.0	F9 6.0	F5 0.1						F1 1/12	F3 1/12	F9 1/12	F5 1/12									0	0.4800	15.35	76.24			
12	6	1/2	0	0.043	T71	T72	T73	T74	T75	T76	T77	T78	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78												
7	12	1	0	0.005	F1 1.25	F3 8.0	F8 8.0	F5 0.1						F1 0	F3 0	F8 0	F5 0									0	0	17.35	0			
3	12	1	1/12	0.008	T81	T82	T83	T84	T85	T86	T87	T88	C81	C82	C83	C84	C85	C86	C87	C88												
12	6	1/2	0	0.043	F1 1.25	F3 8.0	F12 1.5	F8 8.0	F12 1.5	F5 0.1				F1 1/12	F3 1/12	F12 1/12	F8 0	F12 1/12	F5 1/12						0.08	0.0988	20.35	16.25				
12	6	1/2	0	0.043	T91	T92	T93	T94	T95	T96	T97	T98	C91	C92	C93	C94	C95	C96	C97	C98												
					F1 1.25	F3 8.0	F8 8.0	F5 0.1						F1 0	F3 0	F8 0	F5 0									0	0	17.35	0			

$$\bar{f} = n_1 c_1 \lambda_1 + n_2 c_2 \lambda_2 + n_3 c_3 \lambda_3 + \dots + n_n c_n \lambda_n ; \bar{d} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}$$

Donde: ni → N° de unidades; xi → N° de componentes o Km de circuito; ci → N° de usuarios afectados por el elemento fallado; λi → Tasa de falla del componente.

$$\sum = 0.11 \quad 0.5668 \quad 20.35 \quad 92.6$$

tmdx.

A partir de todo lo expuesto anteriormente se procedió a calcular los índices \bar{d} , \bar{f} y t para cada alternativa. Los resultados se muestran en las tablas VI-4 a VI-9.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en las tablas anteriores y los costos obtenidos en el capítulo V, se puede hacer una sola tabla que muestre dichos resultados, así como la Figura de Mérito para cada alternativa. Esto se muestra en la tabla VI-10.

De los resultados mostrados en dicha tabla y teniendo en cuenta que la estructura elegida como sistema base (FM = 100 %), se puede afirmar que la estructura número 2 es la mejor alternativa factible de utilizar para el Metro, ya que cuenta con la mayor Figura de Mérito (FM= 107.066).

TABLA VI-10

FIGURAS DE MERITO PARA CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS.

OPCION	INDICE \bar{d}	COSTO [\$]	$\bar{d} \cdot (\text{COSTO})$	FM [$\times 10^{-11}$]	% FM
1	0.5593	63,174'926,000.00	35,333'736,000.00	2.8301	100.00
2	0.5593	59,005'913,000.00	33,002'007,000.00	3.0301	<u>107.07</u>
3	0.5593	113,760'970,000.00	63,626'511,000.00	1.5716	55.531
4	0.5593	63,224'954,000.00	35,361'717,000.00	2.8279	99.92
5	2.8449	30,359'172,000.00	86,368'808,000.00	1.1578	40.910
6	7.444	50,018'105'000.00	372,334'770,000.00	0.2685	9.487

C A P I T U L O V I I

ANALISIS DE SENSITIVIDAD

El análisis de sensibilidad consiste en efectuar variaciones de ciertos parámetros de diseño para investigar la validez de los resultados. Aquí se presentan dos situaciones:

- 1) Variaciones en las tasas de falla de los componentes y
- 2) Variaciones en el tiempo requerido para las funciones del trabajo.

VII.1 VARIACIONES EN LAS TASA DE FALLA DE LOS COMPONENTES.

Reconociendo que las tasas de falla de algunos componentes subterráneos pueden variar considerablemente de los valores empleados en la tabla VI.1, los efectos de esas variaciones en los índices de confiabilidad serán comparados en los siguientes casos (ver tabla VII.1) :

- . Caso 1.- Tasas de falla originalmente estimados,
- . Caso 2.- Doble tasa de falla en el cable,
- . Caso 3.- Doble tasa de falla de interruptores y seccionadores.

