

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



Diseño de Red Telefónica Local por Computadora

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRICISTA

Promoción 1980 - I

GAMBOA ESTEBAN BARZO A

Lima - Perú

1986

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
INTRODUCCION	
<u>CAPITULO I</u> : "EL SISTEMA SERVICE AREA CONCEPT (SAC)".	1
1.1 Constitución de la red de abonados	1
1.2 Jerarquía del área de servicio de la central telefónica.	2
<u>CAPITULO II</u> : "PREDICCIÓN DE LA DEMANDA TELEFONICA".	6
2.1 Método causal	6
2.2 Método de la prospección por zonas	11
2.3 Evaluación de métodos y resultados	17
<u>CAPITULO III</u> : "DETERMINACION DE LAS RU TAS ALIMENTADORAS Y SEC TORIZACION".	19
3.1 Determinación del centro de alam- bres teórico.	19
3.2 Determinación de los centros de a- lambres en forma mecanizada.	22
3.3 Determinación de las rutas alimen- tadoras y sub-alimentadoras.	23
3.4 Modelo de enrutamiento fundamental	23

	<u>Pág.</u>
<u>CAPITULO IV</u> "DETERMINACION DE LAS AREAS DE SERVICIO DE DISTRIBUCION (DSA)".	25
4.1 Tamaño físico de las áreas de servicio de distribución.	25
4.2 Emplazamiento óptimo del armario dentro del área de distribución.	54
<u>CAPITULO V:</u> "RED PRIMARIA"	60
5.1 Red primaria óptima	60
5.2 Períodos económicos de ampliación de cables alimentadores.	60
5.3 Mejoramiento de la calidad de transmisión mediante una combinación óptima de calibre de conductores.	66
<u>CAPITULO VI :</u> "RED SECUNDARIA"	71
6.1 Red secundaria óptima	71
<u>CAPITULO VII:</u> "PROTECCION ELECTRICA"	77
7.1 Perturbaciones Eléctricas	77
7.2 Protección de líneas de telefomunicaciones contra la inducción.	77
7.3 Protección de la línea de telecomunicaciones contra los rayos.	91
CONCLUSIONES	99
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	101
ANEXO: APLICACION DEL METODO EN LA ELABORACION DEL ANTEPROYECTO ALTERNATIVO DE LA RED TELEFONICA LOCAL DE LA CIUDAD DE CHINCHA.	

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

La red telefónica representa aproximadamente el 50% de los costos de una planta telefónica urbana. Además, las perturbaciones del servicio que se originan en la red, y con ello los gastos que ocasionan, son generalmente del mismo orden de magnitud que los debidos a las centrales y aparatos conjuntamente. Por tanto, es importante que la red sea proyectada en la mejor forma, tanto desde el punto de vista técnico como económico, a fin de que cumpla con las exigencias más rigurosas para la obtención de un buen servicio y al menor costo.

El presente trabajo pretende resolver el problema de optimización de una red telefónica local, a la vez que persigue una mecanización de esta solución para evitar la utilización de irrazonables recursos de tiempo y personal, usando el lenguaje de programación FORTRAN 77.

En el **Capítulo I** se presenta la conceptualización moderna de diseño de una red telefónica local o sistema SAC (concepto de área de servicio), el cual básicamente consiste en la utilización de armarios de distribución con el objeto de obtener una red flexible.

En el **Capítulo II** se hace un estudio y análisis de la demanda telefónica. Siendo esta el cimiento de un diseño de red telefónica, se ha desarrollado una metodo

logía de pronóstico de la demanda telefónica con la mayor aproximación y precisión posible, de tal manera que sea fiel reflejo de las necesidades reales y garantice un buen diseño. La metodología consta de dos partes: el método causal y el método de prospección por zonas. El método causal efectúa el pronóstico de la demanda de la zona en estudio en forma global y tomando en cuenta la mayoría de los factores que inciden en la demanda, como son: población, número de familias, ingreso nacional per cápita, situación financiera de las familias, etc. El método de prospección por zonas efectúa el pronóstico de la demanda por manzanas por medio del programa de cómputo PDTM (Pronóstico de la Demanda Telefónica en forma mecanizada). Al final, se efectúa la evaluación y comparación de los resultados.

En el **Capítulo III** se efectúa la determinación del centro de alambres teórico, para luego, proceder a la selección de las rutas alimentadoras y la sectorización según el modelo de enrutamiento fundamental obtenido por la "Michigan Bell Tel. Company" que describimos en forma concisa.

El **Capítulo IV** es un estudio analítico para determinar el tamaño óptimo de las Areas de Servicio de Distribución (DSA) y el emplazamiento óptimo de los armarios dentro de dichas áreas. La determinación del tamaño óptimo de las áreas de distribución se efectúa a través de un modelo de programación lineal que se resuelve por medio del SOFTWARE MPSX/370 de la IBM; y, el emplazamiento óptimo de los armarios se efectúa por medio del programa de cómputo EMOPAM (Emplazamiento Óptimo de Armario en forma Mecanizada).

En el **Capítulo V** se hace un tratamiento matemático para determinar los períodos de ampliación más ecó-

nómicos de cables alimentadores. Además, se hace un estudio para mejorar la calidad de transmisión por medio del método de combinación de calibres de conductores, en la forma más económica.

En el **Capítulo VI** se dan los conceptos y criterios para el diseño de una red de distribución óptima. Además, se establece el período de ampliación más económica de cables distribuidores. Se trata, asimismo la cuestión del grado de utilización del punto de distribución, que también, tiene mucho que ver con la economía de la red.

En el **Capítulo VII** abordamos la protección eléctrica de las redes telefónicas, que también es un factor muy importante que influye en el costo de la red. Sobre todo se incide en la distancia de separación entre la línea telefónica y la línea de energía, por que es un problema que se presenta con bastante frecuencia en la práctica. Se presenta con fines prácticos, una tabla de distancias mínimas de separación entre la línea telefónica y la línea de energía.

Como parte final se hace la aplicación de la presente metodología, tanto de la demanda telefónica como del diseño mismo, para el caso de la ciudad de Chíncha, hasta la etapa de diseño fundamental, que constituye la columna vertebral de la planificación de la red telefónica, con la que se pasa a la etapa de mediciones y ajustes en el terreno mismo.

El autor quiere expresar su agradecimiento a **ENTEL PERU S.A.** por el uso del computador DATA GENERAL, al Ing. Larry Reusche y a **CENTROMIN PERU S.A.** por su ayuda en el uso del SOFTWARE MPSX/370 del computador IMB, y a la Srta. Silvia García por su esmero en el tipeado del texto.

C A P I T U L O I

EL SISTEMA SERVICE AREA CONCEPT (SAC)

1.1 CONSTITUCION DE LA RED DE ABONADOS

La red de abonados está constituida por tres partes, como se puede apreciar en la fig. 1: red primaria, red secundaria y red de dispersión ¿Porqué se hace esto?

En el desarrollo de la telefonía se vió bien pronto que se tenía que abandonar el procedimiento original de que cada vez que surgía un nuevo abonado se tenía que instalar una línea desde la central hasta el local del abonado. Este procedimiento resultaba costoso y el abonado tenía que esperar un tiempo irrazonablemente largo para la instalación de su teléfono. Para reducir este tiempo se tendían cables con anticipación hasta puntos estratégicos, desde los cuales se podían instalar rápidamente en caso de necesidad líneas relativamente cortas. De este modo surgieron los puntos de dispersión. Pero como las líneas de dispersión resultaban relativamente costosas, se hizo que éstas fuesen lo más cortas posible mediante la colocación de muchos puntos de dispersión de un número relativamente pequeño de pares. Sin embargo, esta solución llevaba consigo el que la utilización de los cables tendidos entre los puntos de dispersión y la central fuese mala. Por tanto, se reunió un número adecuado de puntos de

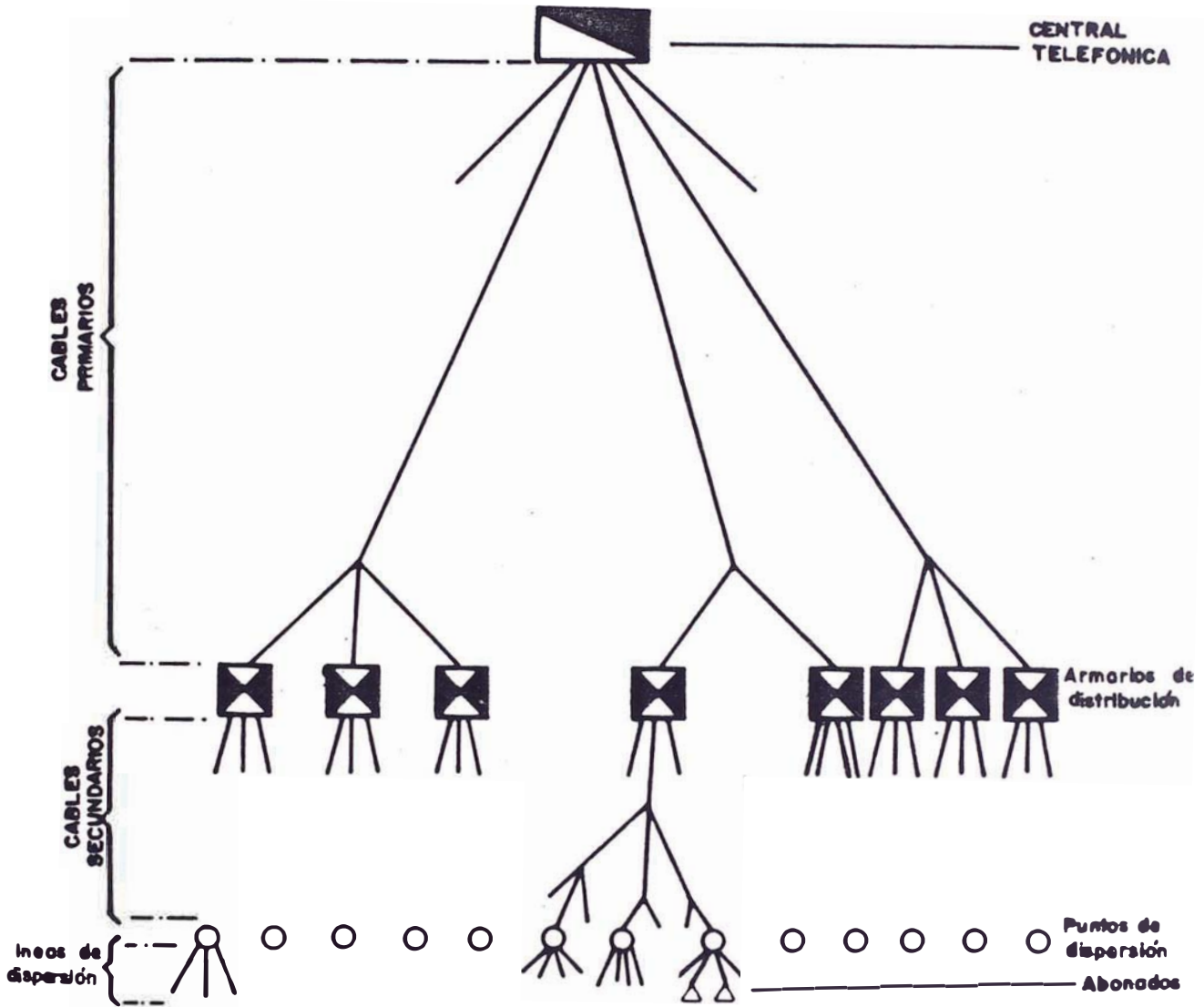


FIG. 1

Constitución de la red de abonados

dispersión en un punto de distribución. Como este punto de distribución controlaba un número relativamente grande de puntos de dispersión, se pudo utilizar de un modo considerablemente mejor el cable primario tendido desde el armario hasta la central. Aquí es aplicable el mismo principio que cuando se trata de los enlaces de tráfico, que un haz común de líneas da el mejor grado de utilización.

Mediante esta división de la red en tres partes, también es posible ampliar en diferentes etapas sus distintas partes sin re-empalmes complicados. El método más económico es construir de una vez la red secundaria para la necesidad total de la edificación existente, es decir, para un período de tiempo relativamente largo. Como los cables secundarios son cortos, el costo no es pues muy significativo. En cambio, los cables primarios, que son largos y costosos, hay que reducirlos casi a lo estrictamente necesario, con lo que se puede hacer así una considerable economía. Las líneas de dispersión, que son las más costosas por parmetro, se instalan a medida que surgen los abonados.

1.2 JERARQUIA DEL AREA DE SERVICIO DE LA CENTRAL TELEFONICA.

A fin de que la red telefónica sea proyectada en forma económica y administrada eficientemente, el área de abonados se divide en generalmente cuatro bloques denominados sectores; estos a su vez se subdividen en áreas de servicio. Cada área de servicio se subdivide en áreas de servicio de distribución (DSA) que a su vez están constituidos por áreas de dispersión. Ver fig. 2. La jerarquía es pues la siguiente:

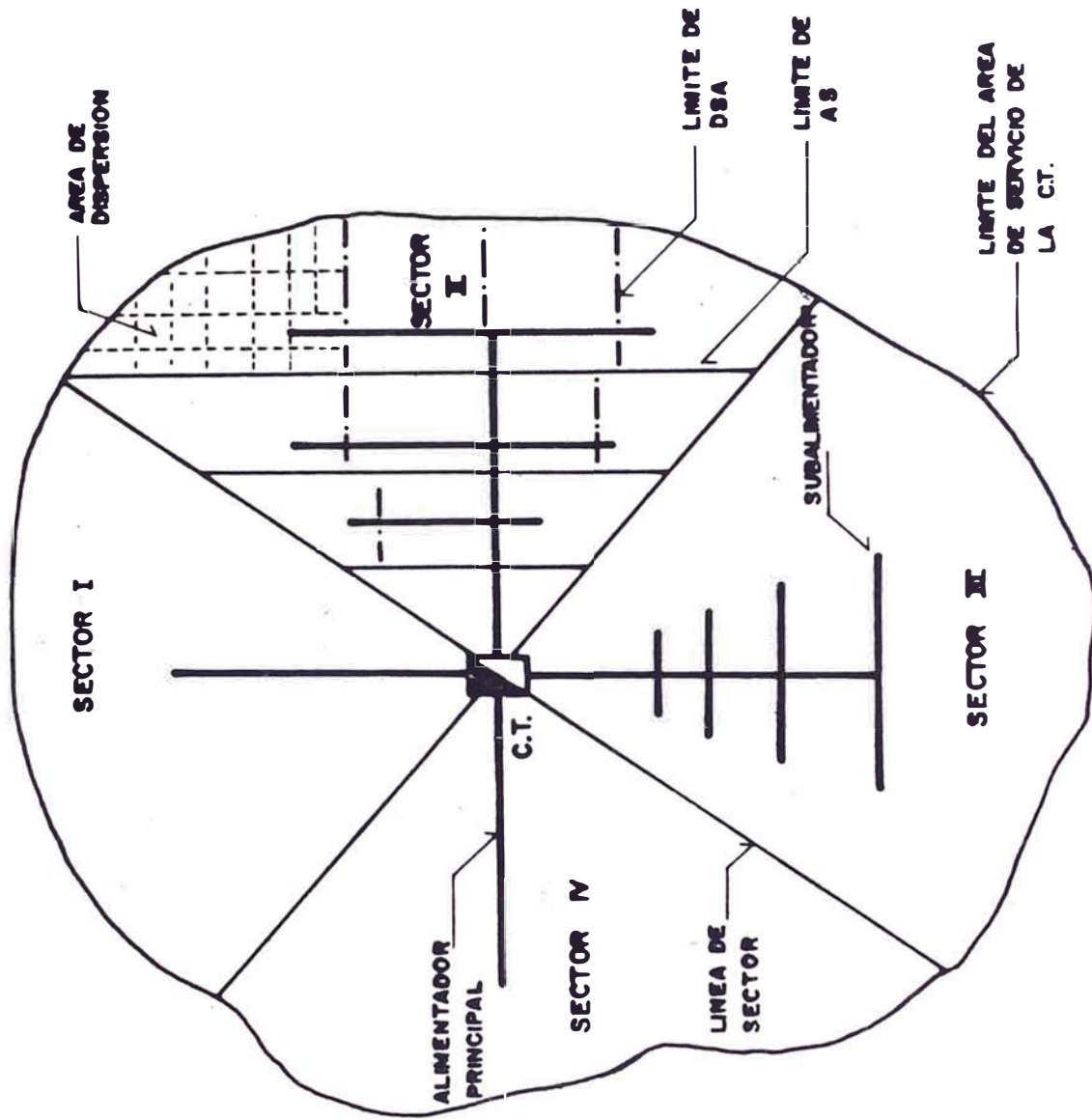


FIG. 2
Jerarquía de áreas y rutas ideales

1. Area de servicio de la central telefónica
2. Area alimentadora principal (sector)
3. Area de servicio
4. Area de servicio de distribución (DSA)
5. Area de dispersión

Cada área en la jerarquía debe contener un número integral de las áreas debajo de ella en la jerarquía. En otras palabras, el área de orden jerárquico debe ser parte de un área del próximo orden superior.

En forma concisa, las características de cada área en la jerarquía son:

a. Area de servicio de la central telefónica

Es el territorio geográfico servido por un centro de conmutación particular.

b. Area alimentadora principal

Es el territorio geográfico desde la central telefónica hasta el límite del área de servicio de la central, la cual es servida por una sola ruta alimentadora principal y sus rutas sub-alimentadoras asociadas.

c. Area de servicio

Es el territorio geográfico que puede administrarse como una unidad con respecto al aprovisionamiento y administración del cable alimentador.

d. Area de servicio de distribución

Es el territorio geográfico dentro del cual toda la red de distribución es llevada a una sola ubicación para conectarla a la red alimentadora.

e. Area de dispersión

Es el área geográfica elemental, dentro del cual están comprendidos los abonados servidos de un punto de dispersión único. Se denomina también área de influencia de caja terminal.

En vista de que el elemento principal que diferencia una red según el sistema SAC de una red rígida es el armario, hacemos una descripción de sus características y funciones.

El armario de distribución es un aparato de interconexión entre la red de distribución y la red alimentadora. Esto significa que cualquier par de cable de distribución de reserva en el área de distribución puede conectarse a cualquier alimentador de reserva designado al área de distribución. Esto se llama 100% de disponibilidad. El armario también permite la ampliación de cables alimentadores por etapas y sin el rearrreglo de los servicios existentes.

CAPITULO II

PREDICCIÓN DE LA DEMANDA TELEFÓNICA

2.1 METODO CAUSAL

La demanda telefónica puede considerarse como un proceso estocástico que depende, a su vez, de cierto número de factores como son: población, número de familias, ingreso nacional per cápita, situación financiera de las familias, etc.

El método causal es el que tiene en cuenta la mayoría de los factores que pueden influir en la futura demanda telefónica. Es, pues, el método más preciso. Permite obtener buenos resultados de la demanda global tanto en zonas pequeñas como en zonas de gran extensión.

Una buena estimación se obtiene clasificando los aparatos telefónicos en tres grupos:

- Teléfonos de entidades comerciales, oficiales y comunales. (B)
- Teléfonos particulares o residenciales (R)
- Teléfonos públicos y para otros fines (M)

Sea E la situación financiera de una familia o entidad comercial y E_s el valor umbral. Entonces, si:

$E > E_s$, la familia o entidad comercial puede solicitar la instalación de un teléfono, mientras que si

$E \leq E_s$, no se solicitará tal instalación

Si se determina el número de familias residentes en la zona examinada que para un año dado ($t=0$) disponen de unos ingresos superiores a E_s , se obtendrá un valor representativo de la demanda en el año base o año de estudio ($t=0$), $N_R(0)$.

El número total de familias es ahora $N_h(0)$, y en el futuro, $N_h(t)$. El ingreso nacional para el año $t=0$ es $V(0)$ y en el año para el que se efectúa la predicción habrá alcanzado el valor $V(t)$. Simultáneamente, la población nacional habrá aumentado de $N_i(0)$, a $N_i(t)$, y la población de la zona de $N_{zi}(0)$, a $N_{zi}(t)$.

Por consiguiente, el aumento del ingreso nacional per cápita (n) se obtendrá de la siguiente manera:

$$n_t = \frac{V(t)}{N_i(t)} \quad (1)$$

$$n_o = \frac{V(0)}{N_i(0)} \quad (2)$$

donde:

n_t = ingreso nacional per cápita para el año de predicción de la demanda.

n_o = ingreso nacional per cápita en el año $t=0$, luego:

$$n = \frac{\frac{V(t)}{N_i(t)}}{\frac{V(0)}{N_i(0)}} \quad (3)$$

Por otro lado, calculemos los ingresos zonales. Sean $V_z(t)$ y $V_z(0)$ los ingresos zonales para el año de la predicción y para el año $t=0$, respectivamente. Entonces:

$$V_z(t) = \frac{V(t)}{N_i(t)} N_{zi}(t) \quad (4)$$

$$V_z(0) = \frac{V(0)}{N_i(0)} N_{zi}(0) \quad (5)$$

Además, sean δ_0 y δ las porciones del ingreso zonal que las familias pueden gastar en el año correspondiente a $t=0$ y en el año para el que se hace la previsión, respectivamente. Utilizando tales valores, se obtiene la siguiente expresión del aumento de los ingresos por familia:

$$\frac{E(t)}{E(0)} = \frac{\frac{V_z(t) \delta}{N_h(t)}}{\frac{V_z(0) \delta_0}{N_h(0)}} = \frac{V_z(t)}{V_z(0)} \frac{\delta}{\delta_0} \frac{N_h(0)}{N_h(t)} \quad (6)$$

de (4) y (5)

$$\frac{V_z(t)}{V_z(0)} = \frac{\frac{V(t)}{N_i(t)} N_{zi}(t)}{\frac{V(0)}{N_i(0)} N_{zi}(0)} = n \frac{N_{zi}(t)}{N_{zi}(0)}$$

luego reemplazando en (6), tenemos:

$$\frac{E(t)}{E(0)} = n \frac{\delta}{\delta_0} \frac{N_{zi}(t)}{N_{zi}(0)} \frac{N_h(0)}{N_h(t)} \quad (7)$$

Si las tarifas y los servicios permanecen invariables, $E_s(t) = E_s(0)$. En tal caso en lo que se refiere al número de teléfonos particulares correspondientes al umbral E_s , puede escribirse:

$$N_R(t) = N_R(0) \frac{E(t)}{E(0)} = N_R(0) n \frac{\delta}{\delta_0} \frac{N_{zi}(t)}{N_{zi}(0)} \frac{N_h(0)}{N_h(t)} \quad (8)$$

Si el valor del umbral para la instalación de teléfonos se modifica, el número previsible en el número de teléfonos particulares N_R puede expresarse por:

$$N_R(t) = N_R(0) \frac{E_s(0)}{E_s(t)} n \frac{\delta}{\delta_0} \frac{N_{zi}(t)}{N_{zi}(0)} \frac{N_h(0)}{N_h(t)} \quad (9)$$

El número de teléfonos comerciales y comunales N_B tienden a aumentar más lentamente.

El crecimiento de la población viene dado por $N_{zi}(t)/N_{zi}(0)$ y este factor será decisivo en el desarrollo, así pues,

$$N_B(t) = N_B(0) \frac{E_s(0)}{E_s(t)} \frac{N_{zi}(t)}{N_{zi}(0)} \quad (10)$$

El crecimiento del número de teléfonos destinados a diversos fines y de teléfonos públicos N_M es difícil de estimar, pero ello no es muy importante para los cálculos ya que N_R es mucho mayor que N_M . Por consiguiente, si suponemos que:

$$\frac{N_M(t)}{N_M(0)} = \frac{N_R(t)}{N_R(0)} \quad (11)$$

sólo introduciremos un pequeño error en el re

sultado final, o sea:

$$N(t) = N_R(t) + N_B(t) + N_M(t) \quad (12)$$

2.1.1 Distribución de ingresos por familia

Los ingresos por familia tienen una distribución de probabilidad logarítmica normal.

La distribución de los ingresos y su función de densidad $\varphi(E)$ pueden verse en la fig. 3. Esta relación puede expresarse por la ecuación:

$$q(t) = P(E > E_s) = \int_{E_s}^{\infty} \varphi(E) dE \quad (13)$$

También puede dársele la forma siguiente mas adecuada:

$$q(t) = 1 - P(E \leq E_s) = 1 - \int_0^{E_s} \varphi(E) dE \quad (14)$$

o bien expresarse mediante la fórmula empírica:

$$P(E \leq E_s) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^{E_s} \frac{1}{E} \exp \left[\frac{-(\ln E - \lambda)^2}{2\sigma^2} \right] dE \quad (15)$$

donde $\lambda = E(\ln E)$ y $\sigma = \sqrt{\text{Var}(\ln E)}$ son, respectivamente, la media y la desviación standard de $\ln E$, y son los parámetros de la distribución. Por consiguiente, esta curva es útil para determinar en cálculos más precisos el umbral E_s y el efecto de una modificación de los ingresos.