Los resultados del cálculo de las "figuras de mérito" - en por unidad del caso 1, tomado con sistema base, y los porcentajes de cambio respecto a este caso de los demás sistemas son mostrados en la tabla VII.2, siguiendo el mismo procedimiento del capítulo anterior.

TABLA VII - 1

COMPONENTE	CASO 1	CASO 2	CASO 3
INTERRUPTOR DE LA S.E.	0.0430	0.0430	0.0860 *
CABLE TRONCAL	0.0050	0.0100 *	0.0050
INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA AUTOMATICA	0.0080	0.0080	0.0160 *
ACOMETIDA AL CLIENTE	0.0300	0.0300	0.0300
CABLE SUBTRONCAL	0.0300	0.0600 *	0.0300
INTERRUPTOR DEL SUB-ALIMENTADOR	0.0050	0.0050	0.0100 *
INTERRUPTOR RAC DE TRES VIAS	0.0050	0.0050	0.0100 *
ACOMETIDA AL INTERRUPTOR	0.0300	0.0300	0.0300
PROTECTOR DE RED	0.0050	0.0050	0.0100 *
BUSES	0.0010	0.0010	0.0010
CABLE DEL ANILLO	0.0300	0.0600 *	0.0300
INTERRUPTOR DE ENLACE	0.0430	0.0430	0.0860 *
CUCHILLAS	0.0030	0.0030	0.0060 *
FUSIBLES LIMITADORES	0.0080	0.0080	0.0080
CAJAS DE DERIVACION	0.0010	0.0010	0.0010
TRANSFORMADORES DE INTERIOR	0.0020	0.0020	0.0020
INTERRUPTOR DEL ANILLO	0.0050	0.0050	0.0100 *
INTERRUPTOR DEL CABLE TRONCAL	0.0050	0.0050	0.0100 *

VARIACIONES EN LAS TASAS DE FALLA DE ALGUNOS COMPONENTES

TABLA VII-2

OPCION	F M [%]				
	CASO 1	CASO 2	% CAMBIO	CASO 3	% CAMBIO
1	100.00	100.00	0	84.986	15.014
2	<u>107.066</u>	<u>107.066</u>	0	<u>90.887</u>	15.014
3	55.531	55.531	0	47.196	15.014
4	99.922	99.922	0	84.919	15.014
5	40.910	28.391	30.601	24.405	40.344
6	9.487	4.953	47.791	9.272	2.269

COMPARACION DE LAS FIGURAS DE MERITO PARA LOS CASOS 1, 2 Y 3.

De la tabla anterior puede observarse que para los casos 2 y 3, la alternativa 2 sigue siendo la que tiene mayor número FM, aún variando la tasa de falla en algunos componentes. Por lo tanto, para estos casos se puede afirmar que esta alternativa permanece como la mejor opción.

VII.2 VARIACIONES EN EL TIEMPO REQUERIDO PARA LAS FUNCIONES DE TRABAJO.

Los efectos de las variaciones en el tiempo requerido para las funciones de trabajo involucradas en la restauración del servicio son comparadas en los siguientes casos (ver tabla VII.3) :

- . Caso 1.- Tiempo requerido originalmente estimado.
- . Caso 4.- El doble del tiempo requerido para localizar la falla.
- . Caso 5.- El doble del tiempo requerido para "Bypassear" o desviar un interruptor o seccionador fallado y reparar el cable principal o troncal.

Las "figuras de mérito" en por unidad del caso 1 o sistema base y sus porcentajes de cambio respecto al primer caso de los diferentes sistemas son mostrados en la tabla VII-4, siguiendo el mismo procedimiento del capítulo VI.

TABLA VII-3

VARIACIONES DE ALGUNAS FUNCIONES DE TRABAJO.