2.1.2 Cálculo de la demanda al año Base.

Se efectúa un estudio de mercado en sitio, la

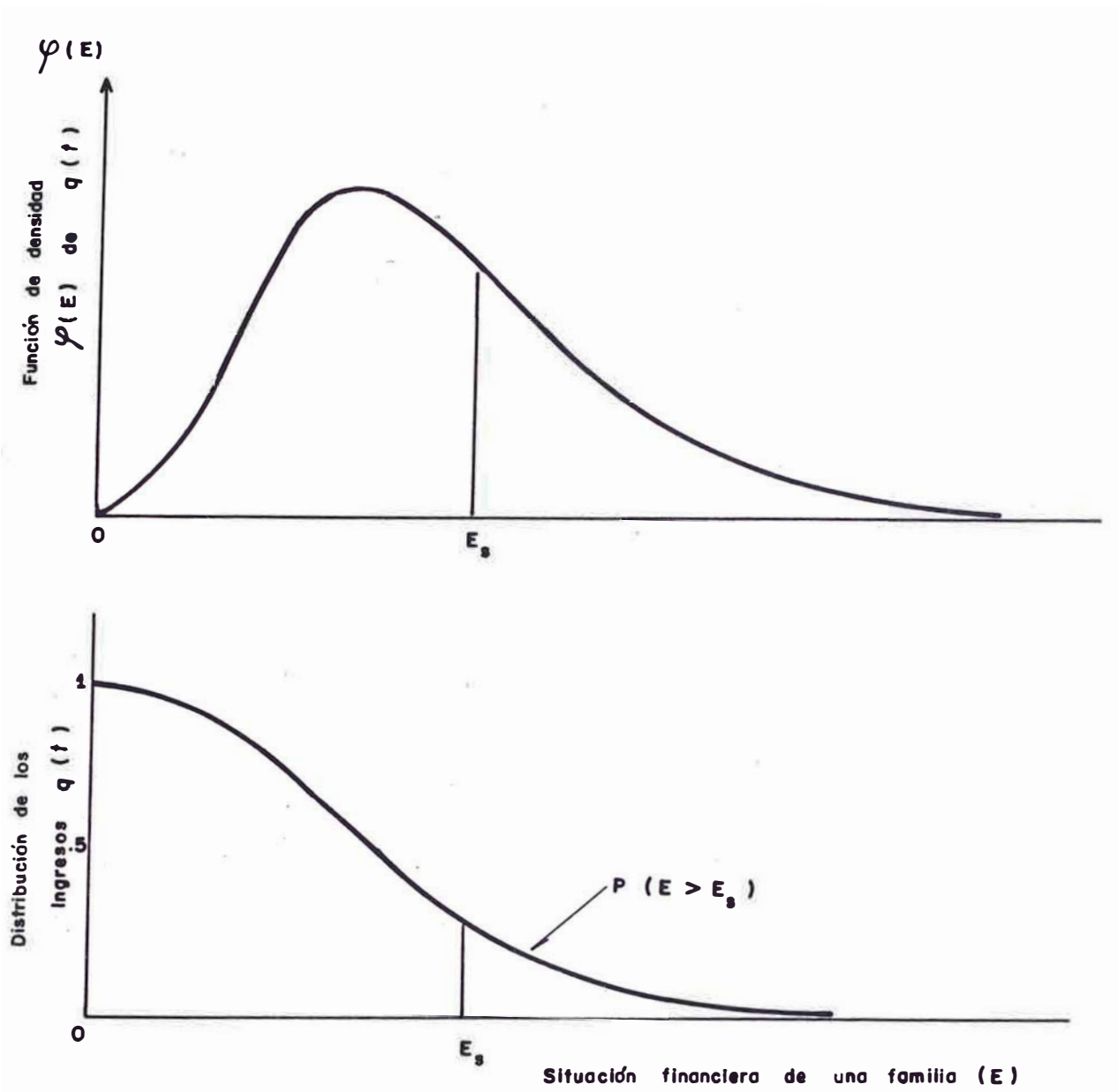


FIG. 3

Distribución de los ingresos y función de densidad

mejor manera y más rápida de obtener un resultado satisfactorio es que el proyectista recorra la ciudad calle por calle y observe el carácter de cada edificación, su calidad y destino de la misma, categorizándolas como el ejemplo que se muestra en la fig. 4. Con estos resultados y a partir de E_s , obtenida como resultado de encuestas efectuadas por cada sector de demanda y de la fórmula (15), se deduce la posible demanda por sector, tanto del tipo residencial como comercial.

2.1.3 Proyección de la población

Se elige el método más adecuado de acuerdo con las siguientes pautas:

- a. Cuando el módulo de incremento es pequeño se emplea la ecuación lineal: $y = a + bt$.
- b. Cuando el módulo de incremento es notable se emplea la ecuación de la curva logística: $y = \frac{k}{1 + Ae^{-bt}}$

Además de las ecuaciones anteriores se pueden usar también las siguientes ecuaciones:

- Ecuación cuadrática: $y = a + bt + ct^2$
- Ecuación exponencial: $y = ab^t$
- Ecuación exponencial modificada: $y = k - ab^t$
- Ecuación de la curva de Gompertz: $y = ka^{b^t}$

Generalmente del diagrama de dispersión es posible visualizar la curva que se aproxime a los datos históricos.

Se pueden también utilizar los resultados obtenidos por el gobierno, gobierno local, Instituto Nacional de Estadística, entidades de investigación, etc.

SECTOR I

Manzana 13

JORGE CHAVEZ

CALLE SIN NOMBRE	198 RMB	RB 279	RM 215	RA 213	CM 199	COLON
					RM 189	
	196 RM				CM S/h	
	194 RM		CM S/n			
	192 RM	RA = 7	CM 181			
	SN RA	RM = 7	CM S/n			
	180 RA	RB = 14	RB 167			
	SC	RMB = 3	RB 165			
	176 RMB	Total 31	CM 157			
	160 RMB	CA = 1	CM 153			
	152 RB	CM = 12	RA 143			
	142 RB	CB = 2	RA S/h			
	138 RB	CMB = 0	CM S/n			
	S/h RB	Total 15	RB 131			
		SC = 2	RB 125			
130 RM		SC 3				
106 RB		CM 113				
100 CB		RB 104				
	196 CB		CA 107			
	186 CM					
	174 RA					
	162 RM					
	152 RB					
	148 RB					
	136 CM					
	126 RA					
	118 RB					
	100 CM					

GRAU

Figura. 4

- RA : Unidad Residencial Alta
- RM : " " Media
- RB : " " Baja
- RMB : " " Muy Baja
- CA : Unidad Comercial Alta
- CM : " " Media
- CB : " " Baja
- CMB : " " Muy Baja

SC: Sin construir

2.1.4 Proyección del número de Familias.

La proyección del número de familias se efectúa en forma similar a la proyección de la población.

Se puede proyectar directamente el número de familias o primero realizar la proyección de la relación de la población por número de familias y luego se calcula el número de familias a través de la siguiente fórmula:

$$\text{número de familias} = \frac{\text{población}}{\text{población}} \quad (16)$$

número de fam.

2.1.5 Proyección del producto bruto interno.

El diagrama de dispersión obtenido a partir de los datos históricos proporcionados por el BCR sugiere la curva a aplicarse para la proyección del PBI. Alternativamente se pueden usar las proyecciones efectuadas por el BCR, INE o entidades de investigación.

2.2 METODO DE LA PROSPECCION POR ZONAS

Previamente definiremos el término unidad social.

Unidad social.- Es la mínima unidad de un grupo social que hace uso del servicio telefónico. El número de unidades sociales, en nuestro caso, es igual al número de edificaciones residenciales más el número de comercios.

El procedimiento basado en el número de unidades sociales es el siguiente:

- a. Selección de los lugares nulos.
Lugares donde no ocurrirá ninguna demanda dentro de 15 años posteriores al año corte, como carreteras, parques, cementerios, ríos y lagos, etc.
- b. Selección de los lugares especiales o de otros usos, como edificios públicos, escuelas, instituciones públicas, etc. cuya demanda es muy distinta a los del alrededor.
- c. Selección de los lugares inexplorados.
Lugares donde en un futuro cercano se formarán zonas residenciales, industriales, etc.

Los resultados obtenidos por el método de la prospección por zonas, son usadas para:

- a. Decidir la ubicación de la oficina central
- b. Diseñar las facilidades de planta externa

2.2.1 Predicción para los lugares especiales e inexplorados.

La predicción para los lugares especiales e inexplorados se efectúa a través de diversas informaciones basadas en planes del gobierno local, organismos de desarrollo, etc. Para efectuar este pronóstico no existe una forma definida.

2.2.2 Pronóstico para los lugares genéricos.

El pronóstico para los lugares genéricos se realiza de la manera siguiente:

- a. Levantamiento catastral
Es parte del estudio de mercado que se realiza en si-

tio. Consiste en que el proyectista recorra la ciudad calle por calle y efectúe una categorización de las unidades residenciales y comerciales.

En el caso de que varias personas se dediquen a efectuar el levantamiento catastral, se debe elaborar una tabla de categorización de las unidades sociales a fin de fijar una unidad de criterio en el trabajo.

- b. Cálculo del número total de unidades sociales por manzana en el tiempo $t(N_t)$.

El número total de unidades sociales irá aumentando conforme los terrenos en construcción se vayan concluyendo y los terrenos sin construir se construyan.

- c. Pronóstico de la relación de demanda por unidades sociales (P_t).

El pronóstico se efectúa mediante la tabla 4, que ha sido elaborada por la NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE (NTT) del Japón a través de estudios estadísticos.

Esta tabla representa la curva de crecimiento de la relación de demanda por unidades sociales que viene a ser una curva logística. Ver figura 5.

La relación de demanda por unidades sociales en el tiempo de la predicción (año base) es:

$$P_0 = \frac{D_0}{N_0} \quad (17)$$

Donde:

D_0 = demanda en el año base obtenido a través del estudio de mercado, excluyendo la demanda de los lugares especiales.

N_0 = número de unidades sociales en el año base

Table 1. Social Units Demand Ratio Growth Curve (Unit: %)

SR Logical Ratio Year(t)	S area (10:0)	7:3	5:5	3:7	R area (0:10)
0	24.6	18.2	14.0	9.7	3.4
1	26.4	19.6	15.1	10.6	5.8
2	28.9	21.6	16.7	11.8	4.4
3	31.3	23.5	18.3	13.0	5.2
4	33.5	25.3	19.8	14.3	6.0
5	36.3	27.6	21.7	15.9	7.1
6	39.0	29.8	23.7	17.6	8.5
7	41.7	32.2	25.9	19.6	10.1
8	44.5	34.8	28.3	21.8	12.1
9	47.4	37.5	31.0	24.5	14.6
10	50.2	40.4	33.9	27.4	17.6
11	53.0	43.5	37.1	30.7	21.2
12	55.9	46.8	40.7	34.6	25.5
13	58.6	50.1	44.5	38.9	30.4
14	61.4	53.8	48.7	43.6	35.9
15	64.0	57.4	53.0	48.6	42.0
16	66.6	61.1	57.5	53.9	48.4
17	69.1	64.8	62.0	59.1	54.9
18	71.5	68.4	66.4	64.3	61.2
19	73.7	71.8	70.5	69.2	67.3
20	75.9	75.0	74.4	73.8	72.8
21	77.9	77.8	77.8	77.8	77.7
22	79.8	80.4	80.8	81.2	81.9
23	81.6	82.7	83.5	84.2	85.4
24	83.2	84.7	85.8	86.8	88.3
25	84.7	86.5	87.7	88.9	90.7
26	86.1	88.0	89.3	90.6	92.6
27	87.5	89.5	90.8	92.1	94.1
28	88.6	90.6	92.0	93.3	95.4
29	89.8	91.6	92.7	93.9	95.7
30	90.7	92.6	93.9	95.1	97.0
31	91.7	93.5	94.7	95.9	97.6
32	92.5	94.2	95.3	96.4	98.1
33	93.2	94.8	95.8	96.9	98.4
34	93.9	95.4	96.3	97.3	98.8
35	94.5	95.8	96.7	97.6	98.9
more than 36	95.1	96.3	97.1	97.9	99.2

(Notes) The closest value on this table is regarded as the demand density per social unit at the survey time (Po).

Relación de demanda por unidades sociales

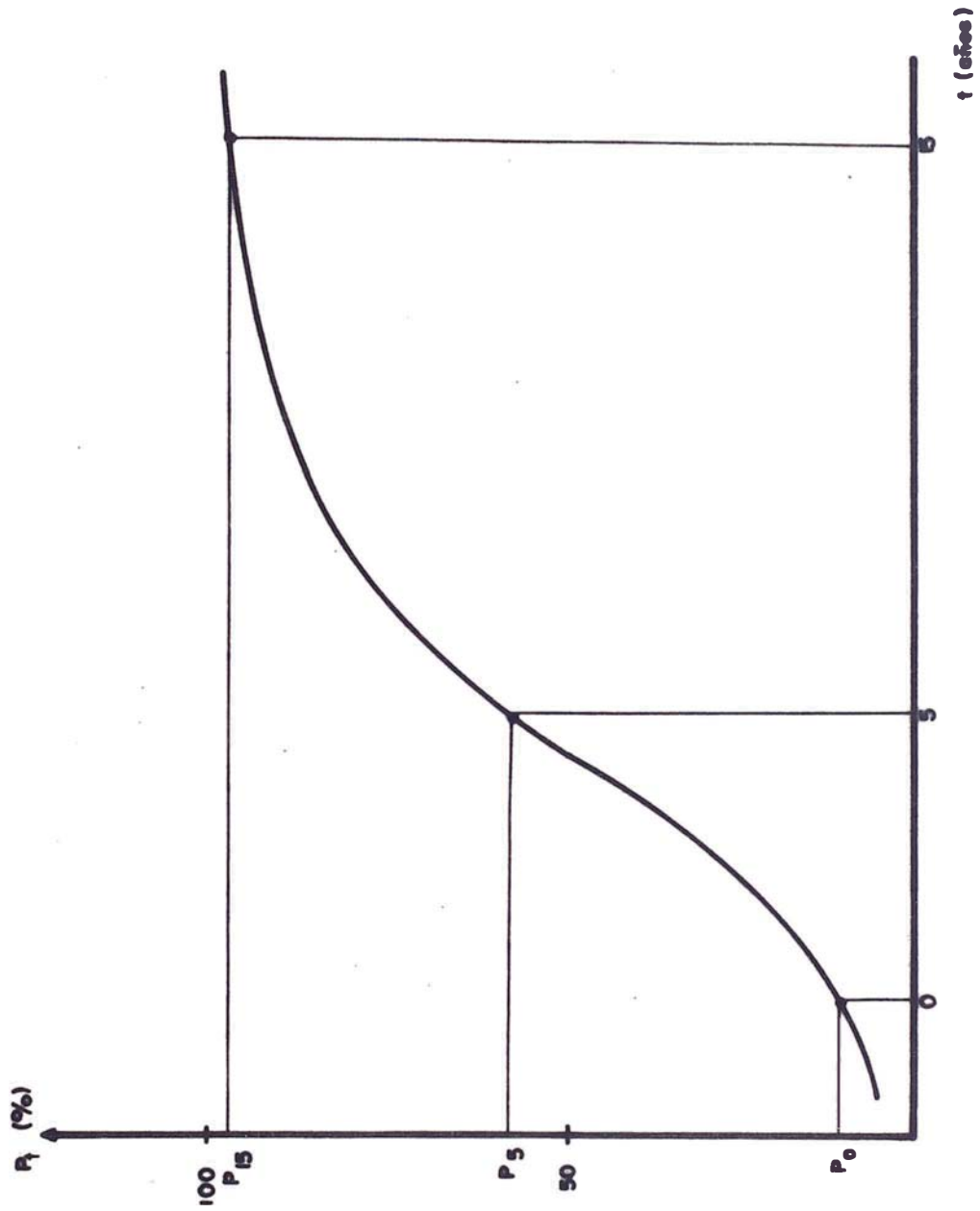


FIG. 3

Curva de crecimiento de la razón de la demanda por unidades sociales

d. Pronóstico de la demanda en el año t (D_t).

Calculamos el porcentaje de unidades comerciales con la siguiente ecuación:

$$\text{COMPOR} = \frac{C}{N_0} \quad (18)$$

donde:

COMPOR = unidades comerciales en porcentaje.

C = número de unidades comerciales

N_0 = número total de unidades sociales.

Con el valor de COMPOR seleccionamos una de las cinco columnas de la tabla 1. En esta columna escogemos uno de los valores que más se aproxime a P_0 . La línea donde se encuentra aquel valor corresponde al año de estudio o año base. A partir de esta línea y en la misma columna se determinan los valores que corresponden al año corte, a 5, 10 y 15 años después del año corte. Luego, la demanda se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D_t = P_t N_t \quad (19)$$

Para aclarar el método de cálculo de la demanda haciendo uso de la tabla 1, presentaremos el siguiente ejemplo:

Datos:

Ciudad : Chincha
Sector : I
Manzana : 13
Año base : 1985
Año corte : 1987

En la figura 4 se presenta el resultado del levantamiento catastral para la manzana en estudio.

Demanda residencial = 14

Todos los R_A y R_M poseen una situación financiera mayor que E_S .

Demanda comercial = $1 \times 2 + 12 = 14$

Todos los C_A y C_M poseen una situación financiera mayor que E_S (en el caso comercial). Además, C_A está en la capacidad de adquirir 2 teléfonos.

Por tanto:

$$D_o = 14 + 14 = 28$$

$$N_o = 31 + 15 = 46 = N_2 = N_7 = N_{12}$$

$$N_{17} = 46 + 2 = 48 \text{ (a 15 años después del año corte ya estarán construidos los dos terrenos sin construir).}$$

$$P_o = \frac{D_o}{N_o} = \frac{28}{46} = 0.609$$

$$\text{COMPOR} = \frac{C}{N_o} = \frac{15}{46} = 32.6\% \text{ corresponde a la columna 4}$$

$P_o = 0.609$ corresponde al año lógico 17 de la tabla y este será nuestro año 0 o año base.

De la tabla 1 obtenemos los siguientes datos:

$$P_2 = 0.692$$

$$P_7 = 0.868$$

$$P_{12} = 0.939$$

$$P_{17} = 0.973$$

Luego de la fórmula para D_t obtenemos los siguientes resultados:

$$D_2 = P_2 \times N_2 = 0.692 \times 46 = 31$$

$$D_7 = P_7 \times N_7 = 0.868 \times 46 = 39$$

$$D_{12} = P_{12} \times N_{12} = 0.939 \times 46 = 43$$

$$D_{17} = P_{17} \times N_{17} = 0.973 \times 48 = 46$$

2.2.3 Aplicación del Método en forma Computarizada.

Una ciudad comprende cientos de manzanas, lo cual hace una tarea muy difícil e involucra considerable esfuerzo y tiempo efectuar los cálculos en forma manual; por ello se ha creado el programa PDTM (predicción de demanda telefónica en forma mecanizada) que se presenta con juntamente con su respectivo diagrama de flujo en las páginas siguientes y cuyas variables de entrada y salida se describen previamente:

Datos de entrada:

TA = matriz de datos de la tabla 1 (37 x 5)

DA = matriz de datos por manzana de un sector de demanda o de toda el área de demanda (NxM)

FRA = factor de capacidad telefónica de un residencial alto.

FRM = factor de capacidad telefónica de un residencial medio.

FRB = factor de capacidad telefónica de un residencial bajo.

FRMB = factor de capacidad telefónica de un residencial - muy bajo.

FCA = factor de capacidad telefónica de un comercial alto

FCM = factor de capacidad telefónica de un comercial medio.

FCB = factor de capacidad telefónica de un comercial bajo

FCMB = factor de capacidad telefónica de un comercial muy bajo.

NA = número de años entre el año base y el año corte

Datos de salida:

DB = matriz de demanda al año base por manzana
 DO = demanda al año corte
 D5 = demanda a 5 años después del corte
 D10 = demanda a 10 años después del corte
 D15 = demanda a 15 años después del corte
 DGRB = demanda global residencial al año base
 DGCB = demanda global comercial al año base
 DGB = demanda global al año base
 DGO = demanda global al año corte
 DG5 = demanda global a 5 años después del corte
 DG10 = demanda global a 10 años después del corte
 DG15 = demanda global a 15 años después del corte
 NF = número total de familias en el año base

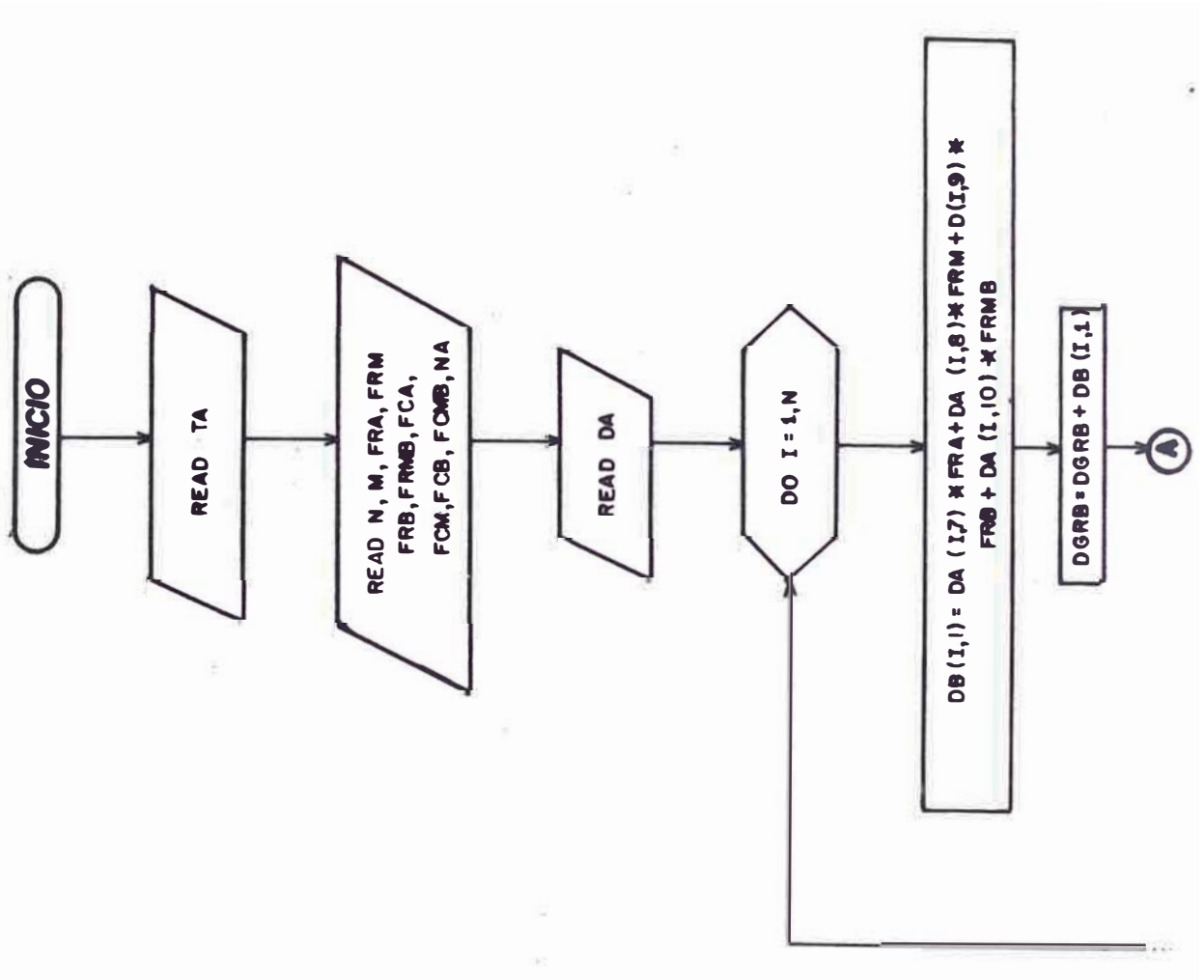
2.3 EVALUACION DE METODOS Y RESULTADOS

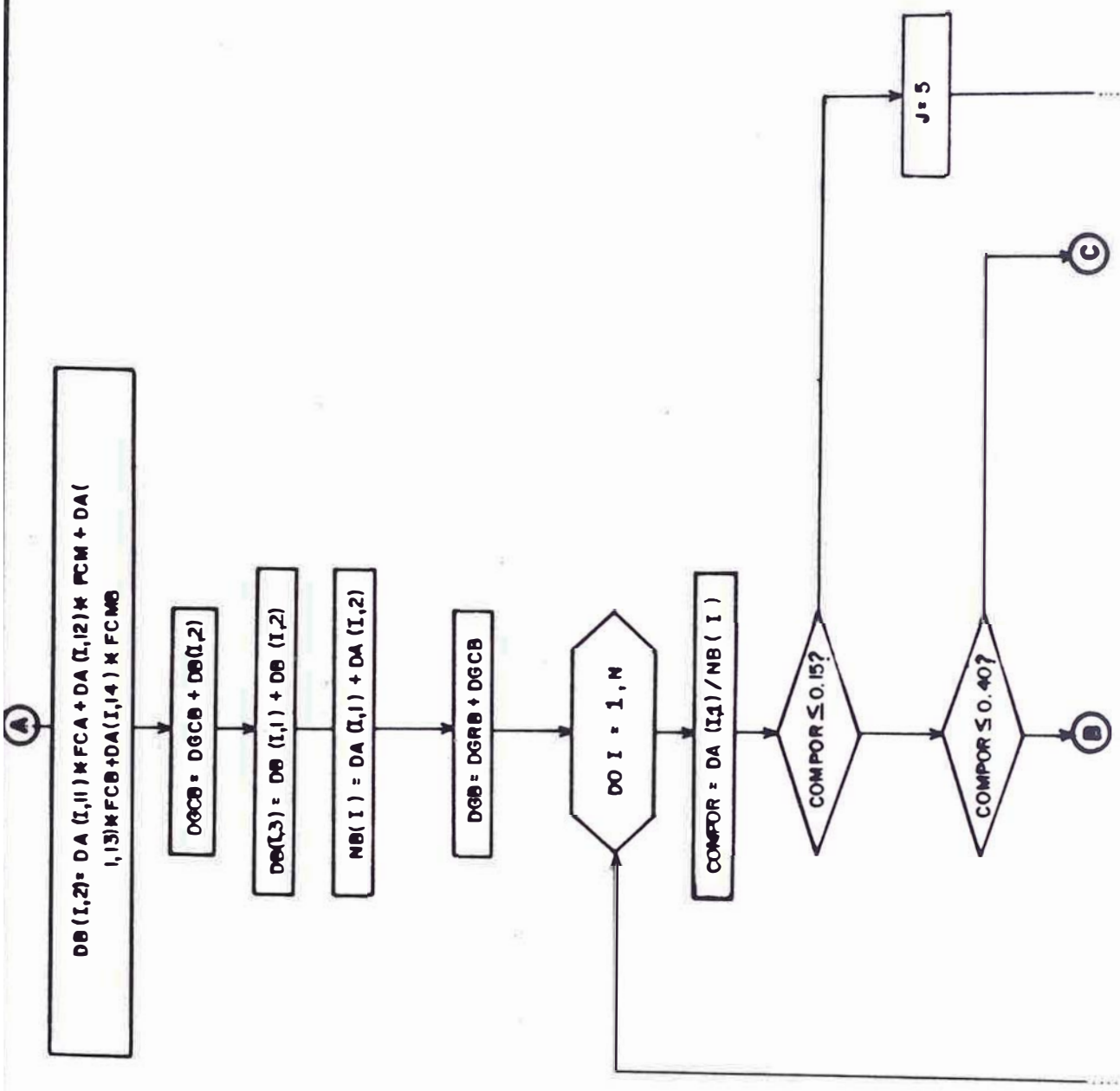
La elección de los métodos que se emplean en cada caso depende, generalmente de las estadísticas disponibles y de la naturaleza del objetivo establecido en el plan. El presente estudio considera los dos métodos descritos anteriormente. Se emplea el método causal por ser el más preciso, completo y por que refleja mejor la realidad, y, el método de prospección por zonas por que no se disponen en el país de los datos estadísticos de demanda necesarios. Los resultados pueden aceptarse en términos generales si la diferencia entre los obtenidos por uno y otro método no excede del 20%, según las recomendaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Si la diferencia fuese mayor, convendrá verificar los cálculos por otros métodos o hacer una corrección tomando como base los resultados obtenidos por el método causal. Com-