TIPO	OPERACION	CASO 1	CASO 4	CASO 5
F 1	RECEPCION DE LA QUEJA Y DESPLAZAMIENTO AL LUGAR.	1.25	1.25	1.25
F 2	OPERACION DE UN DISPOSITIVO DE SECCIONAMIENTO MANUAL SUMERGIBLE .	0.35	0.35	0.35
F 3	LOCALIZACION DE LA FALLA Y DE LA CAUSA .	8.00	16.00*	8.00
F 4	REPARACION DE LA FALLA .	2.00	2.00	4.00*
F 5	RESTAURACION DEL SERVICIO DEL ALIMENTADOR TRONCAL O RAMAL .	0.10	0.10	0.10
F 6	IDENTIFICACION DEL EQUIPO FALLADO O REEMPLAZO DE FUSIBLES	0.50	0.50	0.50
F 7	REEMPLAZO DE TRANSFORMADOR	10.00	10.00	10.00
F 8	REEMPLAZO DE INTERRUPTOR (MANUAL, SUMERGIBLE, AIRE, ETC.).	8.00	8.00	8.00
F 9	REEMPLAZO DE ACOMETIDA EN M.T.	6.00	6.00	6.00
F 10	REEMPLAZO DE BUS	8.00	8.00	8.00
F 11	OPERACION DEL INTERRUPTOR MANUAL SUMERGIBLE .	0.40	0.80*	0.40
F 12	PUNTEO DE UN INTERRUPTOR FALLADO.	1.50	1.50	3.00*

TABLA VII- 4

COMPARACION DE LAS FIGURAS DE MERITO PARA LOS CASOS 1,4 Y 5.

OPCION	CASO 1	CASO 4	%CAMBIO	CASO 5	% CAMBIO
1	100.00	60.577	39.423	95.887	4.1130
2	107.066	<u>64.856</u>	39.423	<u>102.660</u>	4.1130
3	55.531	33.638	39.423	53.249	4.1130
4	99.922	60.527	39.423	95.809	4.1130
5	40.910	25.783	36.976	40.567	0.8384
6	9.487	5.621	40.750	8.169	13.8920

Los resultados anteriores demuestran que la alternativa 2 permanece con la FM mayor, aún y cuando se varíen los tiempos requeridos en las funciones de trabajo.

De acuerdo con los casos 2 y 3, y ahora con los casos 4 y 5 puede concluirse de manera global que los resultados obtenidos en el capítulo VI son válidos.

VII.3 DOBLE CONTINGENCIA O FALLA SIMULTANEA DE DOS ALIMENTADORES.

El análisis anterior de confiabilidad está basado en la contingencia del primer evento o la falla de un solo alimentador a un instante dado. El caso de doble contingencia o falla simultánea de dos alimentadores no puede ignorarse por completo del análisis de confiabilidad en algunos diseños. En el caso de que se requiera una alta continuidad en el servicio deben emplearse los sistemas con mayor FDM sobre aquellos sistemas que tengan poco o ningún respaldo. Esta debe ser una consideración importante no solo para el STC Metro, sino también para aquellas industrias que operen bajo procesos continuos.

C A P I T U L O V I I I

EJEMPLO DE APLICACION

En el presente capítulo se aplicará el análisis de cos to confiabilidad realizado en el capítulo VI en una línea - del Metro real.

La línea seleccionada es la línea 7 NORTE- NORTE (pro- longación de la línea 7 existente) que corre de Tacuba a el Rosario, que cuenta con 4 estaciones y una longitud total - de 5.86 Km. Esta línea actualmente está en proceso de cons trucción.

COVITUR ha proyectado la construcción de 5 subestacio- nes de rectificación, así como una subestación para alumbrado y fuerza. La figura VIII.1 muestra la ubicación de las estaciones que comprenden esta ampliación, así como sus subestaciones de rectificación.

VIII.1 DATOS NECESARIOS PARA EL ANALISIS.

En base a la ubicación de las SR's, se procedió a en- contrar las subestaciones de la CLYF más cercanas para cono cer la distancia de cada SR a cada subestación de la CLYF - (suponiendo que ésta tengan la capacidad suficiente para - absorber la demanda). Estas subestaciones son:

SE AZCAPOTZALCO

SE. TACUBA

SE. PATERA

SE. VALLEJO

SE. MORALES

En la tabla VIII.1 se muestran las distancias de las -
SE's de la CLYF a cada SR.