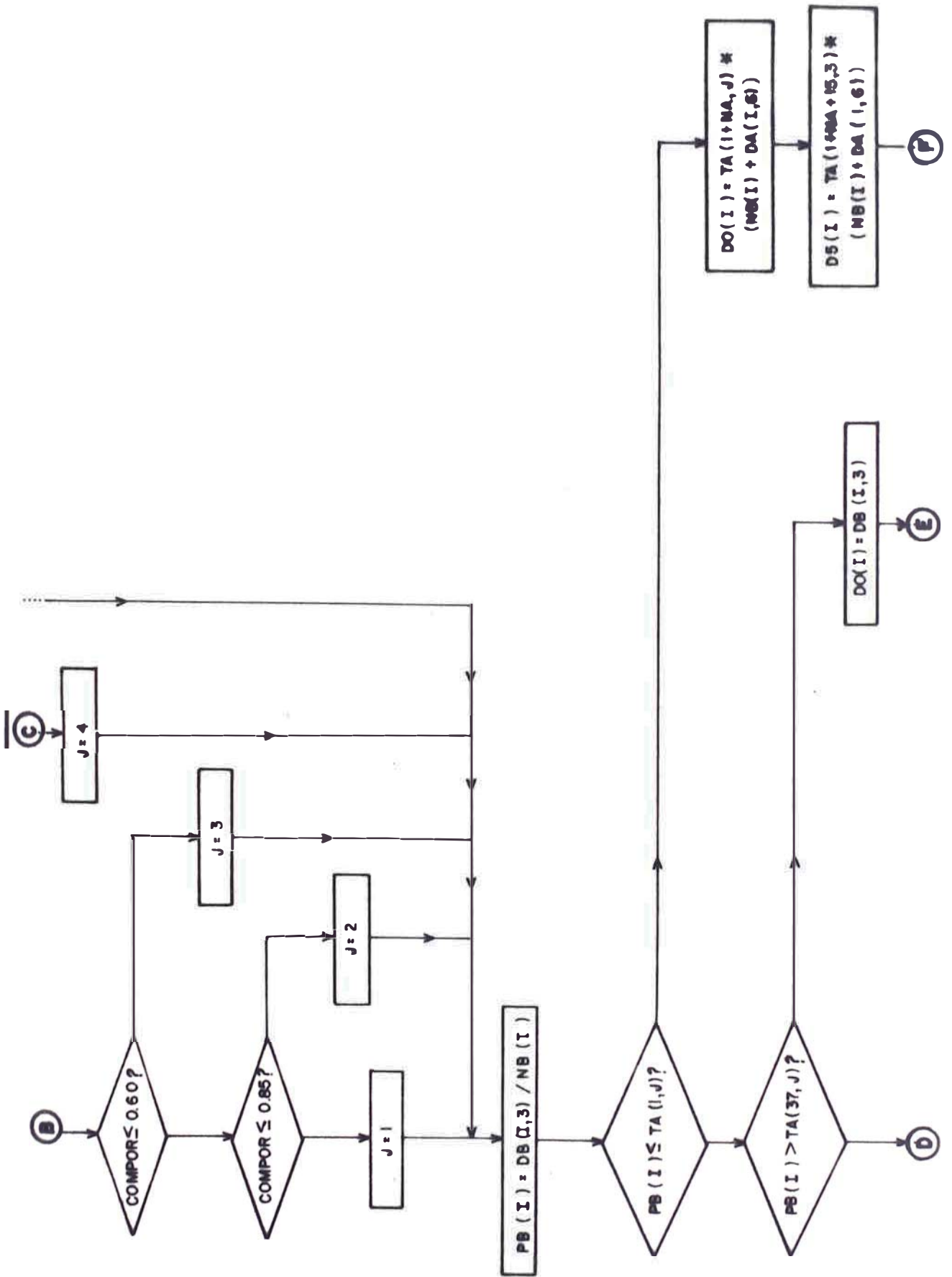
parando los valores globales de demanda para cada año de pronóstico se obtendrán los factores de corrección.

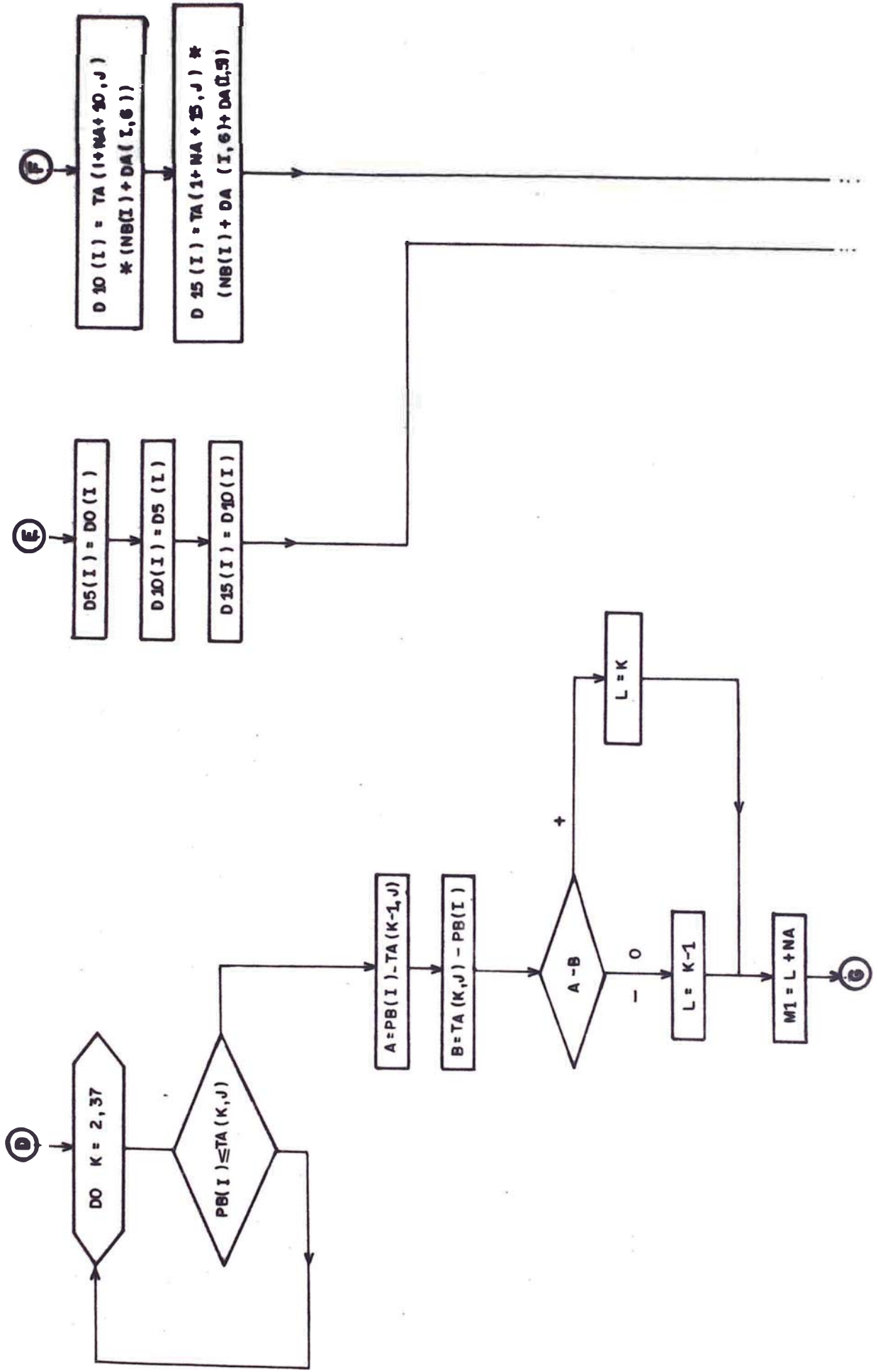
DIAGRAMA DE FLUJO DE PREDICION
DE LA DEMANDA TELEFONICA EN FOR
MA MECANIZADA

Fig. 6 DIAGRAMA DE FLUJO DE PRONOSTICO DE LA DEMANDA TELEFONICA









ⓓ

DO K = 2, 37

$PB(I) \leq TA(K, J)$

$A = PB(I) - TA(K-1, J)$

$B = TA(K, J) - PB(I)$

$A - B$

$L = K$

$L = K - 1$

$M1 = L + NA$

ⓖ

ⓔ

$D5(I) = D0(I)$

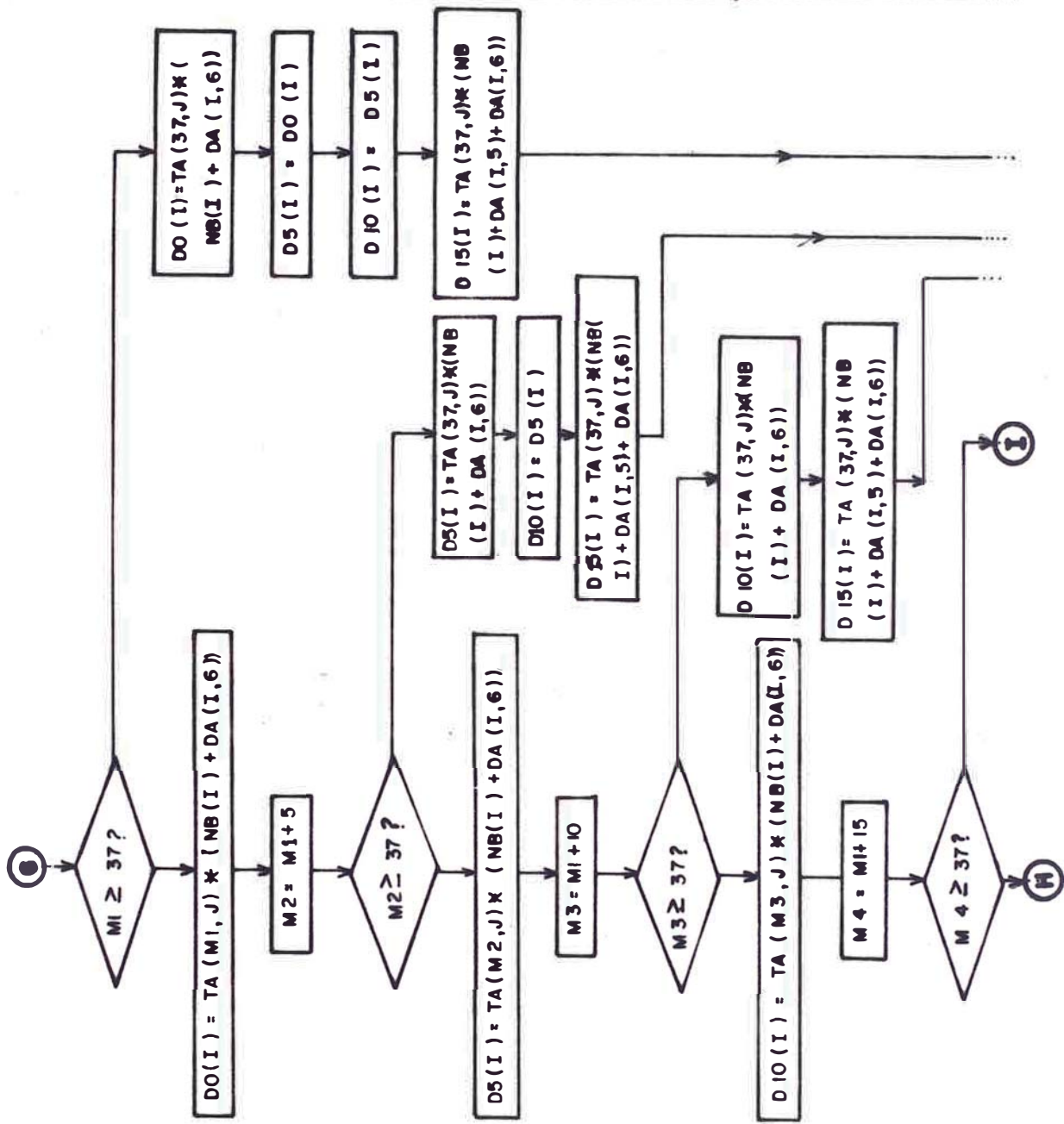
$D30(I) = D5(I)$

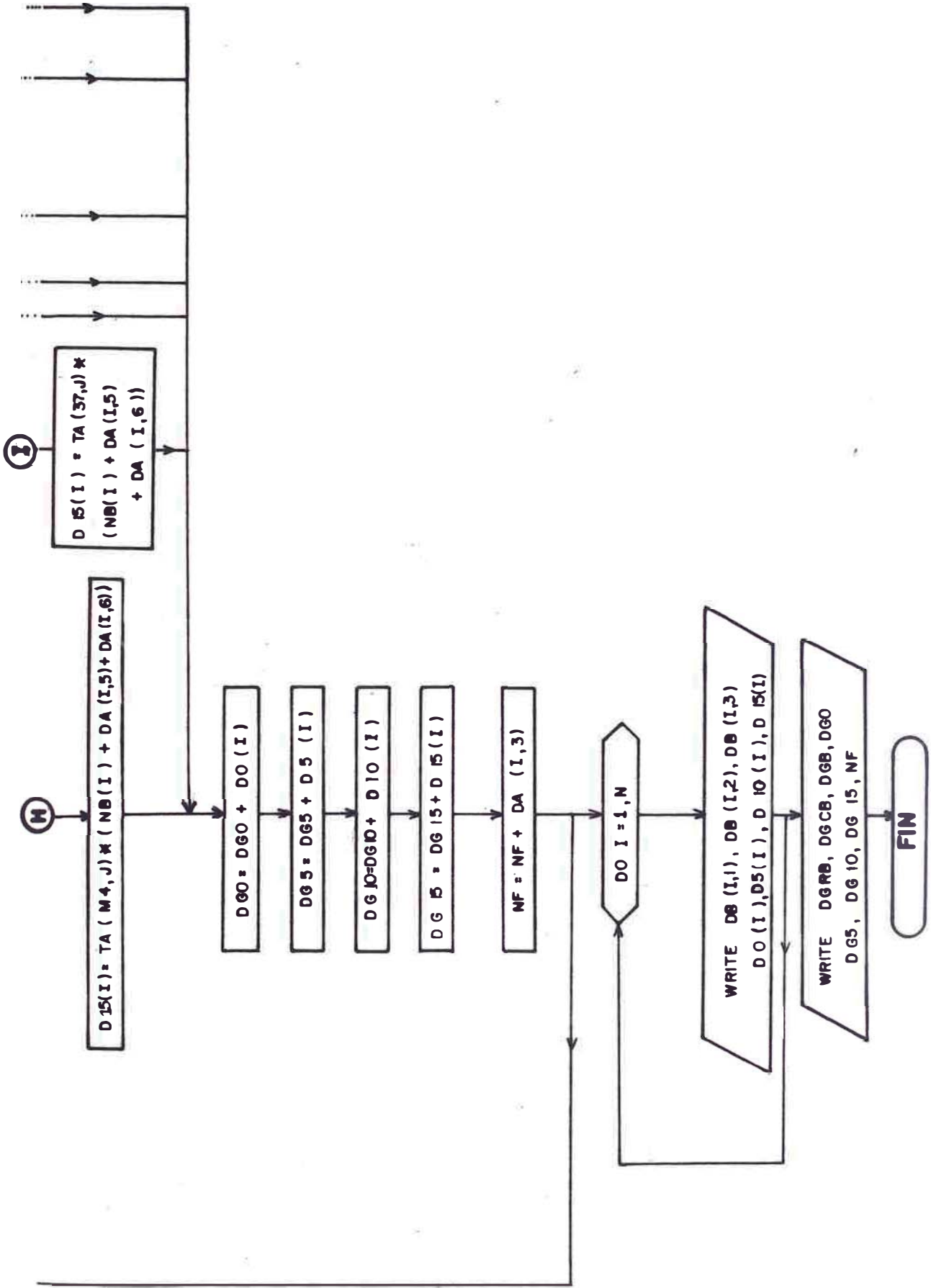
$D15(I) = D30(I)$

ⓕ

$D30(I) = TA(1+NA+30, J) * (NB(I) + DA(I, 6))$

$D15(I) = TA(1+NA+15, J) * (NB(I) + DA(I, 6) + DA(I, 9))$





C A P I T U L O I I I

DETERMINACION DE LAS RUTAS ALIMENTADORAS Y SECTORIZACION

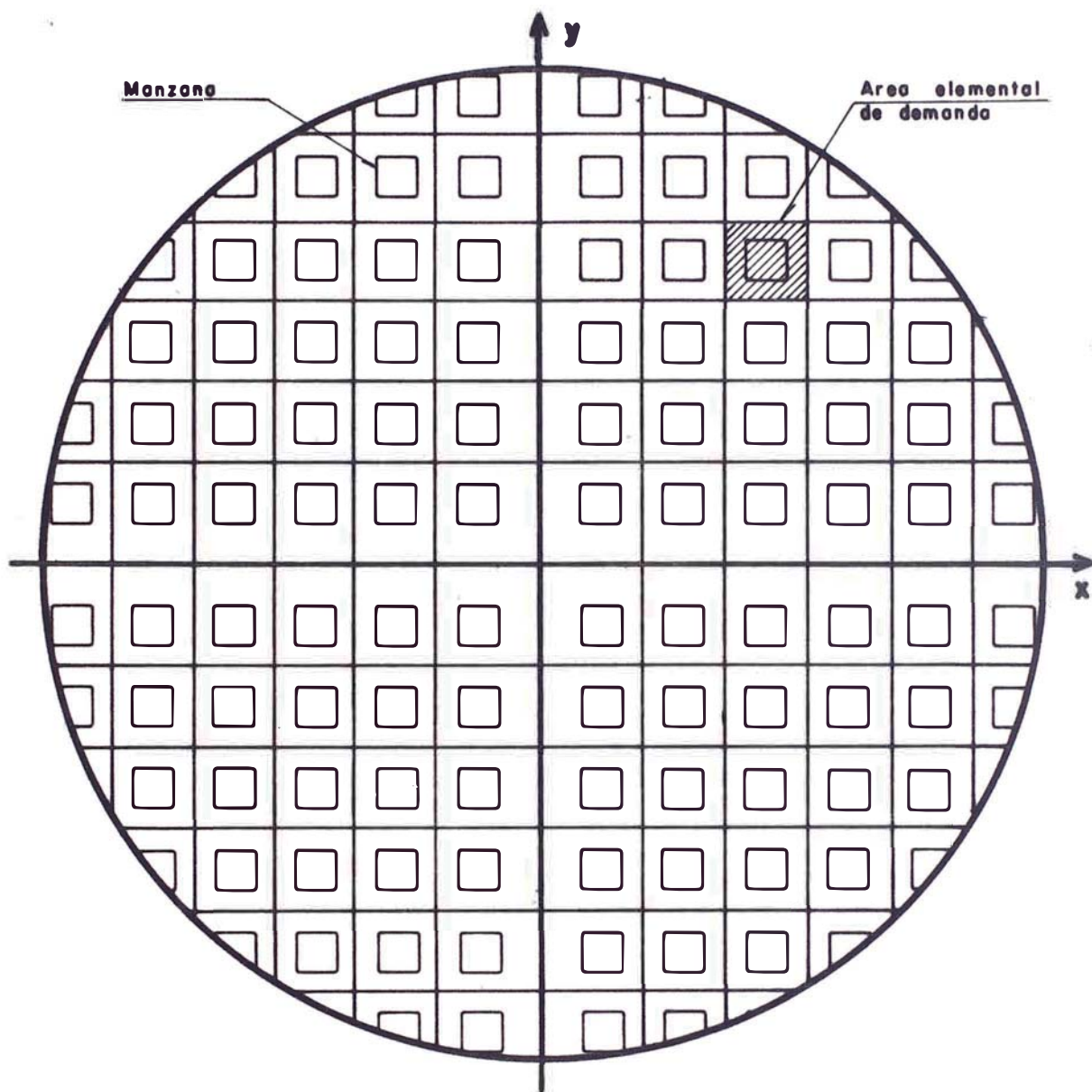
3.1 DETERMINACION DEL CENTRO DE ALAMBRES TEORICO

El área de abonados se divide en, por ejemplo, cuadrados de 100 m. denominados áreas elementales de demanda. Ver fig. 7. Suponemos que los abonados contados dentro de cada cuadrado están situados en el centro del mismo.

Ahora bien, en toda área de abonados con una sola central, red monocéntrica, hay que determinar la ubicación de la central telefónica, de forma tal que la suma total de las distancias a los abonados resulte mínima. Esto se lleva a cabo de la siguiente manera. En el plano de distribución espacial de la demanda, a escala adecuada, sobre el que se ha trazado los cuadrados; se grafica un sistema de coordenadas rectangulares que coincida convenientemente con las calles principales de la ciudad. Se miden las coordenadas de cada uno de los cuadrados y, se aplican las siguientes ecuaciones:

a. Centro de alambres al año corte:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i d_{0i}}{\sum_{i=1}^n d_{0i}} \quad (20)$$



**FIG. 7 DIVISION DEL AREA DE ABONADOS
EN AREAS ELEMENTALES DE DEMANDA**

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i d_{0i}}{\sum_{i=1}^n d_{0i}} \quad (21)$$

donde:

X_0 = abcisa del centro de alambres al año corte

Y_0 = ordenada del centro de alambres al año corte

x_i = abcisa del cuadrado i

y_i = ordenada del cuadrado i

d_{0i} = número de abonados del cuadrado i al año corte

n = número de cuadrados en el que se ha dividido el área de abonados.

b. Centro de alambres a 5 años:

$$X_5 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i d_{5i}}{\sum_{i=1}^n d_{5i}} \quad (22)$$

$$Y_5 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i d_{5i}}{\sum_{i=1}^n d_{5i}} \quad (23)$$

donde:

X_5 = abcisa del centro de alambres a 5 años

Y_5 = ordenada del centro de alambres a 5 años

d_{5i} = número de abonados del cuadrado i a 5 años

c. Centro de alambres a 10 años:

$$X_{10} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i d_{10i}}{\sum_{i=1}^n d_{10i}} \quad (24)$$

$$Y_{10} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i d_{10i}}{\sum_{i=1}^n d_{10i}} \quad (25)$$

donde:

X_{10} = abcisa del centro de alambres a 10 años

Y_{10} = ordenada del centro de alambres a 10 años

d_{10i} = número de abonados del cuadrado i a 10 años.

d. Centro de alambres a 15 años:

$$X_{15} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i d_{15i}}{\sum_{i=1}^n d_{15i}} \quad (26)$$

$$Y_{15} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i d_{15i}}{\sum_{i=1}^n d_{15i}} \quad (27)$$

donde:

X_{15} = abcisa del centro de alambres a 15 años

Y_{15} = ordenada del centro de alambres a 15 años

d_{15i} = número de abonados del cuadrado i a 15 años

La ubicación de estos futuros "centros de gravedad" indicará en que sentido se irá desplazando la ciudad.

Por consiguiente, la central debe emplazarse en un punto de la línea que une estos "centros".

3.2 DETERMINACION DE LOS CENTROS DE ALAMBRES EN FORMA MECANIZADA.

La determinación de los centros de alambres teóricos se efectúa rápida y fácilmente con el empleo del computador, para lo cual se ha desarrollado el programa - DCATM (determinación de los centros de alambre teórico en forma mecanizada).

Las variables de entrada y salida del programa DCATM se describen a continuación:

Entrada:

N = número de áreas elementales en que ha sido dividido el área de abonados.

D_0, D_5, D_{10}, D_{15} = Demanda al año corte, a 5, 10 y 15 años del área elemental de demanda.

X, Y = Coordenadas del área elemental

Salida:

X_0, Y_0 = Coordenadas del centro de alambres al año corte

X_5, Y_5 = Coordenadas del centro de alambres a 5 años

X_{10}, Y_{10} = Coordenadas del centro de alambres a 10 años

X_{15}, Y_{15} = Coordenadas del centro de alambres a 15 años

El diagrama de flujo del programa DCATM se muestra en la fig. 8 y, el programa mismo se presenta en la página siguiente.

3.3 DETERMINACION DE LAS RUTAS ALIMENTADORAS Y SUB-ALIMENTADORAS.

Tomando como punto de partida la ubicación real de la central telefónica, se seleccionan las rutas alimentadoras principales. Estas deben proporcionar el encaminamiento más corto, más económico y más práctico para el abonado. Luego, se trazan las líneas de sector de acuerdo con el sistema SAC, correspondiendo un sector para cada ruta alimentadora principal. Se trata en lo posible que los sectores sean iguales en lo que a demanda se refiere, con la finalidad de tener una red simétrica. Ver fig. 2. En lo que a las rutas sub-alimentadoras se refiere, éstas deben ser perpendiculares a las rutas alimentadoras principales y ser seleccionadas usando las mismas consideraciones de diseño básico que para las rutas alimentadoras principales.

Las rutas alimentadoras principales y sub-alimentadoras así determinadas, configuran pues, un sistema de enrutamiento óptimo, obtenido por la "MICHIGAN BELL TEL. COMPANY" mediante un estudio computarizado, para cuyo efecto desarrollaron el programa EFRAP, cuyos resultados y conclusiones se describen a continuación.

3.4 MODELO DE ENRUTAMIENTO FUNDAMENTAL

Como se hizo mención, la "Michigan Bell Tel. Company" desarrolló el Programa EFRAP para establecer el diseño más económico de rutas alimentadoras. Para tal efecto seleccionaron en forma aleatoria oficinas centrales

existentes de las áreas metropolitana y los alrededores del estado de Michigan y, consideraron tres diseños básicos que denominaron ruta roja, ruta verde y ruta amarilla para su diferenciación, los cuales aparecen en la fig. 9. Del estudio comparativo se estableció que la ruta roja era la más económica por \$ 15,200 sobre la ruta verde y por \$ 48,300 sobre la ruta amarilla.

DIAGRAMA DE FLUJO DE DETERMINACION DEL
CENTRO DE ALAMBRES TEORICO EN FORMA ME
CANIZADA.

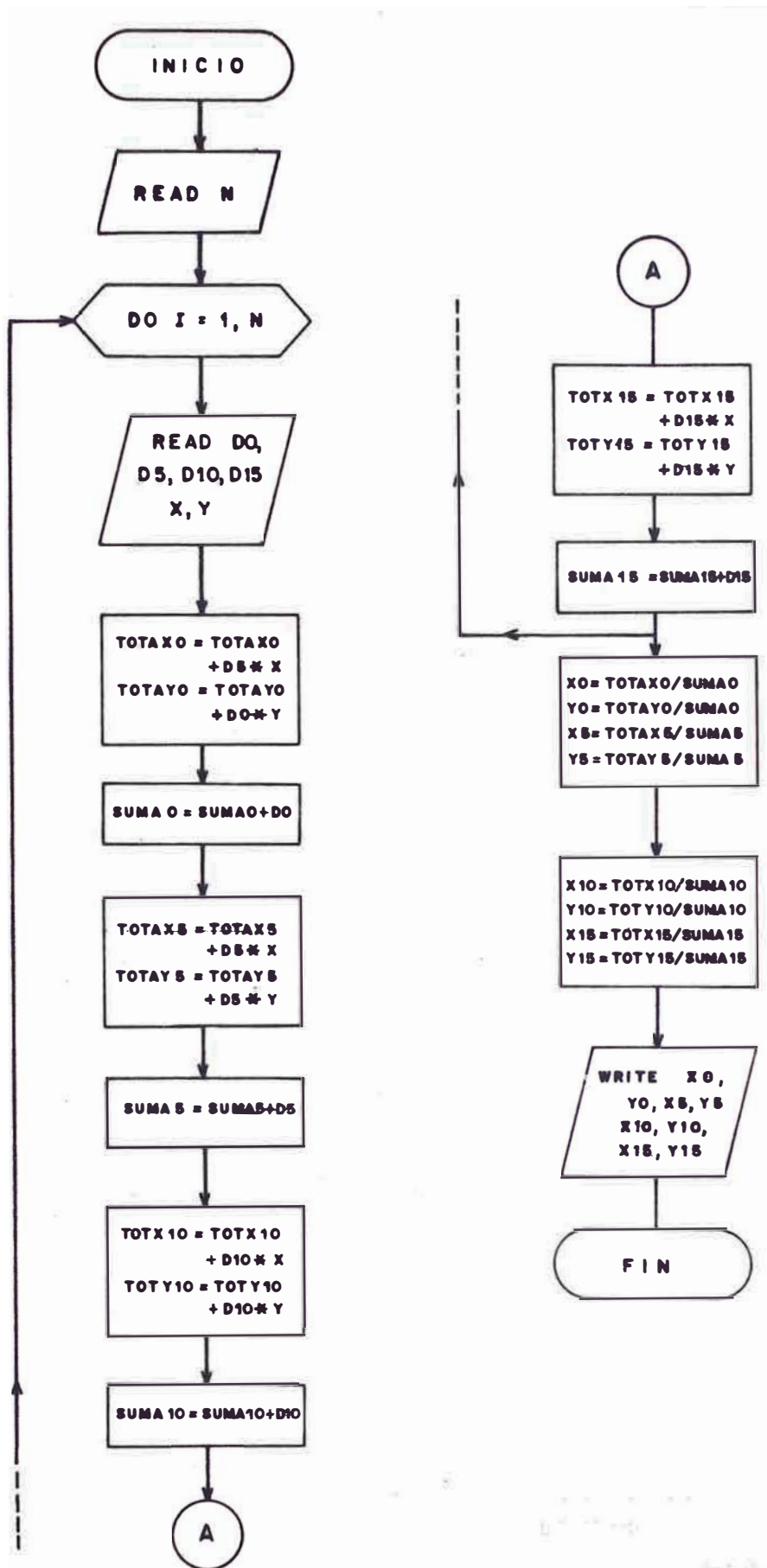
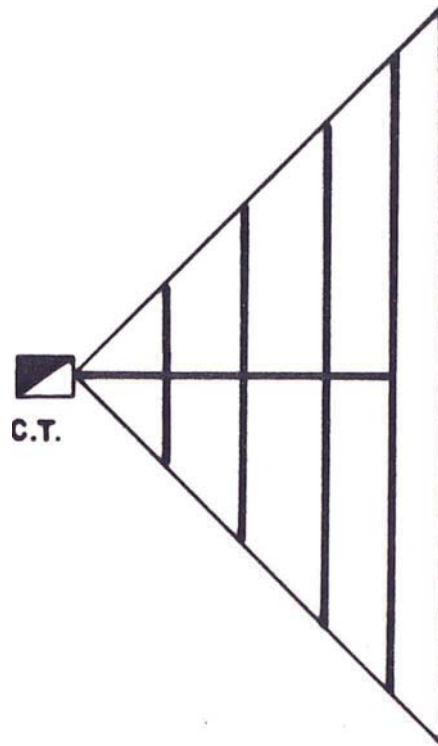
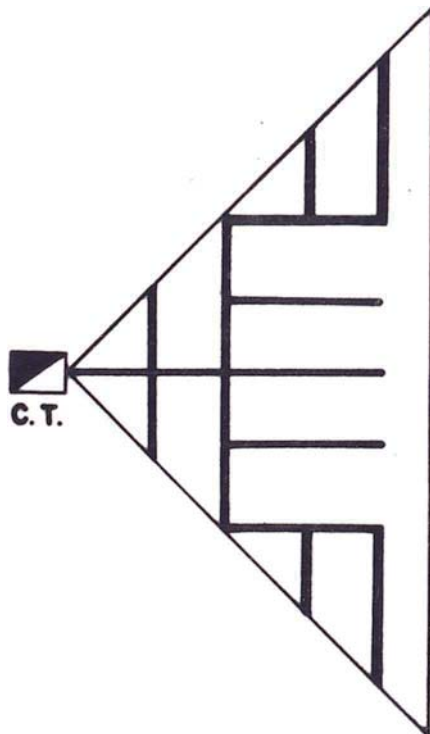


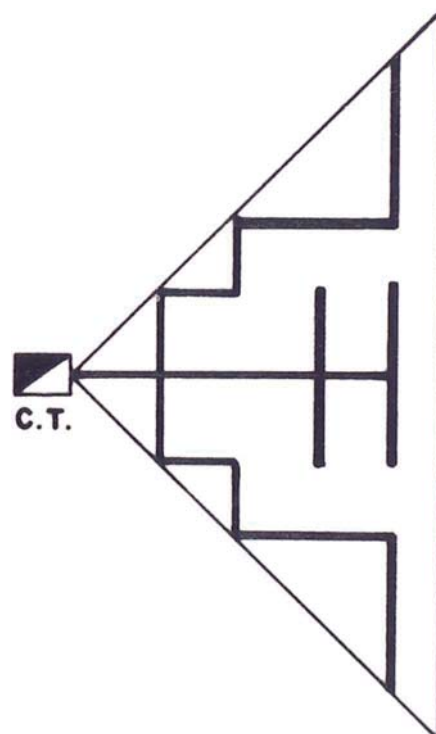
FIG. 8 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA DETERMINACION DEL CENTRO DE ALAMBRE TEORICO EN FORMA MECANIZADA



a) Ruta roja



b) Ruta verde



c) Ruta amarilla

FIG. 9 MODELOS DE ENRUTAMIENTO FUNDAMENTAL

CAPITULO IV

DETERMINACION DE LAS AREAS DE SERVICIO DE DISTRIBUCION (DSA)

4.1 TAMAÑO FISICO DE LAS AREAS DE SERVICIO DE DISTRIBUCION

4.1.1 Criterios generales para determinar el tamaño de las áreas de servicio de distribución.

El tamaño de las áreas de servicio de distribución está estrechamente relacionado con la capacidad de los armarios de distribución, por lo que determinar el tamaño del área de distribución implica elegir una determinada capacidad de armario. A continuación damos ciertas pautas para determinar las áreas de distribución:

- a. Para determinada capacidad de armario, el área de distribución será mayor (líneas secundarias más largas) cuanto más pequeña sea la densidad de abonados. Como lo que se desea es que las caras líneas secundarias sean lo más cortas posible, la capacidad del armario debe ser por esta razón pequeña cuando se trata de bajas densidades de abonados.
- b. Cuanto mayor sea la capacidad del armario tanto mejor será el grado de utilización del cable primario. Por consiguiente, para largos cables primarios deben emplearse

grandes armarios.

- c. Normalmente, la densidad de abonados es tanto más pequeña cuanto más se aleja uno de la central. En consecuencia, en la periferie de la ciudad, en donde la densidad de abonados es baja, deben utilizarse, según a) armarios pequeños, pero como la distancia a la central es grande, según b), deben emplearse armarios grandes.

Puede verse aquí que los diferentes puntos de vista siguen caminos distintos. Por esta razón, se han de valorar en forma económica los diferentes factores que influyen en la determinación del tamaño de las áreas de distribución, a fin de poder hallar la red más económica.

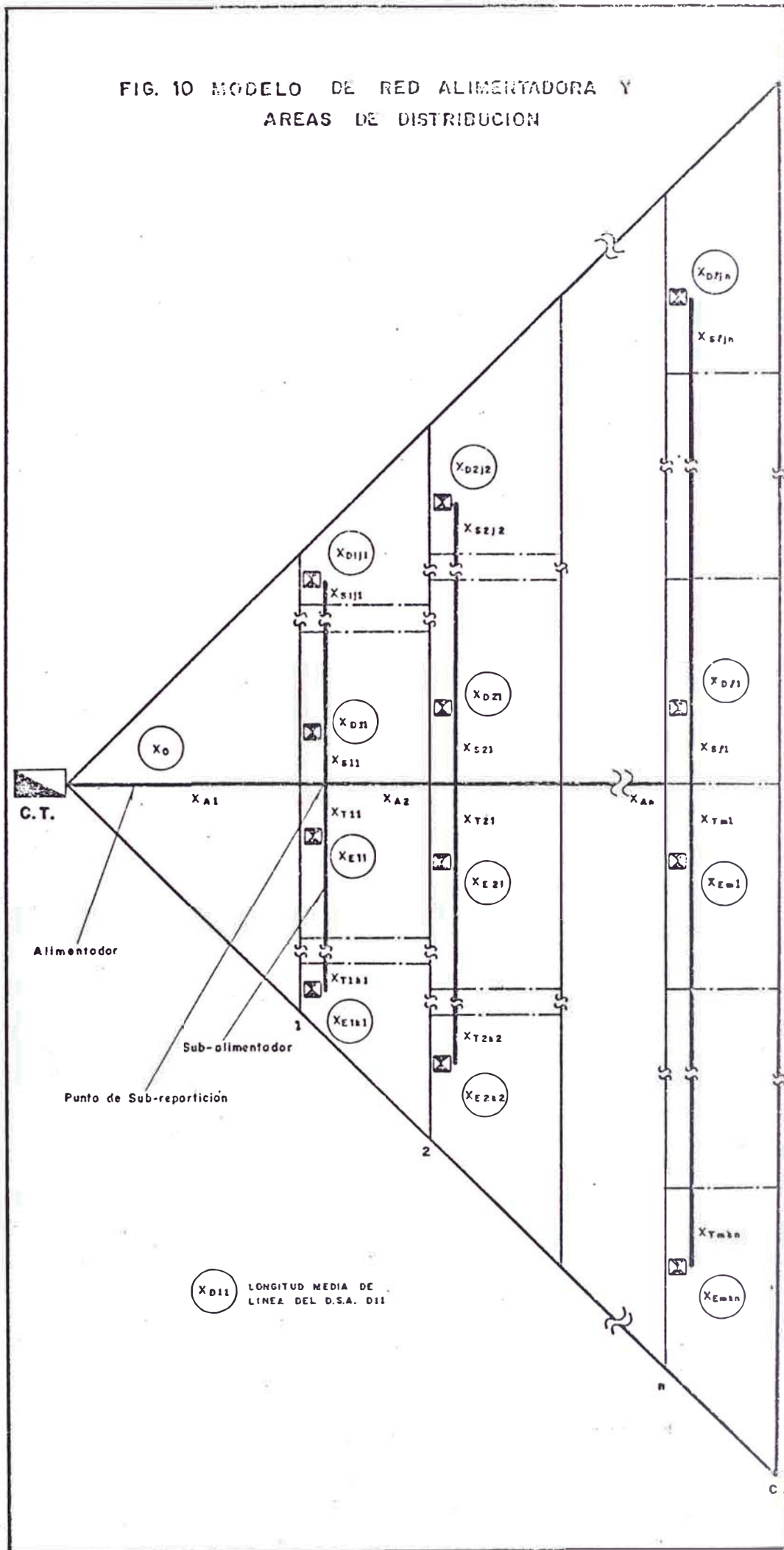
4.1.2 Formulación matemática para determinar el tamaño óptimo de las áreas de servicio de distribución.

Utilizando los conceptos de investigación de operaciones, vamos a determinar el tamaño óptimo de las áreas de distribución, de tal manera que el costo total de la red telefónica (planta externa) sea mínimo.

Aplicando los resultados y conclusiones del programa EFRAP, se ha obtenido la configuración de red de la fig.10, en la que se ha incluido un área central para aprovechar la cercanía al MDF (Main Distribution Frame).

De acuerdo a la fig.10, tenemos la siguiente formulación matemática:

FIG. 10 MODELO DE RED ALIMENTADORA Y
AREAS DE DISTRIBUCION



a. Costo de Cables Alimentadores (C_A)

$$\begin{aligned}
C_A = & N_{A1} f_1 X_{A1} C_1 + N_{A2} f_1 X_{A2} C_1 + \dots + N_{AN} f_1 X_{AN} C_1 + \\
& N_{D11} f_1 X_{S11} C_1 + N_{D12} f_1 X_{S12} C_1 + \dots + N_{D1j1} f_1 X_{S1j1} C_1 + \\
& N_{E11} f_1 X_{T11} C_1 + N_{E12} f_1 X_{T12} C_1 + \dots + N_{E1k1} f_1 X_{T1k1} C_1 + \\
& N_{D21} f_1 X_{S21} C_1 + N_{D22} f_1 X_{S22} C_1 + \dots + N_{D2j2} f_1 X_{S2j2} C_1 + \\
& N_{E21} f_1 X_{T21} C_1 + N_{E22} f_1 X_{T22} C_1 + \dots + N_{E2k2} f_1 X_{T2k2} C_1 + \\
& \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
& \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
& \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
+ & N_{D11} f_1 X_{S11} C_1 + N_{D12} f_1 X_{S12} C_1 + \dots + N_{D1jn} f_1 X_{S1jn} C_1 + \\
& N_{Em1} f_1 X_{Tm1} C_1 + N_{Em2} f_1 X_{Tm2} C_1 + \dots + N_{Emkn} f_1 X_{Tmkn} C_1
\end{aligned}
\tag{28}$$

Donde:

f_1 = Factor de utilización de cables alimentadores (par/abonado).

C_1 = Costo por par-metro de cables alimentadores (dólares/par-metro).

N_{D11} = Número de abonados del área de distribución D11.

N_{D12} = Número de abonados del área de distribución D12.

\cdot \cdot \cdot \cdot
 \cdot \cdot \cdot \cdot
 \cdot \cdot \cdot \cdot

N_{D1j1} = Número de abonados del área de distribución
D1j1.

N_{E11} = Número de abonados del área de distribución
E11-

N_{E12} = Número de abonados del área de distribución
E12.

• • •
• • •
• • •

N_{E1k1} = Número de abonados del área de distribución
E1k1.

• • • •
• • • •
• • • •

N_{D11} = Número de abonados del área de distribución
D11.

N_{D12} = Número de abonados del área de distribución
D12.

• • • •
• • • •
• • • •

N_{D1jn} = Número de abonados del área de distribución
D1jn.

N_{Em1} = Número de abonados del área de distribución
Em1.

N_{Em2} = Número de abonados del área de distribución Em2.



N_{Emkn} = Número de abonados del área de distribución Emkn.

N_{A1} = Número de abonados entre la línea de área de servicio 1 y la línea C.

N_{A2} = Número de abonados entre la línea de área de servicio 2 y la línea C.



N_{An} = Número de abonados entre la línea de área de servicio n y la línea C.

X_{A1} = Longitud del cable alimentador entre la oficina central y el primer punto de sub-repartición (m)

X_{A2} = Longitud del cable alimentador entre el primer punto de sub-repartición y el segundo punto de sub-repartición (m)



X_{An} = Longitud del cable alimentador entre penúltimo punto de sub-repartición y el último - (m).

X_{S11} = Longitud del alimentador del área de distribución D11 (m).

X_{S12} = Longitud del alimentador del área de distribución D12 (m).

• • • • •
• • • • •
• • • • •

X_{S1j1} = Longitud del alimentador del área de distribución D1j1 (m).

X_{T11} = Longitud del alimentador del área de distribución E11 (m).

X_{T12} = Longitud del alimentador del área de distribución E12 (m).

• • • • •
• • • • •
• • • • •

X_{T1k1} = Longitud del alimentador del área de distribución E1k1 (m).

• • • • •
• • • • •
• • • • •
• • • • •

X_{S11} = Longitud del alimentador del área de distribución D11 (m)

X_{S12} = Longitud del alimentador del área de distribución D12 (m).

• • • • •
• • • • •
• • • • •

X_{Sljn} = Longitud del alimentador del área de distribución D1jn (m)

• • • • •
• • • • •
• • • • •

X_{Tm1} = Longitud del alimentador del área de distribución Em1 (m).

X_{Tm2} = Longitud del alimentador del área de distribución Em2 (m)

• • • • •
• • • • •
• • • • •

X_{Tmkn} = Longitud del alimentador del área de distribución Emkn (m)

Reemplazando en C_A , N_{A1} , N_{A2} , ..., N_{An} por sus equivalentes, tenemos:

$$\begin{aligned}
 &+ N_{D11} f_2 X_{D11} C_2 + N_{D12} f_2 X_{D12} C_2 + \dots + N_{D1jn} f_2 X_{D1jn} C_2 + \\
 &N_{Em1} f_2 X_{Em1} C_2 + N_{Em2} f_2 X_{Em2} C_2 + \dots + N_{Emkn} f_2 X_{Emkn} C_2
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

Donde :

f_2 = Factor de utilización de cables distribuidores (par/abonado).

C_2 = Costo por par-m de cables distribuidores (dólares/par-m).

N_0 = Número de abonados del área central.

X_{D11} = Longitud media de línea de cable distribuidor del área de distribución D11 (m).

X_{D12} = Longitud media de línea de cable distribuidor del área de distribución D12 (m).

• • • • •
 • • • • •
 • • • • •

X_{Emkn} = Longitud media de línea de cable distribuidor del área de distribución Emkn (m).

c. Costo total de cables (C_T)

El costo total de cables será :

$$C_T = C_A + C_D \quad (31)$$

Sumando C_A y C_D y, agrupando términos, tenemos:

$$\begin{aligned}
 C_T &= C_A + C_D \\
 &= f_2 C_2 X_o N_o + (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{S11} + f_2 C_2 X_{D11})^{N_{D11}} + \\
 &\quad (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{S12} + f_2 C_2 X_{D12})^{N_{D12}} + \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &+ (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{S1j1} + f_2 C_2 X_{D1j1})^{N_{D1j1}} + \\
 &\quad (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{T11} + f_2 C_2 X_{E11})^{N_{E11}} + \\
 &\quad (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{T12} + f_2 C_2 X_{E12})^{N_{E12}} + \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &+ (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{T1k1} + f_2 C_2 X_{E1k1})^{N_{E1k1}} + \\
 &\quad (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{A2} + f_1 C_1 X_{S21} + f_2 C_2 X_{D21})^{N_{D21}} + \\
 &\quad (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{A2} + f_1 C_1 X_{S22} + f_2 C_2 X_{D22})^{N_{D22}} + \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &+ (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{A2} + f_1 C_1 X_{S2j2} + f_2 C_2 X_{D2j2})^{N_{D2j2}} + \\
 &\quad (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{A2} + f_1 C_1 X_{T21} + f_2 C_2 X_{E21})^{N_{E21}} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (f_{11}C_{11}X_{A1} + f_{11}C_{11}X_{A2} + f_{11}C_{11}X_{T22} + f_{22}C_{22}X_{E22})^{N_{E22}} + \\
 & \begin{array}{cccc}
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot
 \end{array} \\
 & + (f_{11}C_{11}X_{A1} + f_{11}C_{11}X_{A2} + f_{11}C_{11}X_{T2k2} + f_{22}C_{22}X_{E2k2})^{N_{E2k2}} + \\
 & \begin{array}{cccc}
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot
 \end{array} \\
 & + (f_{11}C_{11}X_{A1} + f_{11}C_{11}X_{A2} + \dots + f_{11}C_{11}X_{An} + f_{11}C_{11}X_{S11} + \\
 & \qquad \qquad \qquad f_{22}C_{22}X_{D11})^{N_{D11}} + \\
 & (f_{11}C_{11}X_{A1} + f_{11}C_{11}X_{A2} + \dots + f_{11}C_{11}X_{An} + f_{11}C_{11}X_{S12} + \\
 & \qquad \qquad \qquad f_{22}C_{22}X_{D12})^{N_{D12}} + \\
 & \begin{array}{cccc}
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot
 \end{array} \\
 & + (f_{11}C_{11}X_{A1} + f_{11}C_{11}X_{A2} + \dots + f_{11}C_{11}X_{An} + f_{11}C_{11}X_{S1jn} + \\
 & \qquad \qquad \qquad f_{22}C_{22}X_{D1jn})^{N_{D1jn}} + \\
 & (f_{11}C_{11}X_{A1} + f_{11}C_{11}X_{A2} + \dots + f_{11}C_{11}X_{An} + f_{11}C_{11}X_{Tm1} + \\
 & \qquad \qquad \qquad f_{22}C_{22}X_{Em1})^{N_{Em1}} +
 \end{aligned}$$

$$(f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{A2} + \dots + f_1 C_1 X_{An} + f_1 C_1 X_{Tm2} + f_2 C_2 X_{Em2})^{N_{Em2}} +$$

$\cdot \quad \cdot \quad \dots \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$
 $\cdot \quad \cdot \quad \dots \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$
 $\cdot \quad \cdot \quad \dots \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$

$$+ (f_1 C_1 X_{A1} + f_1 C_1 X_{A2} + \dots + f_1 C_1 X_{An} + f_1 C_1 X_{Tmkn} + f_2 C_2 X_{Emkn})^{N_{Emkn}}$$

(32)

Si hacemos :

$$C_o = f_2 C_2 X_o$$

$$C_{D11} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{S11}) + f_2 C_2 X_{D11}$$

$$C_{D12} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{S12}) + f_2 C_2 X_{D12}$$

$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$
 $\cdot \quad \cdot \quad \cdot$
 $\cdot \quad \cdot \quad \cdot$

$$C_{D1j1} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{S1j1}) + f_2 C_2 X_{D1j1}$$

$$C_{E11} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{T11}) + f_2 C_2 X_{E11}$$

$$C_{E12} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{T12}) + f_2 C_2 X_{E12}$$

$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$
 $\cdot \quad \cdot \quad \cdot$
 $\cdot \quad \cdot \quad \cdot$

$$C_{E1k1} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{T1k1}) + f_2 C_2 X_{E1k1}$$

$$C_{D21} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{S21}) + f_2 C_2 X_{D21}$$

$$C_{D22} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{S22}) + f_2 C_2 X_{D22}$$

•
•
•

$$C_{D2j2} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{S2j2}) + f_2 C_2 X_{D2j2}$$

$$C_{E21} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{T21}) + f_2 C_2 X_{E21}$$

$$C_{E22} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{T22}) + f_2 C_2 X_{E22}$$

•
•
•

$$C_{E2k2} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{T2k2}) + f_2 C_2 X_{E2k2}$$

•
•
•
•
•
•
•
•
•

$$\begin{aligned}
C_{D11} &= f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{An} + X_{S11}) + f_2 C_2 X_{D11} \\
C_{D12} &= f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{An} + X_{S12}) + f_2 C_2 X_{D12} \\
&\cdot \qquad \qquad \cdot \qquad \qquad \cdot \\
&\cdot \qquad \qquad \cdot \qquad \qquad \cdot \\
&\cdot \qquad \qquad \cdot \qquad \qquad \cdot \\
C_{D1jn} &= f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{An} + X_{S1jn}) + f_2 C_2 X_{D1jn} \\
&\cdot \\
C_{Em1} &= f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{An} + X_{Tm1}) + f_2 C_2 X_{Em1} \\
C_{Em2} &= f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{An} + X_{Tm2}) + f_2 C_2 X_{Em2} \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
C_{Emkn} &= f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{An} + X_{Tmkn}) + f_2 C_2 X_{Emkn}
\end{aligned}
\tag{33}$$

Siendo: C_o , C_{D11} , C_{D12} , \dots , C_{Emkn} , coeficientes de costos de las variables que representan el número de abonados de las áreas de distribución y, están expresados en dólares/abonado.