TABLA VIII-1

DISTANCIAS (EN Km) DE LAS SUBESTACIONES DE
CLYF A CADA SR.

S.E. DE CLYF SR	S.E. AZCAPOT- ZALCO.	S.E. TACUBA	S.E. PATERA	S.E. VALLEJO	S.E. MORALES
REFINERIA	3.15	1.41	4.95	5.49	3.00
CAMARONES	2.82	1.56	4.14	4.44	3.93
FERROCARRILES	2.61	2.34	3.69	3.60	4.77
AQUILES SERDAN	2.16	3.39	4.08	3.39	5.34
ROSARIO	2.52	4.44	4.41	3.15	6.30
CABECERA ROSARIO	2.79	4.50	4.23	2.88	6.48

De acuerdo con la tabla anterior y teniendo en cuenta las alternativas propuestas se deduce que las alimentaciones a las SR's deben suministrarse de las subestaciones de la - CLYF tal y como lo muestran las tablas VIII-2 a VIII-7.

TABLA VIII-2

OPCION 1	SR	SUBESTACIONES	DT.ASR'S
	REFINERIA	TACUBA Y MORALES	4.41
	CAMARONES	MORALES Y TACUBA	5.49
	FERROCARRILES	PATERA Y AZCAPOTZALCO	6.30
	AQUILES SERDAN	AZCAPOTZALCO Y VALLEJO	5.55
	ROSARIO	VALLEJO Y PATERA	7.56
	CABECERA ROSARIO	AZCAPOTZALCO Y VALLEJO	5.67

TABLA VIII-3

OPCION 2	SR	SUBESTACIONES	DT.ASR'S
	REFINERIA	TACUBA Y AZCAPOTZALCO	4.56
	CAMARONES	VALLEJO Y TACUBA	6.00
	FERROCARRILES	AZCAPOTZALCO Y TACUBA	4.95
	AQUILES SERDAN	AZCAPOTZALCO Y VALLEJO	5.55
	ROSARIO	VALLEJO Y AZCAPOTZALCO	5.67
	CABECERA ROSARIO	TACUBA Y VALLEJO	7.38

TABLA VIII-4

OPCION 3	SR	SUBESTACIONES	DT.ASR'S
	REFINERIA	TACUBA Y AZCAPOTZALCO	4.56
	CAMARONES	VALLEJO Y TACUBA	6.00
	FERROCARRILES	AZCAPOTZALCO Y TACUBA	4.95
	AQUILES SERDAN	AZCAPOTZALCO Y VALLEJO	5.55
	ROSARIO	VALLEJO Y AZCAPOTZALCO	5.67
	CABECERA ROSARIO	TACUBA Y VALLEJO	7.38

TABLA VIII - 5

OPCION 4	SR	SUBESTACIONES	Dt. A SR'S
	REFINERIA	TACUBA Y MORALES	4.41
	CAMARONES	MORALES Y TACUBA	5.49
	FERROCARRILES	PATERA Y AZCAPOTZALCO	6.30
	AQUILES SERDAN	AZCAPOTZALCO Y VALLEJO	5.55
	ROSARIO	VALLEJO Y PATERA	7.56
	CABECERA ROSARIO	AZCAPOTZALCO Y VALLEJO	5.67

TABLA VIII - 6

OPCION 5	SR	SUBESTACIONES	Dt. A SR'S
	REFINERIA	TACUBA / AZCAPOTZALCO	↑
	CAMARONES	TACUBA / AZCAPOTZALCO	
	FERROCARRILES	TACUBA / AZCAPOTZALCO	
	AQUILES SERDAN	TACUBA / AZCAPOTZALCO	19.18
	ROSARIO	TACUBA / AZCAPOTZALCO	↓
	CABECERA ROSARIO	TACUBA / AZCAPOTZALCO	

TABLA VIII - 7

OPCION 6	SR	SUBESTACIONES	Dt. A SR'S
	REFINERIA	TACUBA / AZCAPOTZALCO / VALLEJO	24.985
	CAMARONES	TACUBA / AZCAPOTZALCO / VALLEJO	
	FERROCARRILES	TACUBA / AZCAPOTZALCO / VALLEJO	
	AQUILES SERDAN	TACUBA / AZCAPOTZALCO / VALLEJO	
	ROSARIO	TACUBA / AZCAPOTZALCO / VALLEJO	
	CABECERA ROSARIO	TACUBA / AZCAPOTZALCO / VALLEJO	

Dt → DISTANCIA TOTAL (EN Km.).