Luego el costo total de cables será:

$$\begin{aligned}
C_T = & C_o N_o + C_{D11} N_{D11} + C_{D12} N_{D12} + \dots + C_{D1j1} N_{D1j1} + \\
& C_{E11} N_{E11} + C_{E12} N_{E12} + \dots + C_{E1k1} N_{E1k1} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& C_{D21}N_{D21} + C_{D22}N_{D22} + \dots + C_{D2j2}N_{D2j2} + \\
& C_{D21}N_{E21} + C_{E22}N_{E22} + \dots + C_{E2k2}N_{E2k2} + \\
& \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \\
& \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \\
& \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \quad \cdot \\
& + C_{D11}N_{D11} + C_{D12}N_{D12} + \dots + C_{D1jn}N_{D1jn} + \\
& C_{E11}N_{E11} + C_{E12}N_{E12} + \dots + C_{E1kn}N_{E1kn}
\end{aligned}$$

(34)

d. Formulación del problema de programación lineal.

Antes de presentar la formulación del problema de di se ño ó p t i m o de la red, determinaremos los valores ex tr e m os de las restricciones.

Las capacidades de armarios que normalmente se uti li zan son: 700, 900, 1,200 y 1,800 pares, cuyos pares-al im en t a d o r e s y distribuidores se reparten así:

T A B L A 2

CAPACIDAD DE ARMARIO	PARES ALIMENTADORES	PARES DISTRIBUIDORES
700	300	400
900	400	500
1200	500	700
1800	800	1000

Si tomamos los valores extremos de las capacidades de armario, es decir 700 y 1,800, tendremos el número de abonados que le corresponden:

Número de abonados para el armario de 700 =

$$300 \times 0.8 = 240 \text{ abonados}$$

Número de abonados para el armario de 1,800 =

$$800 \times 0.9 = 720 \text{ abonados}$$

Luego tenemos la siguiente formulación:

Función Objetivo

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } C_T = C_o N_o &+ C_{D11} N_{D11} + C_{D12} N_{D12} + \dots + C_{D1j1} N_{d1j1} + \\ &C_{E11} N_{E11} + C_{E12} N_{E12} + \dots + C_{E1k1} N_{E1k1} + \\ &C_{D21} N_{D21} + C_{D22} N_{D22} + \dots + C_{D2j2n} N_{D2j2} + \\ &C_{E21} N_{E21} + C_{E22} N_{E22} + \dots + C_{E2k2} N_{E2k2} + \\ &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ &+ C_{D11} N_{D11} + C_{D12} N_{D12} + \dots + C_{D1jn} N_{D1jn} + \\ &C_{Em1} N_{Em1} + C_{Em2} N_{Em2} + \dots + C_{Emkn} N_{Emkn} \end{aligned}$$

(35)

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$N_o + N_{D11} + N_{D12} + \dots + N_{D1j1} +$$

$$\begin{aligned}
 & N_{E11} + N_{E12} + \dots + N_{E1k1} + \\
 & N_{D21} + N_{D22} + \dots + N_{D2j2} + \\
 & N_{E21} + N_{E22} + \dots + N_{E2k2} + \\
 & \cdot \quad \cdot \quad \dots \quad \cdot \\
 & \cdot \quad \cdot \quad \dots \quad \cdot \\
 & \cdot \quad \cdot \quad \dots \quad \cdot \\
 + & N_{D11} + N_{D12} + \dots + N_{D1jn} + \\
 & N_{Em1} + N_{Em2} + \dots + N_{Emkn} \quad = \quad N_s
 \end{aligned}$$

240	≤	N_{D11}	≤ 720
240	≤	N_{D12}	≤ 720
·		·	·
·		·	·
·		·	·
240	≤	N_{D1j1}	≤ 720
240	≤	N_{E11}	≤ 720
240	≤	N_{E12}	≤ 720
·		·	·
·		·	·
·		·	·
240	≤	N_{E1k1}	≤ 720
240	≤	N_{D21}	≤ 720
240	≤	N_{D22}	≤ 720
·		·	·
·		·	·
·		·	·

$$\begin{array}{rcl}
240 \leq & N_{D2j2} & \leq 720 \\
240 \leq & N_{E21} & \leq 720 \\
240 \leq & N_{E22} & \leq 720 \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
240 \leq & N_{E2k2} & \leq 720 \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
240 \leq & N_{D11} & \leq 720 \\
240 \leq & N_{D12} & \leq 720 \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
240 \leq & N_{D1jn} & \leq 720 \\
240 \leq & N_{Em1} & \leq 720 \\
240 \leq & N_{Em2} & \leq 720 \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot \\
240 \leq & N_{Emkn} & \leq 720
\end{array} \tag{36}$$

y las condiciones de no negatividad:

$$\begin{aligned}
N_o &\geq 0, & N_{D11} &\geq 0, & N_{D12} &\geq 0, \dots, & N_{D1j1} &\geq 0 \\
N_{E11} &\geq 0, & N_{E12} &\geq 0, \dots, & N_{E1k1} &\geq 0 \\
N_{D21} &\geq 0, & N_{D22} &\geq 0, \dots, & N_{D2j2} &\geq 0 \\
N_{E21} &\geq 0, & N_{E22} &\geq 0, \dots, & N_{E2k2} &\geq 0 \\
&\cdot & & & \dots, & & \cdot \\
&\cdot & & & \dots, & & \cdot \\
&\cdot & & & \dots & & \cdot \\
N_{D11} &\geq 0, & N_{D12} &\geq 0, \dots, & N_{D1jn} &\geq 0 \\
N_{Em1} &\geq 0, & N_{Em2} &\geq 0, \dots, & N_{Emkn} &\geq 0
\end{aligned}$$

N_s = Número total de abonados del sector en consi
deración.

A continuación presentamos un ejemplo de formu
lación del problema de optimización del diseño de una red-
telefónica local. Se trata de la configuración mostrada-
en la fig. 11 y, corresponde al sector II de la ciudad de
Chincha.

La función objetivo será, de acuerdo a la ecua-
ción (35).

$$\begin{aligned}
\text{Min } C_T = & C_o N_o + C_{D11} N_{D11} + C_{E11} N_{E11} + \\
& C_{D21} N_{D21} + C_{E21} N_{E21} + \\
& C_{D31} N_{D31} + C_{E31} N_{E31}
\end{aligned}$$

Vamos a calcular los coeficientes de costos C_o
 C_{D11}, \dots, C_{E31} . De acuerdo a las relaciones (33) tenemos:

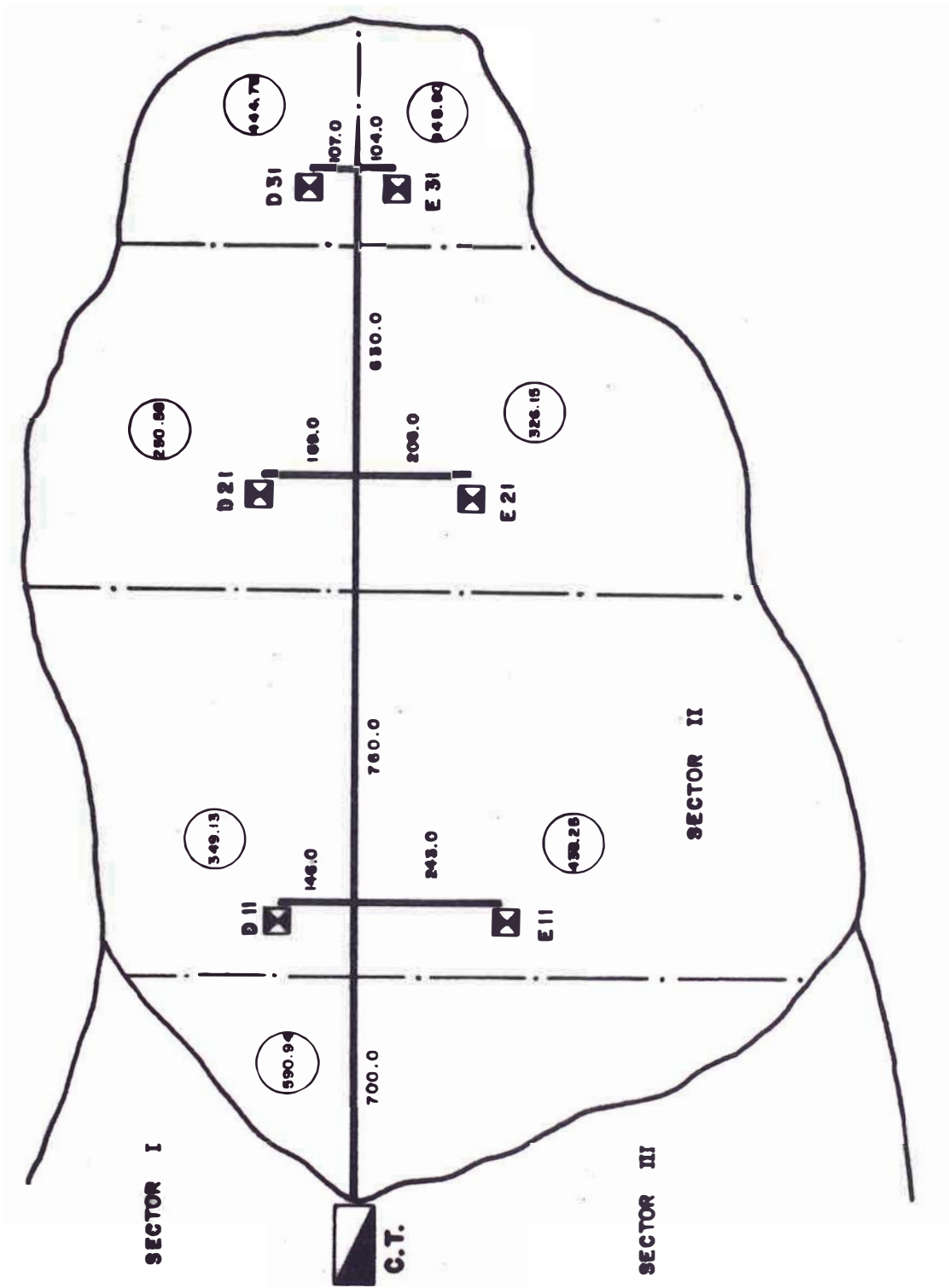


FIG. 11 CONFIGURACION INICIAL DE RED ALIMENTADORA DEL SECTOR II DE LA CIUDAD DE CHINCHA

$$C_o = f_2 C_2 X_o$$

$$C_{D11} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{S11}) + f_2 C_2 X_{D11}$$

$$C_{E11} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{T11}) + f_2 C_2 X_{E11}$$

$$C_{D21} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{S21}) + f_2 C_2 X_{D21}$$

$$C_{E21} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{T21}) + f_2 C_2 X_{E21}$$

$$C_{D31} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{A3} + X_{S31}) + f_2 C_2 X_{D31}$$

$$C_{E31} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + X_{A3} + X_{T31}) + f_2 C_2 X_{E31}$$

Sabemos que:

$$f_1 = \frac{1}{0.85} \quad \text{pares/abonado}$$

$$f_2 = \frac{1}{0.70} \quad \text{pares/abonado; y}$$

Haciendo cálculos se ha obtenido que:

$$C_1 = 0.051185555 \quad \$/\text{par-metro, y}$$

$$C_2 = 0.0567215 \quad \$/\text{par-metro}$$

Reemplazando estos valores y los de la fig. 11, tenemos:

$$C_o = \frac{1}{0.70} \times 0.0567215 \times 540.94 = 43.83 \quad \$/\text{abonado}$$

$$C_{D11} = \frac{1}{0.85} \times 0.051185555(700.0+146.0) + \frac{1}{0.70} \times 0.0567215 \times 349.13 =$$

79.24 \$/abonado.

$$C_{E11} = \frac{1}{0.85} \times 0.051185555(700.0+243.0) + \frac{1}{0.70} \times 0.0567215 \times 438.25 =$$

92.30 \$/abonado.

$$C_{D21} = \frac{1}{0.85} \times 0.051185555(700.0+760.0+169.0) + \frac{1}{0.70} \times 0.0567215 \times$$

250.58 = 118.41 \$/abonado.

$$C_{E21} = \frac{1}{0.85} \times 0.051185555(700.0+760.0+205.0) + \frac{1}{0.70} \times 0.0567215 \times$$

326.15 = 126.69 \$/abonado.

$$C_{D31} = \frac{1}{0.85} \times 0.051185555(700.0+760.0+630.0+107.0) + \frac{1}{0.70} \times 0.0567215$$

x 444.79 = 168.34 \$/abonado.

$$C_{E31} = \frac{1}{0.85} \times 0.051185555(700.0+760.0+630.0+104.0) + \frac{1}{0.70} \times 0.0567215$$

x 348.5 = 160.36 \$/abonado.

Por lo tanto la función objetivo es:

$$\begin{aligned} \text{Min } C_T &= 43.83 N_O + 79.24 N_{D11} + 92.30 N_{E11} + \\ & 118.41 N_{D21} + 126.69 N_{E21} + \\ & 168.34 N_{D31} + 160.36 N_{E31} \end{aligned}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$N_o + N_{D11} + N_{E11} + N_{D21} + N_{E21} + N_{D31} + N_{E31} = 3616$$

$$240 \leq N_{D11} \leq 720$$

$$240 \leq N_{E11} \leq 720$$

$$240 \leq N_{D21} \leq 720$$

$$240 \leq N_{E21} \leq 720$$

$$240 \leq N_{D31} \leq 720$$

$$240 \leq N_{E31} \leq 720$$

y las condiciones de no negatividad:

$$N_o \geq 0, \quad N_{D11} \geq 0, \quad N_{E11} \geq 0, \quad N_{D21} \geq 0, \quad N_{E21} \geq 0,$$

$$N_{D31} \geq 0, \quad N_{E31} \geq 0$$

Una cuestión importante en la formulación matemática de este problema particular de diseño de una red, es la variación de los coeficientes de costos de la función objetivo por la que es motivo del siguiente análisis

El término general de coeficiente de costo es:

$$C_{Dwjd} = f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{Au} + X_{Swjd}) + f_2 C_2 X_{Dwjd}$$

donde:

$$\begin{aligned} w &= 1, 2, \dots, l \\ jd &= 1, 2, \dots, jl \\ u &= 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Cuando varía el tamaño del área de distribución, también variarán X_{Swjd} y X_{Dwjd} ; por consiguiente el coeficiente de costo nuevo \hat{C}_{Dwjd} será:

$$\begin{aligned} \hat{C}_{Dwjd} &= f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{Au} + X_{Swjd} + \Delta X_{Swjd}) + \\ &\quad f_2 C_2 (X_{Dwjd} + \Delta X_{Dwjd}) \\ \hat{C}_{Dwjd} &= f_1 C_1 (X_{A1} + X_{A2} + \dots + X_{Au} + X_{Swjd}) + f_1 C_1 \Delta X_{Swjd} + \\ &\quad f_2 C_2 X_{Dwjd} + f_2 C_2 \Delta X_{Dwjd} \end{aligned}$$

por lo tanto, la variación del coeficiente de costo será:

$$\Delta C_{Dwjd} = \hat{C}_{Dwjd} - C_{Dwjd} = f_1 C_1 \Delta X_{Swjd} + f_2 C_2 \Delta X_{Dwjd}$$

(37)

Si esta variación se mantiene dentro del 5%, podemos considerar constantes los coeficientes de costos, ya que esta variación tendrá como consecuencia que la función objetivo varíe como máximo en un 5% como lo demostraremos a continuación. El siguiente cuadro muestra los elementos que intervienen para tal efecto.

CUADRO 1

AREA DE DISTRIBUCION	Nº DE ABONADOS	COEFICIENTE DE COSTO	VARIACION DEL COEFICIENTE DE COSTO (5%)
D_{11}	N_1	C_1	$0.05 C_1$
D_{12}	N_2	C_2	$0.05 C_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
D_{1j1}	N_i	C_i	$0.05 C_i$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
D_{1jn}	N_n	C_n	$0.05 C_n$

La función objetivo será :

$$C_T = C_1 N_1 + C_2 N_2 + \dots + C_n N_n$$

La variación de la función objetivo será:

$$\Delta C_T = 0.05 C_1 N_1 + 0.05 C_2 N_2 + \dots + 0.05 C_n N_n$$

por simplicidad hagamos $N_1=N_2=\dots=N_n$

luego,

$$C_T = (C_1+C_2+\dots+C_n)N, \text{ y}$$

$$\Delta C_T = 0.05(C_1+C_2+\dots+C_n)N$$

por lo tanto :

$$\frac{\Delta C_T}{C_T} = 0.05 = 5\%$$

4.1.3 Determinación del tamaño óptimo de las áreas de distribución en forma computarizada.

El modelo de programación lineal dado en el capítulo 4.1.2 (ecuaciones (35) y (36), se puede resolver por el método simplex, que es una herramienta de optimización muy valiosa e importante de la Investigación de Operaciones.

En la solución del presente problema, dado su volumen de datos y su complejidad y, las ventajas obvias - que proporciona el computador, vamos a hacer uso del SOFTWARE MPSX/370.

El MPSX/370 optimiza el modelo de programación lineal aplicando el método simplex en su forma vectorial y además, efectúa el análisis de sensibilidad de los resultados. En la fig. 12, se presenta el diagrama de flujo del MPSX/370.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MPSX/370

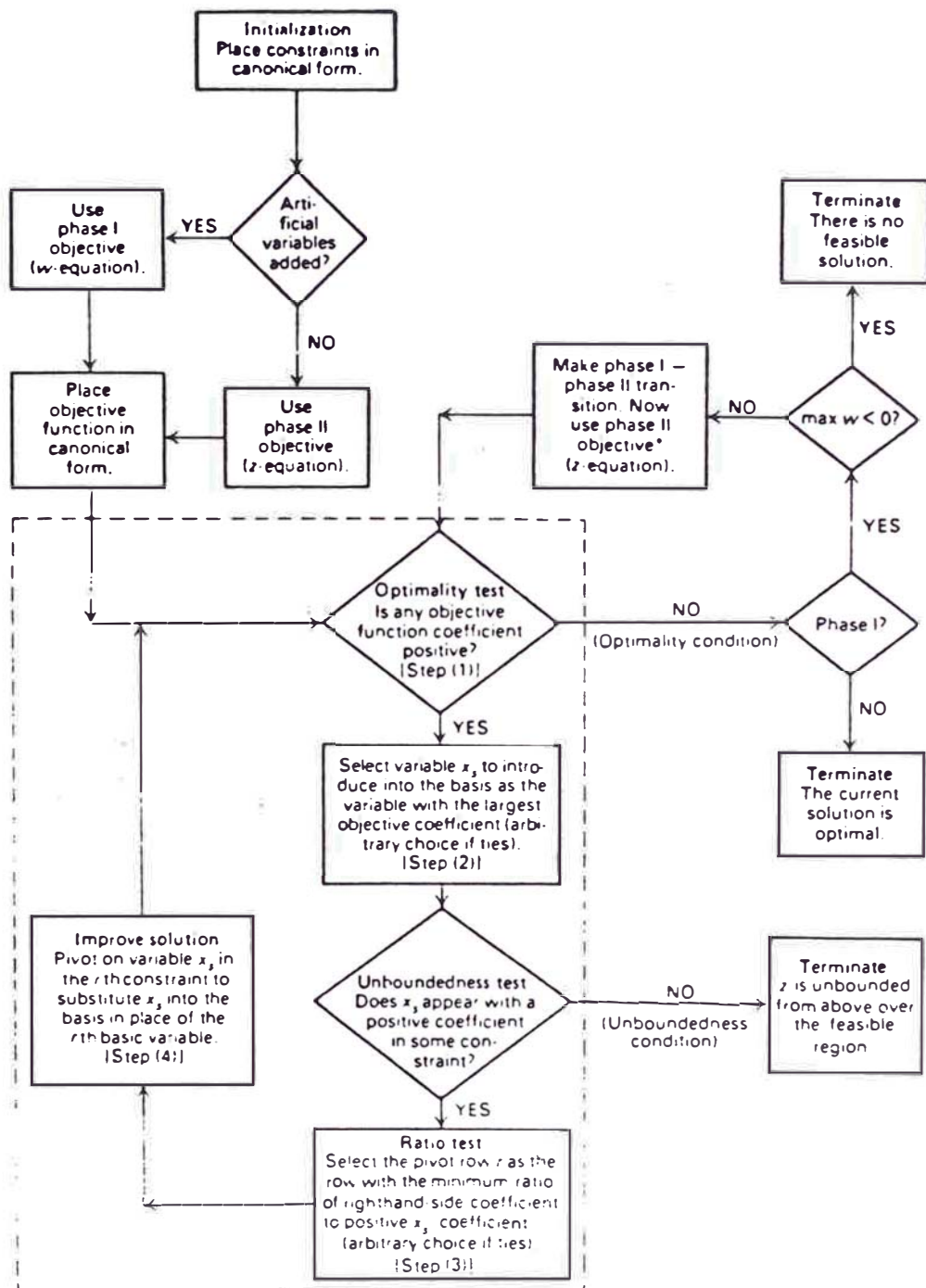


Figure 12 Simplex phase I - phase II maximization procedure

A continuación damos un ejemplo de ingreso de datos para resolver el problema, haciendo uso del MPSX/370, para cuyo efecto hemos tomado el ejemplo del modelo de programación lineal dado en el acápite 4.1.2. La forma de ingresarlos es la siguiente:

```
0001          PROGRAM
0002          INITIAL CT
0205          TITLE ('RED TELEFONICA')
0206          XCORE = 60000
0207          MOVE (XPBNAME, 'PBFILE')
0208          MOVE (XDATA, 'DSA')
0209          MOVE (XOBJ, 'VALUE')
0210          MOVE (XRHS, 'CAPARM')
0211          CONVERT ('SUMMARY', 'SCRATCH')
0212          SETUP ('RANGE', 'DSAR', 'MIN')

0213          PICTURE
0214          BCDOUT ('MATRIX', 'ONE')
0215          PRIMAL
0216          SOLUTION
0217          RANGE
0218          EXIT
0219          PEND
```

NAME
ROWS

DSA

N	VALVE
E	SUMA
L	DSAD11
L	DSAE11
L	DSAD21
L	DSAE21
L	DSAD31
L	DSAE31

COLUMNS

ND0	VALUE	43.83
	SUMA	1.00
ND11	VALUE	79.24
	SUMA	1.00
	DSAD11	1.00
NE11	VALUE	92.30
	SUMA	1.00
	DSAE11	1.00
ND21	VALUE	118.41
	SUMA	1.00
	DSAD21	1.00
NE21	VALUE	126.69
	SUMA	1.00
	DSAE21	1.00
NL31	VALUE	168.34
	SUMA	1.00
	DSAD31	1.00
NE31	VALUE	160.36
	SUMA	1.00
	DSAE31	1.00

RHS	CAPARM	SUMA	3616
		DSAD11	720
		DSAE11	720
		DSAD21	720
		DSAE21	720
		DSAD31	720
		DSAE31	720

RANGES

DSAR	DSAD11	480
DSAR	DSAE11	480
DSAR	DSAD21	480
DSAR	DSAE21	480
DSAR	DSAD31	480
DSAR	DSAE31	480

En las páginas siguientes se presentan los resultados del problema ejemplo.

4.2 EMPLAZAMIENTO OPTIMO DEL ARMARIO DENTRO DEL AREA DE DISTRIBUCION

4.2.1 Formulación matemática para determinar el emplazamiento óptimo del armario.

Para desarrollar las ecuaciones que permitan emplazar el armario en forma óptima, nos referiremos a la figura 13, en la cual se han considerado las siguientes variables:

f_1 = Factor de utilización de cables alimentadores(pares por abonado).

f_2 = Factor de utilización de cables distribuidores(pares/abonado).

C_1 = Costo por par-metro de cables alimentadores(\$/par-m).

C_2 = Costo por par-metro de cables distribuidores(\$/par-m).

m = Número de cuadrantes (área elemental de demanda) a lo largo del eje y (número de filas).

n = Número de cuadrantes a lo largo del eje X(número de columnas).

D_{ij} = Demanda del cuadrante (i,j) a 15 años.

u = Lado del cuadrante.(m).

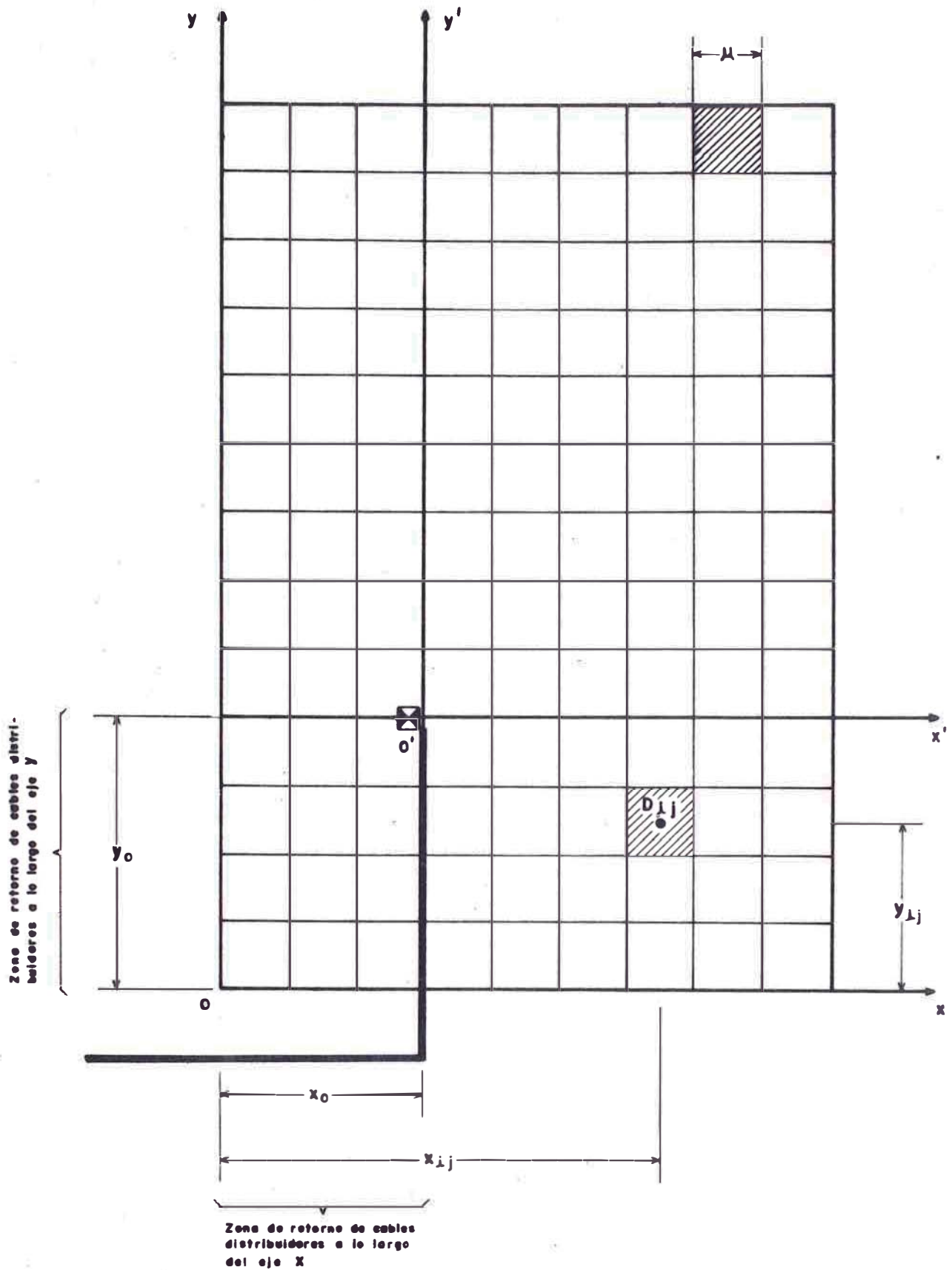


FIG. 13 EMPLAZAMIENTO OPTIMO DE ARMARIO

- o' = Punto de emplazamiento del armario
 l = Número de columnas cuadrante entre los ejes y e y'
 k = Número de filas cuadrante entre los ejes x e x'
 N = Número de abonados a 15 años del área de distribución.

a. Cálculo de X_0 :

El armario estará ubicado en forma óptima cuando el costo total de la red del área de distribución sea mínimo.

Esto se cumple cuando el costo total del cable alimentador a lo largo del eje x, y de los cables distribuidores que retornan, entre los ejes y e y', sea igual al costo total de los cables distribuidores que avanzan, entre el eje y' y el límite del área de distribución. En lenguaje matemático sería lo siguiente:

$$Nf_1 X_0 C_1 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^1 D_{ij} f_2 (X_0 - x_{ij}) C_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1+1}^m$$

$$D_{ij} f_2 (x_{ij} - X_0) C_2$$

$$Nf_1 C_1 X_0 = f_2 C_2 \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1+1}^n D_{ij} (x_{ij} - X_0) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^1 D_{ij} (X_0 - x_{ij}) \right)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1+1}^m D_{ij} (x_{ij} - X_0) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^1 D_{ij} (X_0 - x_{ij}) = \frac{N f_1 C_1}{f_2 C_2} X_0$$

hacemos:

$$K_0 = \frac{f_1 C_1}{f_2 C_2}$$

luego:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1+1}^n D_{ij} \left(\frac{x_{ij}}{X_0} - 1 \right) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^1 D_{ij} \left(1 - \frac{x_{ij}}{X_0} \right) =$$

$$N K_0 \quad (38)$$

b. Cálculo de Y_0

Aplicando los mismos criterios que para el cálculo de X_0 , en este caso, el armario estará ubicado en forma óptima cuando el costo total del cable alimentador a lo largo del eje y , y de los cables distribuidores que retornan, entre los ejes x e x' sea igual al costo de los cables distribuidores que avanzan, entre el eje x' y el límite del área de distribución. Por consiguiente, tenemos:

$$N f_1 Y_0 C_1 + \sum_{i=k+1}^m \sum_{j=1}^n D_{ij} f_2 (Y_0 - y_{ij}) C_2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n$$

$$D_{ij} f_2 (y_{ij} - Y_0) C_2$$

$$N f_1 C_1 Y_0 = f_2 C_2 \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n D_{ij} (y_{ij} - Y_0) - \sum_{i=k+1}^m \sum_{j=1}^n$$

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n D_{ij} \left(\frac{y_{ij}}{Y_0} - 1 \right) - \sum_{i=k+1}^m \sum_{j=1}^n D_{ij} \left(1 - \frac{y_{ij}}{Y_0} \right) \right)$$

$$= N \frac{f_1 C_1}{f_2 C_2} = N K_0 \quad (39)$$

c. Longitud media de línea del área de distribución

Una vez calculados X_o e Y_o estamos en condiciones de calcular la longitud media de línea distribuidora del área de distribución. De acuerdo a la fig. 13, y aplicando el criterio de momentos, tenemos:

$$N X_m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^1 D_{ij} (X_o - x_{ij}) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1+1}^n D_{ij} (x_{ij} - X_o)$$

de donde:

$$X_m = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p D_{ij} (X_o - x_{ij}) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1+1}^n D_{ij} (x_{ij} - X_o) \right) / N$$

$$D_{ij} (x_{ij} - X_o) / N \quad (40)$$

X_m = longitud media de línea a lo largo del eje x. Similarmemente:

$$N Y_m = \sum_{i=k+1}^m \sum_{j=1}^n D_{ij} (Y_o - y_{ij}) + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n D_{ij} (y_{ij} - Y_o)$$

$$D_{ij} (y_{ij} - Y_o)$$

de donde:

$$Y_m = \left(\sum_{i=k+1}^m \sum_{j=1}^n D_{ij} (Y_o - y_{ij}) + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n D_{ij} (y_{ij} - Y_o) \right) / N$$

$$D_{ij} (y_{ij} - Y_o) / N \quad (41)$$

Y_m = longitud media de línea a lo largo de y.
 Por lo tanto, la longitud media de línea total
 será de:

$$L_m = X_m + Y_m \quad (42)$$

4.2.2 Emplazamiento óptimo del armario en forma computarizada.

Las ecuaciones (38), (39), (40) y (41), se han de resolver en forma iterativa. Como se puede apreciar, hacerlo manualmente es poco menos que imposible, pero con el empleo del computador es sencillo y rápido. Para tal efecto se ha desarrollado el programa EMOPAM, que se presenta en las páginas siguientes conjuntamente con el diagrama de flujo.

A continuación detallamos las variables de entrada y salida del programa EMOPAM.

VARIABLES DE ENTRADA:

M = Número de cuadrantes del DSA a lo largo del eje y (número de filas).

N = Número de cuadrantes del DSA a lo largo del eje x (número de columnas).

KO= K_0

XO= Ubicación del armario en el eje x

U = Longitud del lado del cuadrante

D(I,J) = Demanda del cuadrante (i, j)

X (I, J) = Abcisa del cuadrante (i, j)

Y (I, J) = Ordenada del cuadrante (i, j)

VARIABLES DE SALIDA:

XO = Ubicación del armario en el eje x

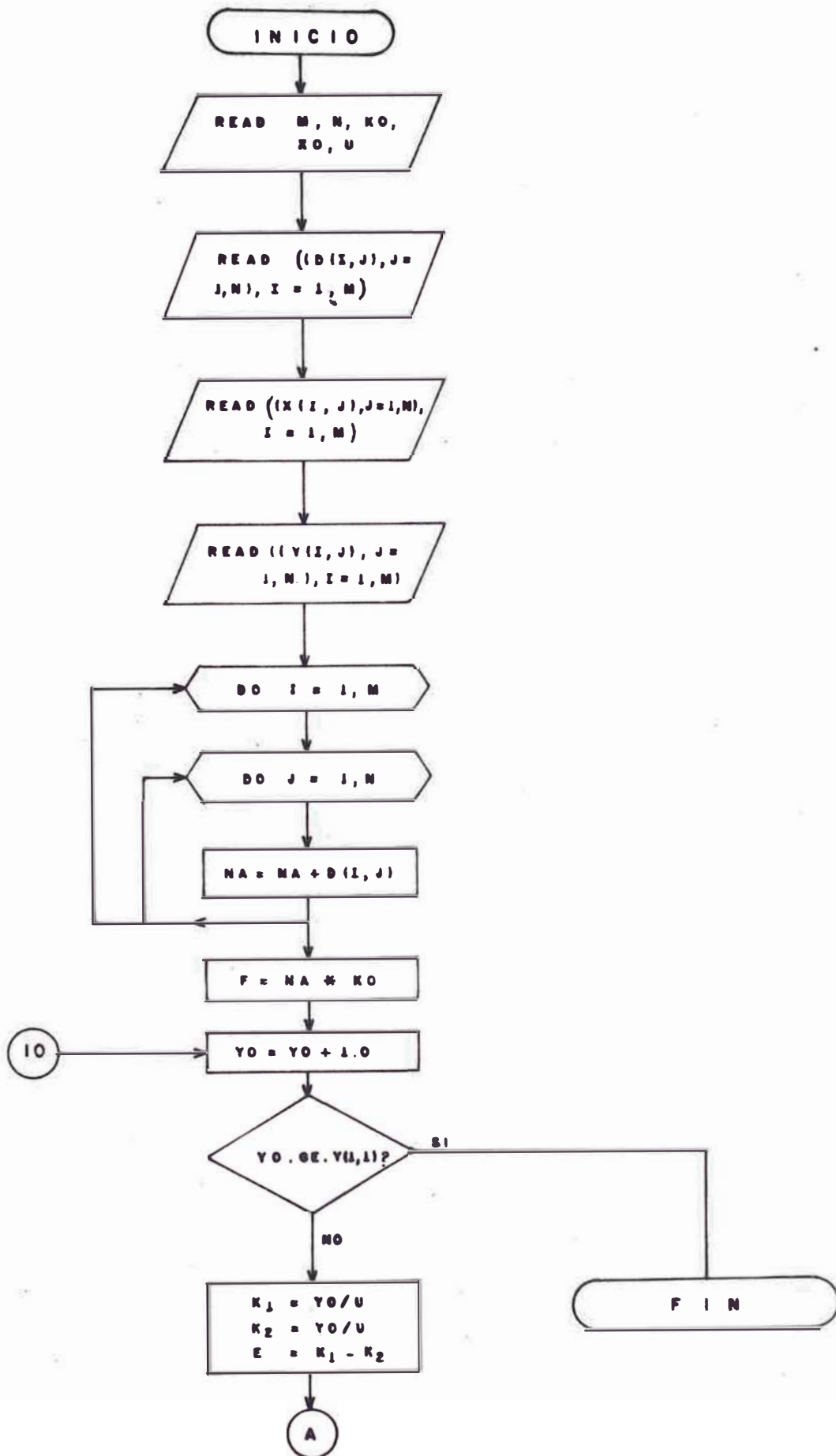
YO = Ubicación del armario en el eje y

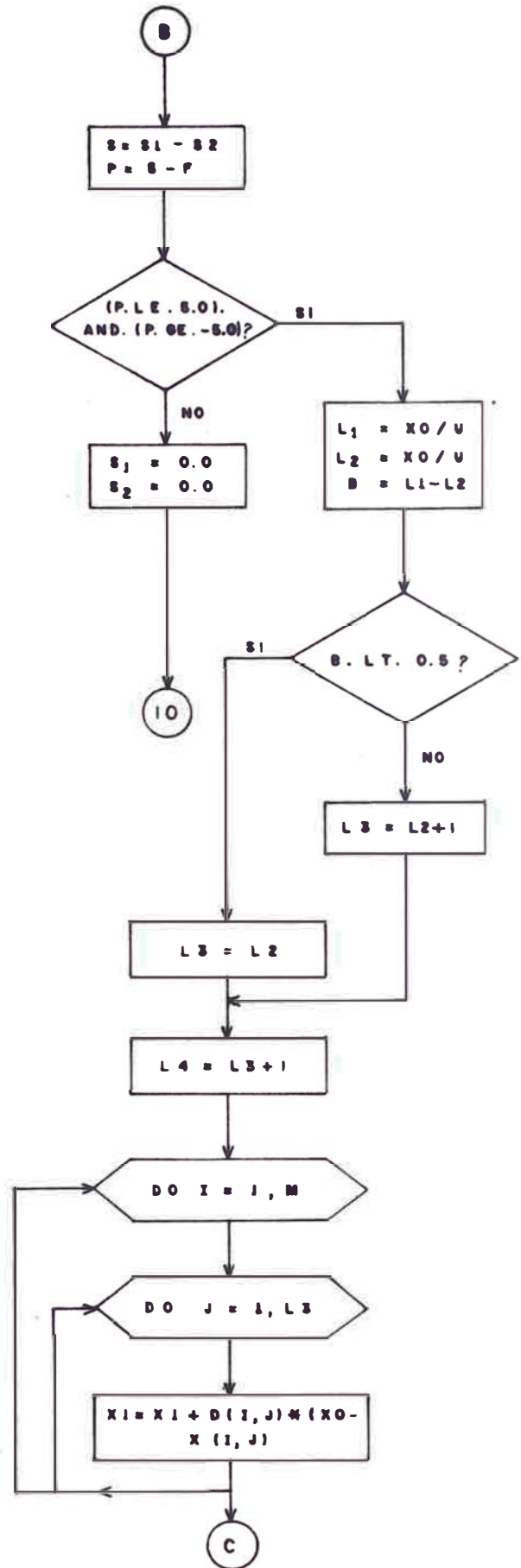
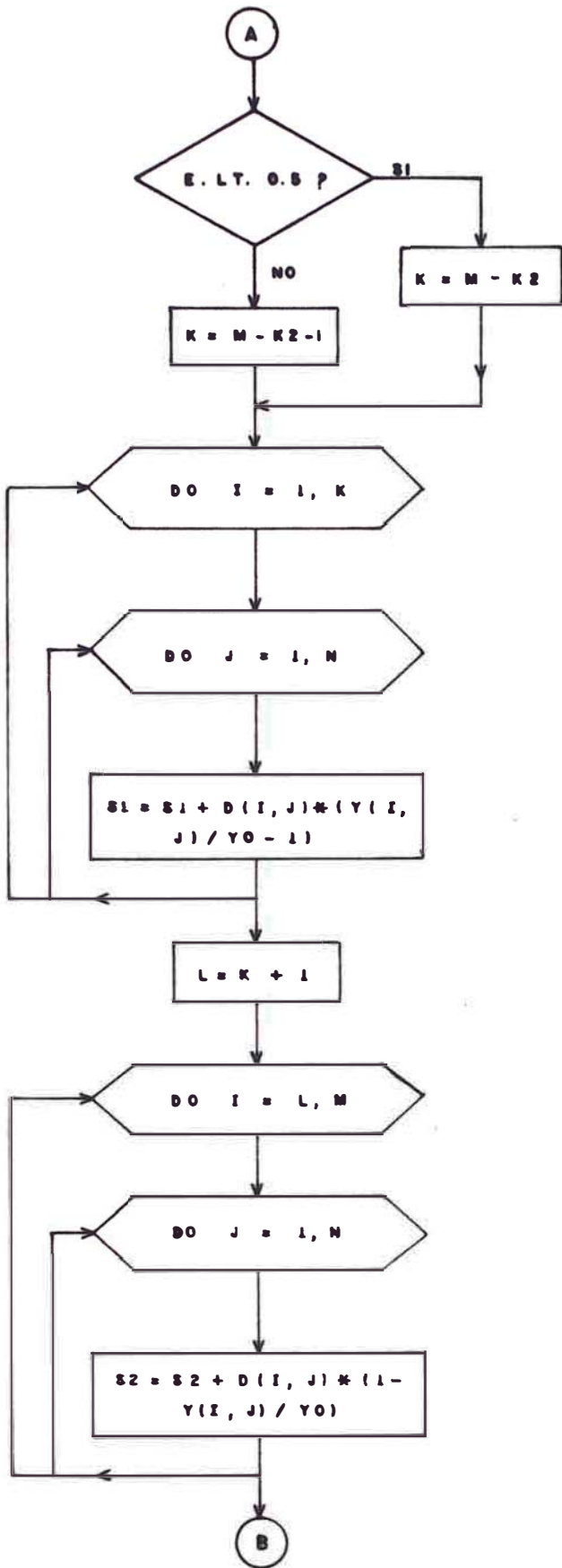
LM = Longitud media de línea del DSA

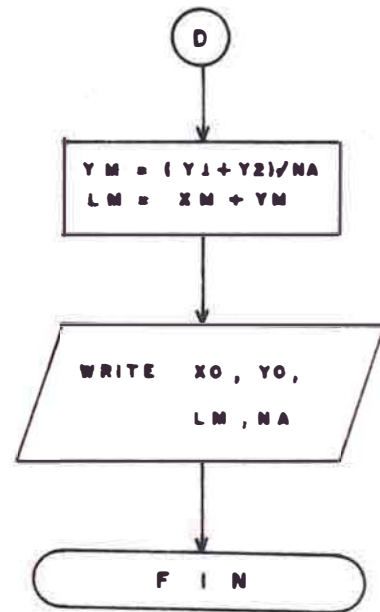
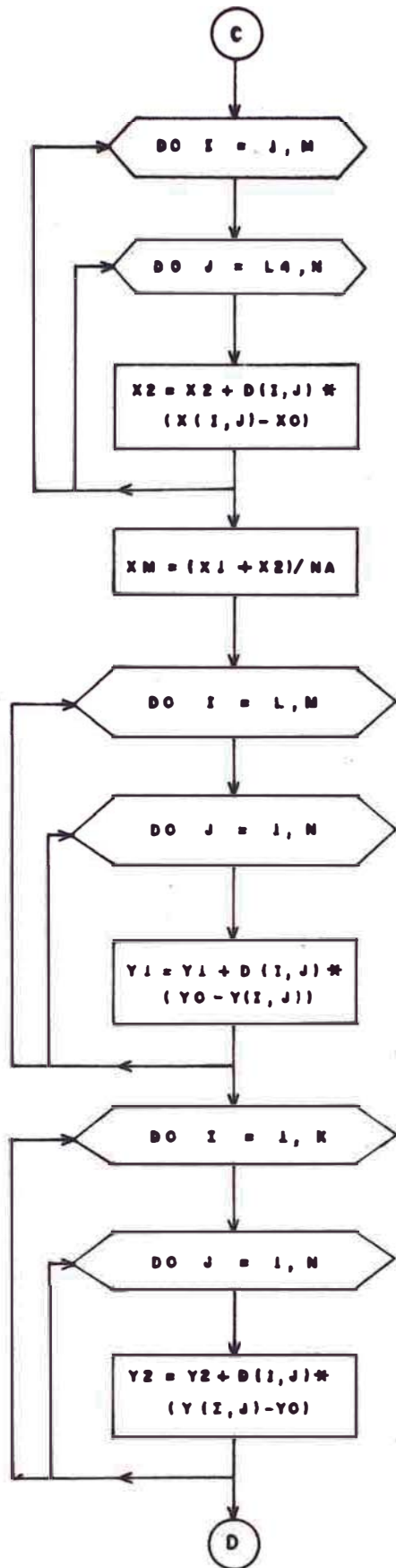
NA = Número de abonados del DSA

**DIAGRAMA DE FLUJO DEL
PROGRAMA EMOPAM**

FIG. 14 DIAGRAMA DE FLUJO DE
EMPLAZAMIENTO OPTIMO DE ARMARIO







C A P I T U L O V

RED PRIMARIA

5.1 RED PRIMARIA OPTIMA

Una red primaria óptima se obtiene aplicando los resultados del programa EFRAP, denominada configuración de "árbol de pino", por semejarse justamente al árbol de pino; y, trazando las rutas subalimentadoras entre las rutas alimentadoras principales y los puntos de emplazamiento óptimo de los armarios, obtenidos a través del programa EMOPAM. La red primaria así obtenida, garantiza un costo mínimo de la red telefónica que constituye aproximadamente un 50% de los costos de una planta telefónica urbana.

5.2 PERIODOS ECONOMICOS DE AMPLIACION DE CABLES ALIMENTADORES.

Tal como se ha señalado ya, el planeamiento de la red no solamente deberá tener en cuenta las necesidades presentes de aparatos telefónicos, sino también los requerimientos del futuro.

Si se trata de cubrir la demanda hasta una fecha determinada, esto se puede hacer construyendo desde un principio la red para los requerimientos totales, o construyéndola en etapas mayores o menores. Comparando la su-

ma de los valores actuales de las diferentes etapas, de acuerdo con las diferentes alternativas, se obtendrá el período más económico de ampliación.

Tal como se indica en la fig. 15, el costo de obra de ampliación se puede dividir en partes fijas y partes variables, el cual se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$y = A + B x \quad (43)$$

donde:

y = costo total de la obra

A = costo fijo

B = costo variable (por par)

x = tamaño de la construcción (No. de pares)

La figura 16, indica la forma de satisfacer la demanda creciente en forma escalonada. Si la cantidad de pares necesarios para los abonados existentes es t_0 , y si el incremento anual es de t pares, al cabo de N años, la cantidad de pares necesarios (x) será:

$$x = t_0 + tN$$

Por consiguiente, el costo total de obra inicial sería:

$$\begin{aligned} y_0 &= A_0 + A + B (t_0 + tN) \\ &= A_0 + A + B t_0 + BtN \end{aligned}$$

donde:

A_0 = costo que se requiere sólo en la obra inicial.