Los anteriores resultados se pueden agrupar en, la siguiente tabla :

TABLA VIII-8.

OPCION	DISTANCIA TOTAL [Km]	NUMERO DE ALIMENTADORES	DISTANCIA PROMEDIO POR ALIMENTADOR [Km]
1	34.98	6	5.830
2	34.11	3	5.685
3	34.11	3	5.685
4	34.98	6	5.830
5	19.18	2	3.197
6	24.99	3	4.164

VIII.2 CALCULO DEL COSTO REAL.

A continuación se procede a calcular el costo aproximado de cada alternativa, tomando en cuenta que se tienen 5 alimentadores asociados a las subestaciones de la CLYF, tal y como se realizó en el capítulo V.

Los resultados que se obtuvieron se muestran a continuación :

TABLA VIII-9

ALTERNATIVA	COSTO POR ALIMENTADOR	COSTO TOTAL
1	\$ 6,021'982.029.00	\$ 36,131'892.170.00
2	\$ 11,084'493.220.00	\$ 33,253'479.660.00
3	\$ 21,460'509.680.00	\$ 64,381'529.050.00
4	\$ 6,026'151.084.00	\$ 36,156'906.500.00
5	\$ 7,309'256.555.00	\$ 14,618'513.110.00
6	\$ 8,096'834.500.00	\$ 24,290'503.500.00

VIII.3 CALCULO DE CONFIABILIDAD.

Siguiendo con el mismo análisis de confiabilidad desarrollado en el capítulo VI, solo que sustituyendo valores reales se obtuvieron los resultados que se observan en la siguiente tabla.

TABLA VIII-10.

ALTERNATIVA	INDICE \bar{d}
1	0.5593
2	0.5593
3	0.5593
4	0.5593
5	2.3925
6	4.6247

VIII.4 CALCULO COMPARATIVO DE LAS SIGURAS DE MERITO.

Una vez obtenidos el costo y la confiabilidad de cada-
una de las alternativas, pueden calcularse sus figuras de -
mérito respectivas tal y como se hace a continuación:

TABLA VIII-11

ALTERNATIVA	INDICE \bar{d}	COSTO [\$]	\bar{d} COSTO	F.M. [$\times 10^{-11}$]	% F.M.
1	0.5593	36,131'892.17000	20,208'567.290.00	4.9483	100
2	0.5593	33,253'479.660.00	18,598'671.170.00	5.3767	<u>108.657</u>
3	0.5593	64,381'529.050.00	36,008'589.200.00	2.7771	56.122
4	0.5593	36,156'906.500.00	20,222'557.810.00	4.9449	99.931
5	2.3925	14,618'513.110.00	34,974'792.620.00	2.8592	57.781
6	4.6247	24,290'503.500.00	112,336'291.500.00	0.8901	17.987

En base a los resultados anteriores, y nuevamente tomado en cuenta que la estructura 1 se seleccionó como sistema-base (FM = 100%) se puede determinar que la estructura No. 2 PRIMARIO SELECTIVO (UN ALIMENTADOR POR CADA DOS SR's) es - la mejor alternativa real de utilizar por el STC Metro, ya - que tiene la mayor figura de mérito (FM = 108.657). Con - esto se reconfirma el análisis de sensibilidad.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta todos los resultados de este trabajo, pueden enumerarse las siguientes conclusiones:

- 1) La estructura de Primario Selectivo (un alimentador por cada dos SR's) es la mejor alternativa de alimentación factible de utilizar por el STC Metro, ya que cuenta con la mayor figura de mérito. Aparte, el análisis de sensibilidad demostró la validez de la anterior afirmación, puesto que permanece con el número FM mayor, aún y cuando se varían las tasas de falla de los componentes y las funciones de trabajo.
- 2) No necesariamente la alternativa más económica es la mejor opción. Esto lo demuestra la alternativa 5, puesto que a pesar de ser la más barata tiene una confiabilidad poco aceptable.
- 3) La confiabilidad de las alternativas 1, 2, 3 y 4 es la misma por lo que la selección de alguna de ellas se hace en función de su costo y posteriormente se compara con los restantes.
- 4) Si se aprobará la utilización de la opción 2 como estructura suministradora a la línea 7 NORTE-NORTE, el STC Metro se ahorraría aproximadamente \$ 4 169' 013, 000.00 M/N.
- 5) La alternativa seleccionada permite un uso óptimo de la energía sin descuidar la calidad en el servicio, esto daría como resultado que la CLYF dispusiera de 3 alimentadores de 12 MVA, en vez de 6 de la misma capacidad. Lo an -

terior implica que se dejaría de desperdiciar una gran parte de su capacidad instalada.

6) Este análisis puede aplicarse no solo a sistemas subterráneos o al Metro, sino también a sistemas aéreos, de transmisión y subestaciones.

7) Se recomienda seguir el procedimiento aquí expuesto para alimentar cargas de proyectos futuros en materia de transporte urbano, especialmente para el Metro Ligero.

8) Es importante hacer notar el concepto erróneo los proyectistas del Metro en su primera etapa en lo que respecta a la alimentación en 23 KV, ya que ellos pensaron que la mejor forma de alimentar a las SR's era por medio de una estructura radial y sin respaldos. Aquí se demostró la falsedad del razonamiento anterior.

9) El caso de doble contingencia afecta a las 6 alternativas, y por tanto, se tendría interrupción en el servicio a las SR's asociadas.

10) Por último, se tiene que mencionar que aún y cuando una SR salga del servicio por una falla, la línea del Metro no sufre interrupción de energía, puesto que el STC tiene sus propios respaldos, lo que hace sumamente difícil que los trenes y/o estaciones queden sin alimentación de energía eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- N. E. Chang. "Life-cycle cost evaluation of underground distribution systems". Specifying Engineer, octubre 1979 p.p. 102-104.
- 2.- N. E. Chang. "Cost-reliability index of underground distribution system". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1974. p.p. 414-422.
- 3.- N. E. Chang. "A modular design for underground residential distribution". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1976, p.p. 574-577.
- 4.- W. E. Triplett, Et. Al. "Guideliness for use in developing a specific underground distribution system design - - - standard". IEEE Committe Report, julio 1977, p.p. 1-18
- 5.- COVITUR. "Programa maestro del Metro". DDF, 1985.
- 6.- STC Metro. "Memoria del Metro en su primera etapa" 1977
- 7.- Revista "Ingenieria". Facultad de Ingenieria, UNAM. 1982 p.p. 115-213
- 8.- López Cárdenas F. Et Al. "El transporte en la Ciudad de México. 500 años de evolución". Ed. Castellnova. México 1982.
- 9.- Romero, Hector Manuel. "Historia del transporte en la Ciudad de México". DDF, México 1987.
- 10.- COVITUR "Memoria de Covitur 1977-1982". DDF. México 1982

- 11.- COVITUR "Metro de la Ciudad de México. Características de las líneas, DDF, México. Diciembre 1986.
- 12.- Compañía de Luz y Fuerza del Centro. "Manual de diseño de subestaciones". Tomos I y II. México 1974.
- 13.- COVITUR "Especificaciones técnicas para las SR's. COVITUR, 1986.
- 14.- Compañía de Luz y Fuerza del Centro. "Evaluación costo confiabilidad de alternativas para alimentación a los puestos de rectificación del STC Metro". Gerencia de distribución y transmisión. julio 1983.
- 15.- Compañía de Luz y Fuerza del Centro. "Estudio de confiabilidad y costo para diferentes alternativas de alimentación a la línea 7 norte del Metro". Gerencia de distribución y transmisión. México 1987.
- 16.- IEEE "Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants". IEEE, 1976.
- 17.- STC Metro. "Distribución de la energía eléctrica". Documento Técnico No. 11. Subdirección de operación. México, diciembre 1985.