Ahora, el costo de obra de ampliación que se realizará en N años sería:

$$y_1 = A + BtN$$

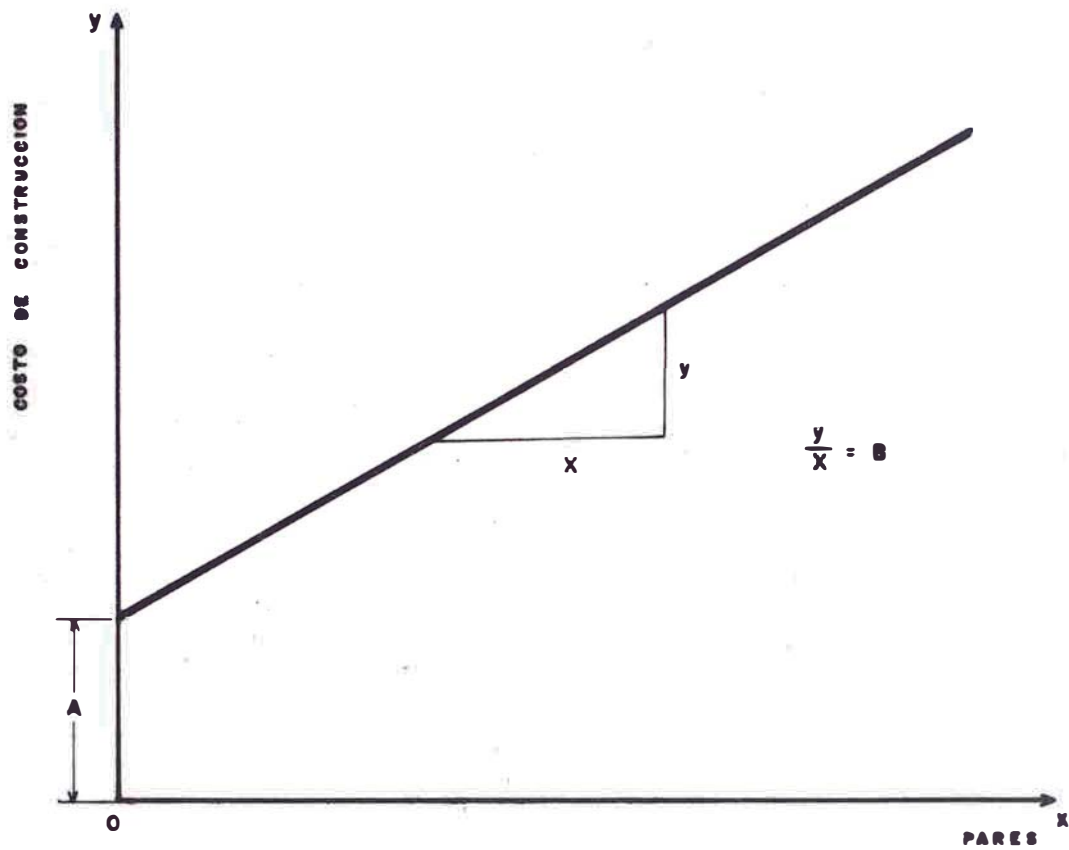
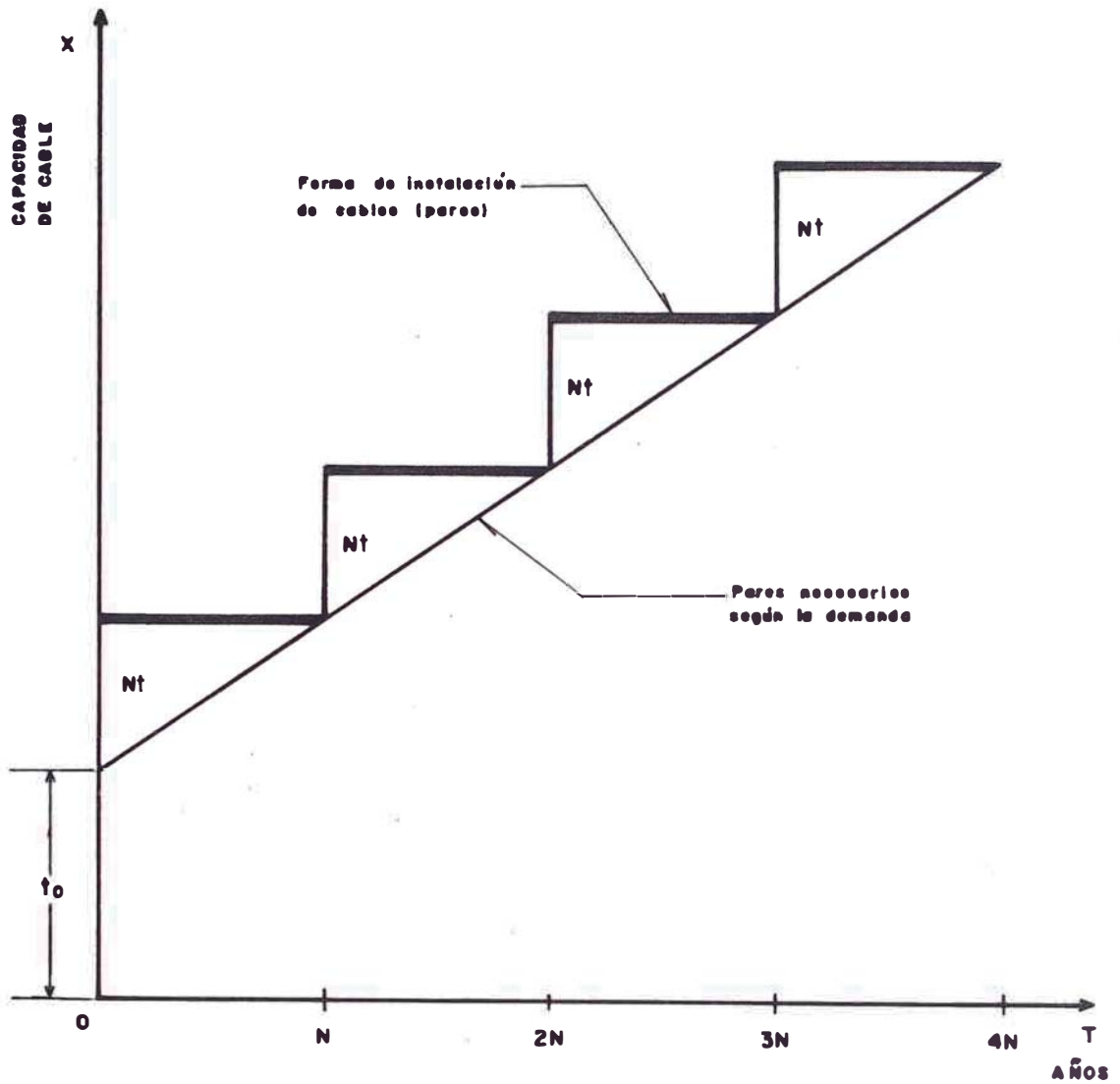


FIG. 15 RELACION ENTRE LA CANTIDAD DE PARES DE CABLES Y EL COSTO DE OBRA .



**FIG. 16 FORMA MAS ECONOMICA DE
INSTALACION DE CABLES**

Igualmente, a los $2N$ años se tiene que el costo de ampliación sería:

$$y_2 = A + BtN = y_1,$$

porque las ampliaciones son iguales.

Siguiendo el criterio anterior tenemos que los costos son iguales en todas las ampliaciones.

$$y_1 = y_2 = y_3 = \dots\dots\dots$$

Si el porcentaje de costo del presente año es "a", el costo anual de yo es $a y_0$. Debido a que esta instalación existirá eternamente, el costo actual yo en el plazo infinito sería:

$$Z_0 = a y_0 \times \frac{1}{i} = \frac{a}{i} y_0$$

Sabemos que, el coeficiente al precio actual del costo anual es:

$$\frac{(i + i)^N - 1}{i (1 + i)^N} = \frac{1}{i} \left\{ 1 - \frac{1}{(1 + i)^N} \right\}$$

Cuando $N \rightarrow \infty$, se tiene que $\frac{1}{(1 + i)^N} \rightarrow 0$,

de donde el coeficiente al precio actual se hace igual a $\frac{1}{i}$

Igualmente, el costo actual en el plazo infinito posterior a N años es:

$$\frac{a}{i} y_1$$

Este valor a N años después y convertido al valor actual es:

$$Z_1 = \frac{1}{(1+i)^N} \cdot \frac{a}{i} \cdot y_1$$

Ahora el valor y_2 a $2N$ años después convertido al valor actual es:

$$Z_2 = \frac{1}{(1+i)^{2N}} \cdot \frac{a}{i} \cdot y_2$$

En la misma forma se podrá hallar los valores actuales de y_3, y_4, \dots , a $3N, 4N, \dots$ años después.

Si el total del precio de costo anual de éstos es Z , tenemos:

$$Z = Z_0 + Z_1 + Z_2 + \dots$$

$$Z = \frac{a}{i} y_0 + \frac{1}{(1+i)^N} \cdot \frac{a}{i} y_1 + \frac{1}{(1+i)^{2N}} \cdot \frac{a}{i} y_2 + \dots$$

$$Z = \frac{a}{i} y_0 + \frac{a}{i} y_1 \left\{ \frac{1}{(1+i)^N} + \frac{1}{(1+i)^{2N}} + \frac{1}{(1+i)^{3N}} + \dots \right\}$$

Si, $\frac{1}{(1+i)^N} = \alpha$, tenemos:

$$Z = \frac{a}{i} \left\{ y_0 + y_1 (\alpha + \alpha^2 + \alpha^3 + \dots) \right\}$$

$$Z = \frac{a}{i} \left(y_0 + y_1 \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)$$

$$Z = \frac{a}{i} \left\{ (A_0 + Bt_0 + (A + BtN) \frac{1}{1-\alpha}) \right\}$$

donde:

$$A_0 + Bt_0 = \text{cte}$$

$$\frac{a}{i} = \text{cte.}$$

Por consiguiente para hallar la variación de Z con respecto a N, es suficiente buscar la variación de Z' con respecto al mismo, siendo;

$$Z' = A \left(1 + \frac{B}{A} tN\right) \frac{1}{1 - \alpha}$$

N será económico cuando Z' y por consiguiente Z sea mínimo. Esto se cumple cuando:

$$\frac{dZ'}{dN} = 0$$

Derivando Z' tenemos:

$$\frac{dZ'}{dN} = \frac{(1 - e^{-iN}) Bt - (A + BtN) i e^{-iN}}{(1 - e^{-iN})^2} = 0$$

Resolviendo tenemos:

$$\frac{Bt}{A} = \frac{i}{e^{iN} - iN - 1} \quad (44)$$

donde:

i = tasa de interés

A partir de la fórmula (44), elaboramos la tabla 3, que muestra la relación entre intereses (i), período económico de ampliación (N) y $\frac{B}{A} t$

Teniendo la fórmula (44) y la tabla 3 podemos calcular el período de ampliación más adecuado a nuestra realidad nacional.

T A B L A 3

RELACION ENTRE $\frac{B}{\bar{A}}$ t, N e i

N_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
14%	13.63	3.25	1.37	0.73	0.45	0.29	0.20	0.15	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.027	0.02	0.019	0.016	0.013	0.011
12%	16.01	3.84	1.64	0.88	0.54	0.36	0.25	0.18	0.13	0.11	0.08	0.07	0.06	0.04	0.037	0.03	0.026	0.022	0.018	0.016
10%	19.34	4.67	2.01	1.10	0.67	0.45	0.32	0.24	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.036	0.031	0.026	0.023
8%	24.34	5.92	2.56	1.40	0.87	0.59	0.42	0.26	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.052	0.045	0.039	0.033

Según estudios efectuados para el caso de 12 ciudades del país, los valores de N se encontraban entre 2 y 5 años. Esto está de acuerdo con lo propuesto por la LM ERICSSON, en el sentido de que, para redes pequeñas los períodos de ampliación deben ser de 2-3 años, y, para redes grandes de 5 años. Nosotros consideramos períodos de ampliación de 5 años.

5.3 MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE TRANSMISION MEDIANTE UNA COMBINACION OPTIMA DE CALIBRE DE CONDUCTORES.

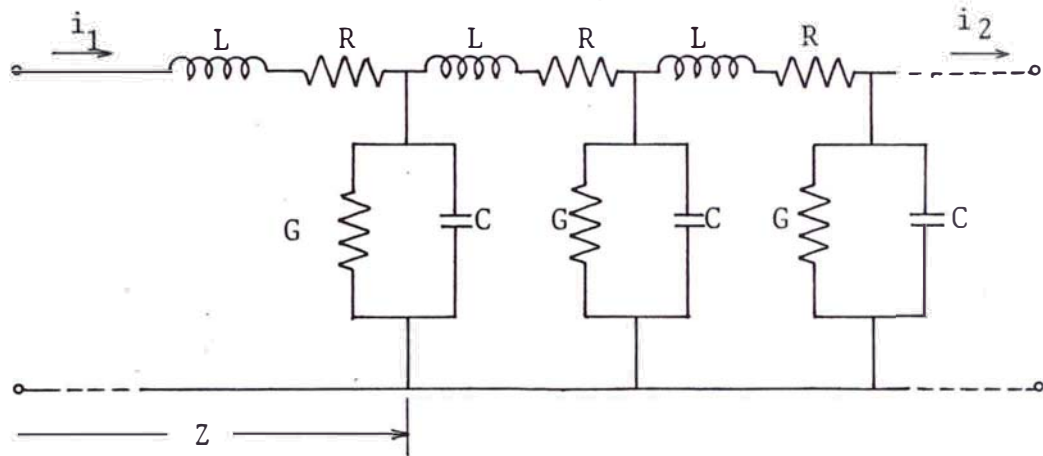


Fig.17 Circuito equivalente de una línea de transmisión uniforme.

Un par de conductores se puede considerar como un circuito cuyos componentes se distribuyen uniformemente a lo largo de la línea, como se puede apreciar en la fig.17.

Las ecuaciones que caracterizan el circuito equivalente son:

$$V(z) = V_1 e^{-8z} \quad (45)$$

$$I(z) = I_1 e^{-8z} \quad (46)$$

Siendo $\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$

Si $\gamma = \alpha + j\beta$, las ecuaciones (45) y (46) se convierten en:

$$V(z) = V_1 e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \quad (47)$$

$$I(z) = I_1 e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \quad (48)$$

donde α es el factor de atenuación.

Mediante el álgebra de números complejos obtenemos la siguiente expresión para α :

$$\alpha = |\gamma| \cos \psi \quad (49)$$

donde: $|\gamma| = \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)^{1/2} (G^2 + \omega^2 C^2)^{1/2}}$,

$$\psi = \frac{1}{2} \left(\tan^{-1} \frac{\omega L}{R} + \tan^{-1} \frac{\omega C}{G} \right) \quad (51)$$

De las expresiones matemáticas anteriores para α podemos deducir los métodos para reducir la atenuación de la línea de transmisión.

Luego los métodos para mejorar la calidad de transmisión del cable son:

- a. Reducir la resistencia del conductor
- b. Reducir la capacitancia entre los dos conductores que forman un par.
- c. Mejorar la resistencia de aislamiento
- d. Aumentar bajo cierta condición la inductancia propia del conductor.

En el presente estudio, nos interesa solamente el método a).

5.3.1 Reducción de la resistencia del conductor.

La reducción de la pérdida de transmisión implica que, la corriente i_2 llega a tener el mismo valor que la corriente i_1 , o sea que hay que reducir la resistencia del conductor que impide la circulación de la corriente. Para esto hay dos métodos, siendo uno de ellos la utilización de un metal que tenga buena conductividad y el otro es aumentar el calibre de los conductores. A nosotros particularmente nos interesa el segundo método. En la tabla 4 se puede apreciar la disminución de la resistencia y la atenuación con el aumento del calibre.

T A B L A 4

Tipo de Cable	Atenuación dB/km.	Resistencia (OHMS/km.)
Cable calibre 0.4 mm	1.8	286
Cable calibre 0.5 mm	1.5	180
Cable calibre 0.6 mm	1.2	114
Cable calibre 0.9 mm	0.8	55

Como el aumento de calibre del conductor implica un aumento de costo, tenemos que encontrar la manera de limitar este costo al mínimo.

5.3.2 Formulación matemática para determinar la combinación óptima de calibre de conductores.

Vamos a suponer un abonado ubicado a una gran distancia de la central telefónica, de tal modo que usando solamente el calibre de 0.4 mm no se cumple con los límites de transmisión y señalización. Entonces, para disminuir la pérdida de transmisión se recurre al calibre de 0.5 mm. Ver fig. 18.

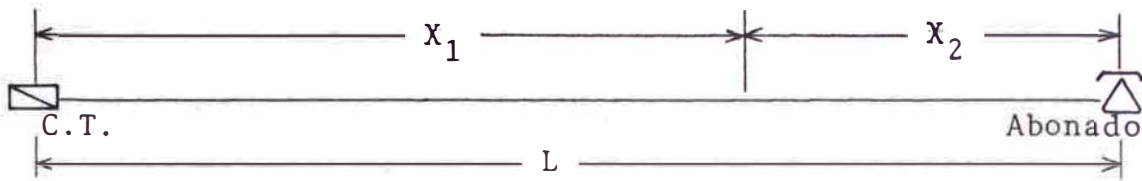


Fig. 18

donde:

X_1 = longitud del conductor de calibre 0.4 mm (km.)

X_2 = longitud del conductor de calibre 0.5 mm (km.)

L = distancia de la C.T. al abonado

Antes de efectuar la formulación matemática del problema, vamos a definir los siguientes valores o variables:

C_1 = costo por km. del conductor de calibre 0.4 mm.

C_2 = costo por km. del conductor de calibre 0.5 mm.

C_T = costo total de conductores

l_1 = límite de pérdida de transmisión (dB)

l_2 = límite de señalización (ohmios)

Entonces, la función objetivo será:

$$\text{Minimizar } C_T = C_1 X_1 + C_2 X_2 \quad (52)$$

sujeto a las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} 1.8 X_1 + 1.5 X_2 &\leq l_1 \\ 286 X_1 + 180 X_2 &\leq l_2 \\ X_1 + X_2 &\leq L, \text{ y} \end{aligned} \quad (53)$$

las condiciones de no negatividad:

$$X_1 \geq 0, \quad X_2 \geq 0$$

Este modelo de programación lineal, también, puede ser resuelto aplicando el MPSX/370, para hallar los valores de X_1 y X_2 que haga que el costo total del conductor sea mínimo cumpliendo con las especificaciones de transmisión.

CAPITULO VI

RED SECUNDARIA

6.1 RED SECUNDARIA OPTIMA

6.1.1 Criterios para el diseño óptimo de la red.

Para que la red secundaria sea óptima, además de emplazar el armario en forma óptima mediante el programa EMOPAM, se debe hacer lo siguiente:

- a. La red secundaria se debe diseñar siguiendo los mismos criterios y conceptos que para el caso del diseño óptimo de la red primaria, es decir, siguiendo la configuración de "árbol de pino".
- b. Al igual que cuando se trata del armario de distribución, la caja de dispersión no debe emplazarse en el centro de gravedad de los abonados de la zona de dispersión, sino que se la ha de desplazar hacia el armario cierta distancia que se puede determinar también mediante el programa EMOPAM.
- c. Las rutas distribuidoras deben seguir en lo posible las zonas más densas de abonados.

En la fig. 19 se muestra un ejemplo de una red secundaria diseñada aplicando los criterios y concep-

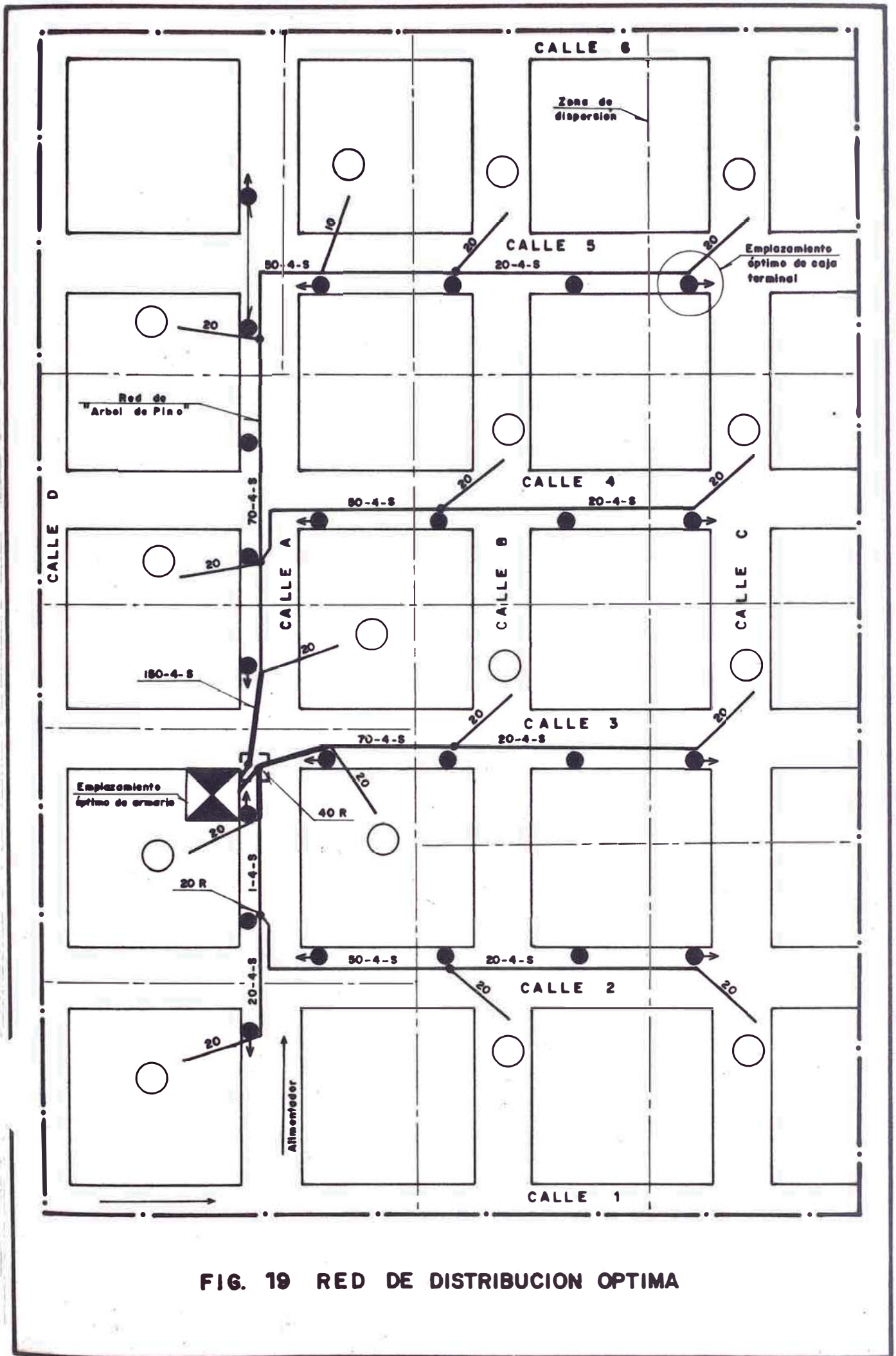


FIG. 19 RED DE DISTRIBUCION OPTIMA

tos señalados líneas arriba.

6.1.2 Capacidad del punto de dispersión.

El Dr. Rapp ha demostrado en su tesis, que la capacidad económica varía entre 5 y 25 pares, dependiendo de la densidad de abonados, de la posibilidad de predecir el movimiento de suscripciones y de la forma de instalación de la red primaria y secundaria. Como la numeración está basada en el sistema decimal, la capacidad de las cajas de dispersión ha de ser un múltiplo de 10. Los puntos de vista de la normalización recomiendan el empleo de una sola capacidad, resultando ser la más adecuada la de 10 pares. En el caso de que estén motivados puntos de dispersión menores de 10 pares, se colocan entonces cajas de 10 pares que se utilizan sólo parcialmente. Para puntos de dispersión mayores de 10 pares se pueden colocar juntas dos cajas de 10 pares o utilizar una caja de 20 pares. A esta solución solamente debe recurrirse en casos excepcionales. El objetivo del proyectista debe ser el acortar lo más posible las costosas líneas de dispersión, mediante la colocación de varios puntos de dispersión de capacidad más pequeña.

6.1.3 Grado de utilización del punto de dispersión.

El número de abonados a 10 años dentro de la zona de dispersión fluctúa conforme a la distribución de Poisson cuya expresión matemática es:

$$f(x) = \frac{u^x e^{-u}}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (54)$$

donde:

u = número de abonados que se espera a 10 años

x = número de abonados que puede resultar a 10 años

$f(x)$ = probabilidad de que el número de abonados sea x .

La tabla 5 muestra los valores de u , x y $f(x)$

T A B L A 5

u = 3		u = 5		u = 7	
x	f(x)	x	f(x)	x	f(x)
0	0.049	0	0.007	0	0.0009
1	0.149	1	0.034	1	0.006
2	0.224	2	0.084	2	0.022
3	0.224	3	0.140	3	0.052
4	0.168	4	0.175	4	0.091
5	0.101	5	0.175	5	0.128
6	0.050	6	0.146	6	0.149
7	0.022	7	0.104	7	0.149
8	0.008	8	0.065	8	0.130
9	0.001	9	0.036	9	0.101
10	0.0008	10	0.018	10	0.071
11	-	11	0.008	11	0.045
12	-	12	0.003	12	0.026
13	-	13	0.001	13	0.014

En la fig. 20 se grafican estos valores, para $u = 3$, $u = 5$ y $u = 7$.

En una zona de dispersión de una caja terminal de 10 pares, nos interesa que el número de abonados sea menor o igual que 10; por lo tanto la probabilidad de que el número de abonados sea 0 ó 1 ó 2 ó 3 o o 10 debe ser alta y al mismo tiempo ello no debe hacer que el costo de la red sea elevado.

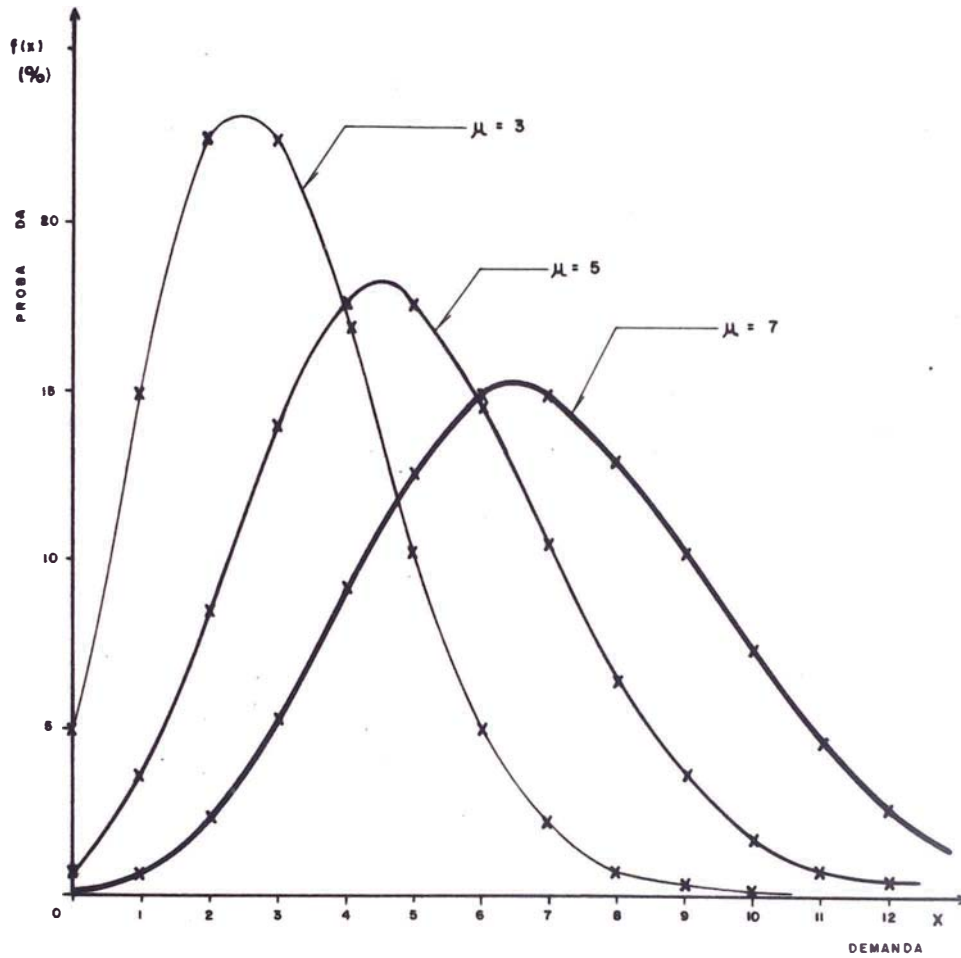


FIG. 20 PROBABILIDAD DE DEMANDA DENTRO DEL
AREA DE DISPERSION
 (Distribución de Poisson)

La probabilidad de que $X \leq 10$ es:

$$P(X \leq 10) = P(X = 0 \text{ ó } X = 1 \text{ ó } X = 2 \text{ ó } \dots \text{ ó } X = 10)$$

$$P(X \leq 10) = P(X = 0) + P(X = 1) + P(X = 2) + \dots + P(X = 10)$$

$$P(X \leq 10) = f(0) + f(1) + f(2) + \dots + f(10)$$

Para el caso de que $u = 3$, tenemos:

$$P(X \leq 10) = 0.049 + 0.149 + 0.224 + \dots + 0.0008 = 0.9968$$

Si $u = 5$, tenemos:

$$P(X \leq 10) = 0.007 + 0.034 + 0.084 + \dots + 0.018 = 0.984$$

y si $u = 7$, tenemos:

$$P(X \leq 10) = 0.0009 + 0.006 + 0.022 + \dots + 0.071 = 0.8999$$

El valor 0.8999 es una probabilidad alta y además no hace que el costo de la red sea elevado como en el caso de $u = 3$ y $u = 5$. Por lo tanto, en la zona de dispersión de una caja terminal de 10 pares, consideraremos 7 abonados para efectos de diseño. Es decir, el grado de utilización de las cajas terminales debe ser de 0.70.

6.1.4 Grado de utilización del armario de distribución.

Según lo establece la LM ERICSSON, el periodo de instalación económica para un armario es más larga que para la red secundaria. Por tanto, la capacidad del armario debe ser mayor que la que corresponda a la necesidad de cables secundarios después de 10 años. Partiendo de que la vida del armario sea de 15 años y de que el aumento anual de abonados sea del 7%, se debe, por consiguiente, utilizar el armario hasta un

$$\frac{N (1.07)^{10}}{N (1.07)^{15}} = 71\%$$

N = Número de abonados al año corte

Si se supone que la vida del armario sea de 20 años - una cifra real si se tienen en cuenta los grandes costos que están asociados con una división de un área de distribución, entonces, la correspondiente cifra sería:

$$\frac{N (1.07)^{10}}{N (1.07)^{20}} = 51\%$$

Para un armario de 700 líneas deben concentrarse pues 284 pares con un grado de utilización de 71% y 204 pares con un grado de utilización de 51%.

Esto representa un gran número de costosos armarios, lo que ofrece unas futuras ampliaciones más económicas a costa de una mayor inversión en el momento "actual". Sin embargo, mediante el empleo de armarios ampliables se puede reducir esta inversión sin perder en el futuro las ventajas.

Entel Perú considera el número de abonados a 15 años para determinar la capacidad del armario de distribución o para determinar el tamaño de las áreas de distribución, que es lo mismo.

6.1.5 Período económico de ampliación de cables.

De igual manera que en el caso de la red primaria, haciendo uso de la ecuación (44) y la tabla No. 3, se han calculado los períodos económicos de ampliación de cables de 12 ciudades del país. Estos valores se encon

traban entre 7 y 9 años, lo cual es coincidente con lo que establece la LM ERICSSON de proyectar la red secundaria para un período de 8-10 años. Nosotros consideramos un período de ampliación de 10 años.

C A P I T U L O V I I

PROTECCION ELECTRICA

7.1 PERTURBACIONES ELECTRICAS

Existen generalmente dos tipos de perturbaciones eléctricas bien definidas en los cables de telecomunicaciones de las cuales deben ser protegidos: las inducciones electromagnéticas procedentes de radio difusión y por la cercanía con líneas de energía eléctrica y, las tensiones producidas por las descargas atmosféricas.

7.2 PROTECCION DE LINEAS DE TELECOMUNICACIONES CONTRA LA INDUCCION.

7.2.1 Inducción electrostática o inducción magnética.

La inducción electrostática es causado por el acoplamiento capacitivo entre la línea de telecomunicaciones y la línea de potencia. Como la intensidad del campo eléctrico decrece rápidamente de acuerdo con la distancia a la línea de potencia, la inducción electrostática causa notables efectos solamente en líneas de telecomunicaciones que están muy cerca a la línea de potencia. Los cables con blindaje metálico no son afectados por la inducción electrostática.

La inducción magnética es causado por el acoplamiento inductivo entre la línea de telecomunicaciones y la línea de potencia. La intensidad de campo magnético es proporcional a la corriente de retorno de tierra de la línea de potencia. Está también muy relacionado con la conductividad del terreno. A un valor alto de conductividad del terreno corresponde un valor pequeño de intensidad del campo magnético. El campo electromagnético influye sobre un área más amplio que el campo electrostático, y el blindaje magnético es más dificultoso que el blindaje electrostático.

7.2.2 Límites tolerables de voltajes inducidos.

Los límites tolerables de voltajes inducidos son determinados de los puntos de vista de seguridad de personal y equipo, operación normal de equipos, y empeoramiento en la función de transmisión.

a. Voltaje de seguridad bajo condiciones normales

Cuando la línea de potencia está operando en condiciones normales, el voltaje inducido en la línea de telecomunicaciones causado por la inducción magnética no deberá exceder de 60 voltios. Este valor es recomendado por la CCITT desde el punto de vista de seguridad del personal. Ordinariamente el equipo de telecomunicaciones puede soportar mucho más alto voltaje.

b. Voltaje de seguridad bajo condiciones de falla

Cuando la línea de potencia está en condiciones de falla, una gran corriente de retorno de tierra fluye en él, induciendo un fuerte campo magnético en la vecindad de la línea de potencia. Como una gran corriente de falla en la línea de potencia es usualmente eliminado en

un tiempo muy corto por tales aparatos como interruptores de circuitos, un voltaje inducido mucho más alto es tolerable que en el caso de operación bajo condiciones normales desde el punto de vista de seguridad.

En el caso de una línea de transmisión de potencia de alta confiabilidad, el límite tolerable del voltaje de inducción magnética es 430 voltios. En el caso de líneas de potencia ordinarias, el límite tolerable es 300 voltios. Las líneas de potencia de alta confiabilidad son aquellas que pertenecen a una red de suministro o distribución de potencia y puede asumirse que las fallas serán menos y de corta duración.

c. Límites tolerables para operación normal de equipos

Cuando un equipo de telecomunicaciones, tal como una central automática, aparato telegráfico, etc. es conectado a una línea, y la línea está sujeto a voltajes inducidos, el equipo terminal puede ser afectado por los voltajes inducidos, resultando en una mala operación de tal equipo. El límite tolerable de voltaje inducido varía con la clase de equipo.

La tabla 6 muestra aquellos valores para distintas clases de equipos.

d. Límite de ruido permisible causado por inducción

La función de transmisión del circuito de telecomunicaciones es empeorado por el ruido inducido. El nivel de ruido permisible está especificado como se muestra en la tabla 7 de acuerdo con la clase de circuito.

TABLA 6 Tolerable limit of induced voltage for normal operation of equipment

Kind of Circuit		Limit (v)
Telephone circuit	Subscriber circuit	15
	Manual switching system	15
	H	10
	C ₄₅	15
	A ↔ { A C ₁₁ , C ₁₃ C ₂₁ , C ₂₂ C ₃₁	15
	C ₄₀₀ } ↔ { C ₄₆₀ } A C ₁₄ } C ₁₁ , C ₁₃ C ₂₃ } C ₂₁ , C ₂₂ C ₃₁	10
	C ₄₀₀ } ↔ { C ₄₆₀ } C ₄₀₀ C ₁₄ } C ₄₆₀ C ₂₃ } C ₁₄ C ₂₃	34
	C ₆ C ₈	15
	D ₁₀	15
	CX dialing circuit CX multi-frequency circuit	$\frac{V_{AC}}{25} + \frac{V_{DC}}{50} = 1$
Telegraph circuit	Telex	30
	Printing telegraph circuit (Full duplex)	7.5
	Printing telegraph circuit (Half duplex)	10
	Others	12.5

- where
- H : Siemens Halske type automatic switching system
 - A : Strowger type automatic switching system
 - C_n : C_n crossbar switching system
 - D₁₀ : D₁₀ electronic switching system
 - V_{AC} : AC induced voltage plus ground potential differences
 - V_{DC} : DC potential differences

Donde:

- H : Sistema de conmutación automático tipo Siemens Halske
 A : Sistema de conmutación automática tipo Strowger
 C_n : Sistema de conmutación C_n crossbar
 D_{10} : Sistema de conmutación electrónico D_{10}
 V_{AC} : Voltaje inducido AC más diferencia de potencial de tierra.
 V_{DC} : Diferencia de potencial DC

T A B L A 7

NIVEL PERMISIBLE DE RUIDO INDUCIDO

	CLASE DE CIRCUITO	NIVEL	OBSERVACIONES
Circuito telefónico.	Circuito de cable	1 mV	Valores medidos por un factor de ponderación psófono-métrico.
	Circuito de línea abierta.	2.5 mV	
	Línea compuesta de cable y línea abierta.	2.5 mV	

7.2.3 Cálculo del voltaje inducido debido a la inducción electromagnética de la línea de transmisión de potencia.

Cuando las líneas de telecomunicaciones son instaladas en la vecindad de una línea de transmisión de potencia, están sujetos a voltajes inducidos peligrosos durante las condiciones de falla de la línea de potencia.

El voltaje inducido durante las condiciones de operación normal de la línea de potencia raramente se convierte en un problema, excepto en caso de una línea de transmisión de potencia subterránea. La razón por que el

voltaje inducido en condiciones normales raramente se convierte en un problema en caso de una línea de potencia aérea es que la corriente en líneas de potencia aérea está bien balanceada y la inductancia mutua entre varias fases de la línea de potencia y la línea de telecomunicaciones es aproximadamente igual debido a la separación entre las instalaciones. La razón por que el voltaje inducido normal no debería ser ignorado en caso de una línea de potencia subterránea es que las líneas de potencia subterráneas están usualmente instaladas en la proximidad de las líneas de telecomunicaciones, tal que la inductancia mutua entre las líneas de potencia subterránea y las líneas de telecomunicaciones se incrementa. Además, parece haber una diferencia en las inductancias mutuas entre varias fases de las líneas de potencia subterráneas y las líneas de telecomunicaciones. Por tanto, el voltaje inducido normal se convierte en un problema, en caso de líneas de potencia subterráneas, a pesar del balance de corriente.

No obstante, los límites tolerables de voltaje inducido en condiciones normales de la línea de potencia para la vida humana no son usualmente tomadas en consideración, incluso en caso de líneas de potencia subterráneas. Esto es por que los límites tolerables de voltaje inducido para equipos son menores que 15V y, por tanto, las líneas de telecomunicaciones son usualmente instalados de tal manera que el voltaje inducido es menor que 60V, ya que es el voltaje inducido normal tolerable para la vida humana, asumiendo que el personal está en tierra seca, que sus cuerpos no estén humedecidos por la lluvia o sudorosos y que la resistencia de su cuerpo esté alrededor de 1000 ohmios, que es un valor standard en el mundo.

Uno de los métodos de cálculo de voltajes inducidos peligrosos es el método de Carson & Pollaczek que describimos inmediatamente.

El voltaje inducido es dado como:

$$V = \omega M l K I \quad (\text{Voltios}) \quad (55)$$

donde:

$$\omega = 2 \pi f$$

f = Frecuencia (Hz): 50 ó 60

M = Inductancia mutua entre la línea de potencia y la línea de telecomunicaciones a 50 ó 60 Hz (Henry / km.)

l = Longitud paralela de líneas (km.)

K = Factor de blindaje del alambre de tierra

I = Corriente inducida (amperios)

La inductancia mutua M se calcula por la fórmula de Carson & Pollaczek, como sigue:

$$M = \left[4.6 \log \frac{2}{k \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2}} - 0.1544 + \frac{2\sqrt{2}}{3} k (h_1 + h_2) - j \left\{ \frac{\pi}{2} - \frac{2\sqrt{2}}{3} k (h_1 + h_2) \right\} \right] \times 10^{-4} \quad (\text{H/km})$$

$$\text{Si } k \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} \leq 0.5$$

$$M = \left[4 \frac{\text{Kei}(Kd)}{kd} - j 4 \left\{ \frac{\text{Ker}(kd)}{kd} + \frac{1}{(Kd)^2} \right\} \right] \times 10^{-4} \quad (\text{H/km.})$$

$$\text{Si } k \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} > 0.5 \quad (56)$$

donde:

$$k = 2 \pi \sqrt{2 f \sigma}$$

σ = conductividad del terreno (cgs c.m.u.)

f = frecuencia (Hz)

h_1 = altura de la línea de potencia (cm.)

h_2 = altura de la línea de telecomunicaciones (cm.)

d = distancia horizontal entre la línea de telecomunicaciones y la línea inductora (cm.)

Kei y Ker = función de Bessel

Las relaciones entre h_1 , h_2 , y d se muestran en la fig. 20 valores calculados de M están dados en relación $a\sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2}$ en la fig. 22.

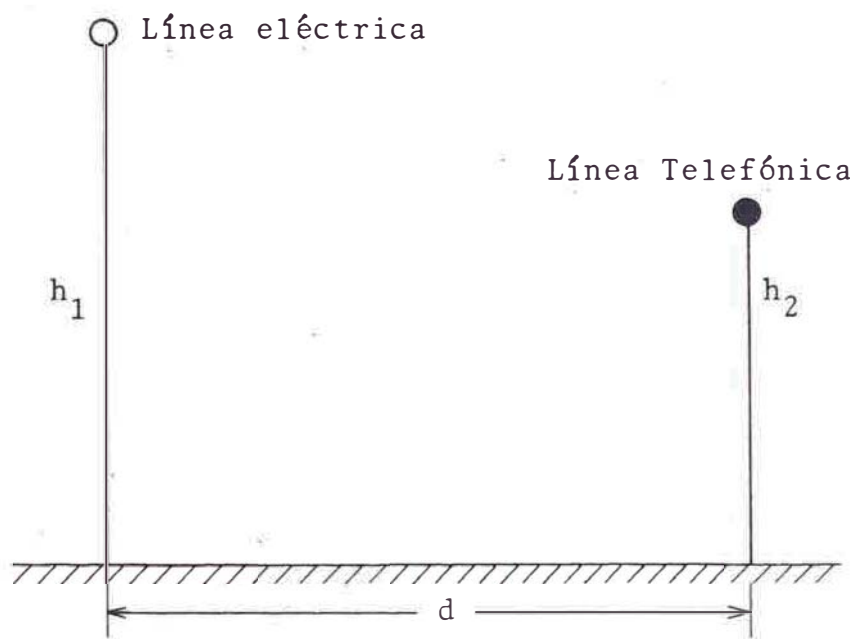


Fig. 21

El factor de blindaje K se calcula de la siguiente manera:

Cuando cualquier conductor es puesto a tierra en ambos extremos en la proximidad de la línea de potencia o línea de telecomunicaciones, el voltaje inducido debido a la inducción electromagnética se reduce debido al efecto de blindaje del conductor puesto a tierra.

El factor de blindaje se expresa por:

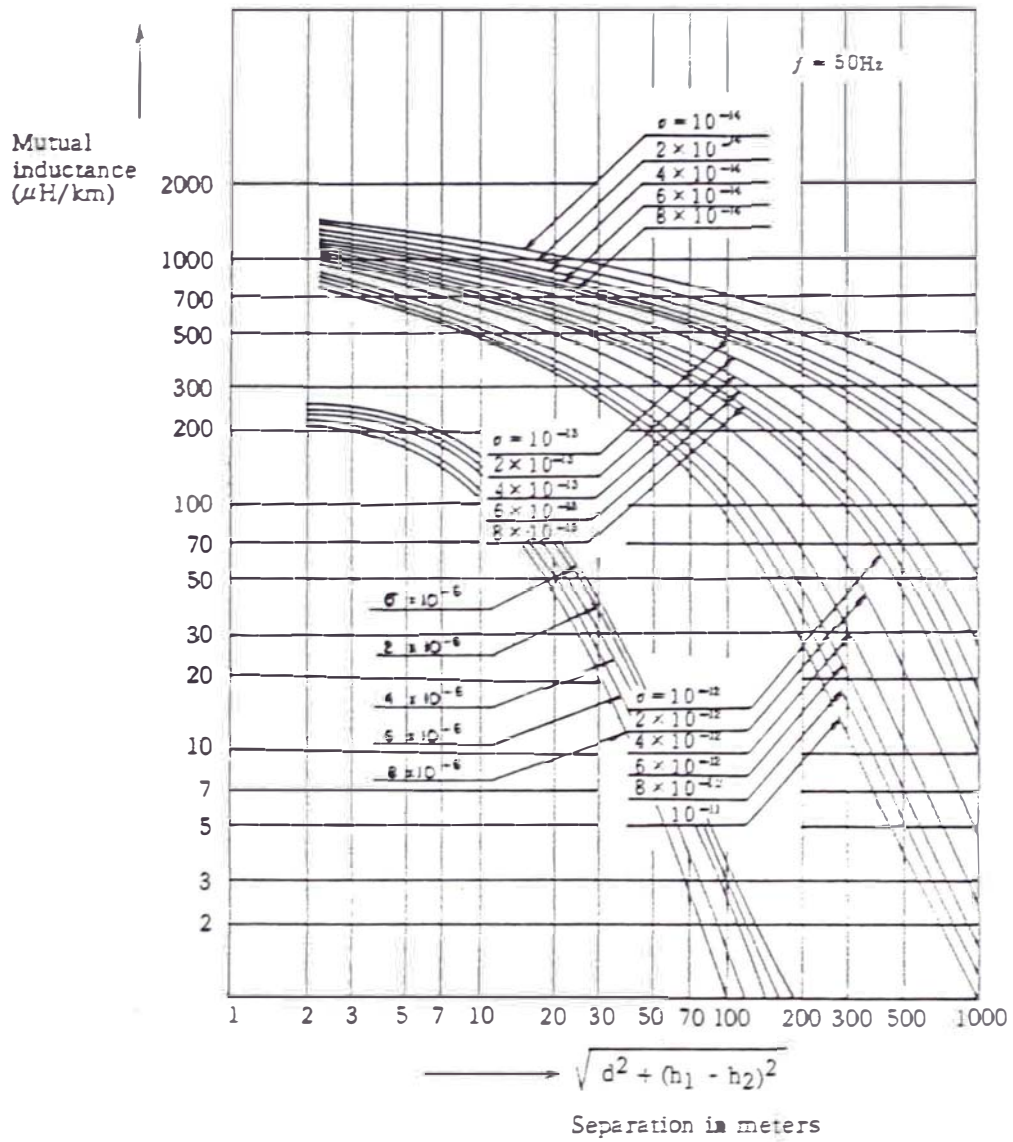


Figure 22 Curves for determining the value of M , the mutual inductance per kilometer between two lines with ground return, as a function of separation $\sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2}$.

$$K = \frac{V_2'}{V_2} \quad (57)$$

donde:

V_2' : Voltaje inducido cuando existe el conductor de blindaje.

V_2 : Voltaje inducido cuando no existe el conductor de blindaje.

En la fig. 23, se asume las siguientes notaciones.

Z_{12} : Impedancia mutua entre la línea de potencia y la línea de telecomunicaciones.

Z_{13} : Impedancia mutua entre la línea de potencia y el conductor de blindaje.

Z_{23} : Impedancia mutua entre la línea de telecomunicaciones y el conductor de blindaje.

Z_{33} : Impedancia propia del circuito de retorno de tierra del conductor de blindaje.

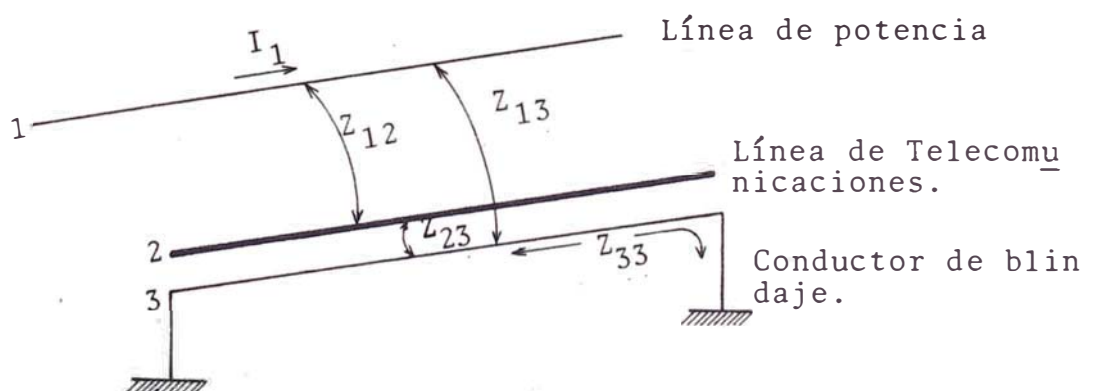


Figura 23

donde:

I_1 : corriente inductora de la línea de potencia

Se obtiene la siguiente relación:

$$V_2' = Z_{12} I_1 - \frac{Z_{23} \cdot Z_{13} \cdot I_1}{Z_{33}} = \left(Z_{12} - \frac{Z_{23} \cdot Z_{13}}{Z_{33}} \right) I_1$$

$$V_2' = Z_{12} I_1 \left(1 - \frac{Z_{23} \cdot Z_{13}}{Z_{33} \cdot Z_{12}} \right) \quad (58)$$

Cuando no existe el circuito de blindaje

$$V_2 = Z_{12} \cdot I_1$$

Por tanto:

$$K = \frac{V_2'}{V_2} = 1 - \frac{Z_{23} \cdot Z_{13}}{Z_{33} \cdot Z_{12}} \quad (59)$$

Cuando el conductor de blindaje está muy cerca a la línea de telecomunicaciones como ocurre normalmente en las redes de Entel Perú S.A., Z_{13} es igual a Z_{12} .

Entonces:

$$K = 1 - \frac{Z_{23}}{Z_{33}} \quad (60)$$

El valor del factor de blindaje K depende del tipo de cable de telecomunicaciones que se use. Estudiaremos los siguientes casos:

a. Cable no acorazado

En el caso de un cable con apantallamiento metálico sin coraza de acero, el factor de blindaje de la pantalla metálica se deriva de la ecuación (60) como sigue:

$$Z_{33} = R_s + \frac{R_{e1} + R_{e2}}{1} + j X_s$$

$$Z_{23} = j X_s$$

Por tanto:

$$K = 1 - \frac{j X_s}{R_s + \frac{R_{e1} + R_{e2}}{1} + j X_s}$$

$$K = \frac{R_s + \frac{R_{e1} + R_{e2}}{1}}{R_s + \frac{R_{e1} + R_{e2}}{1} + j X_s}$$

donde:

R_s : Resistencia de la pantalla metálica (ohmios/km.)

R_{e1}, R_{e2} : Resistencia de puesta a tierra (ohmios)

l : longitud de cable (Km.)

X_s : reactancia propia del circuito de retorno de tierra de la pantalla puesta a tierra (ohmios/km.)

X_s es dado por la siguiente fórmula:

$$jX_s = j\omega L_s = w \left\{ \frac{\pi}{2} + j (4.6 \log. \frac{2}{ka}) \right\} \times 10^{-4} \text{ (ohmios/km.) (53)}$$

donde:

$$k = 2\pi\sqrt{2 f \sigma} \quad (\text{cm}^{-1})$$

σ = conductividad del terreno (cgs emu)

a = radio de la pantalla de cable (cm.)

b. Cable acorazado con cinta de acero

En el caso del cable con pantalla metálica y acorazado con cinta de acero, el factor de blindaje está dado por:

$$K = 1 - \frac{Z_{23}}{Z_{33}} = \frac{R_s + R_e}{(R_s + R_e + r_i) + j(X_i + X_a)} \quad (61)$$

donde:

$$Z_{33} = R_s + R_e + r_i + j (X_i + X_a)$$

$$Z_{23} = r_i + j (X_i + X_a)$$

R_s : Resistencia de la pantalla metálica (ohmios / km.)

R_e : Resistencia de puesta a tierra de la pantalla metálica por unidad de longitud del cable (ohmios / km)

r_i : Resistencia equivalente debido a la pérdida de histeresis por unidad de longitud (ohmios / km.)

X_a : Reactancia debido al flujo magnético exterior del cable.

X_i : Reactancia debido al flujo magnético en la cinta de acero.

A fin de obtener un factor de blindaje bajo, R_s y R_e deben hacerse pequeños, y r_i , X_i , y X_a deben hacerse grandes.

El cable acorazado con acero y con pantalla de aluminio tiene un factor de blindaje muy excelente, por que la resistencia de la pantalla es pequeña y el acero usado tiene una alta reactancia.

La fig. 24 proporciona un ejemplo de características de blindaje de un cable con pantalla de aluminio y con dos capas de coraza tipo acero.

La estructura del cable se da en la tabla 8

(Ver tabla en la siguiente página)

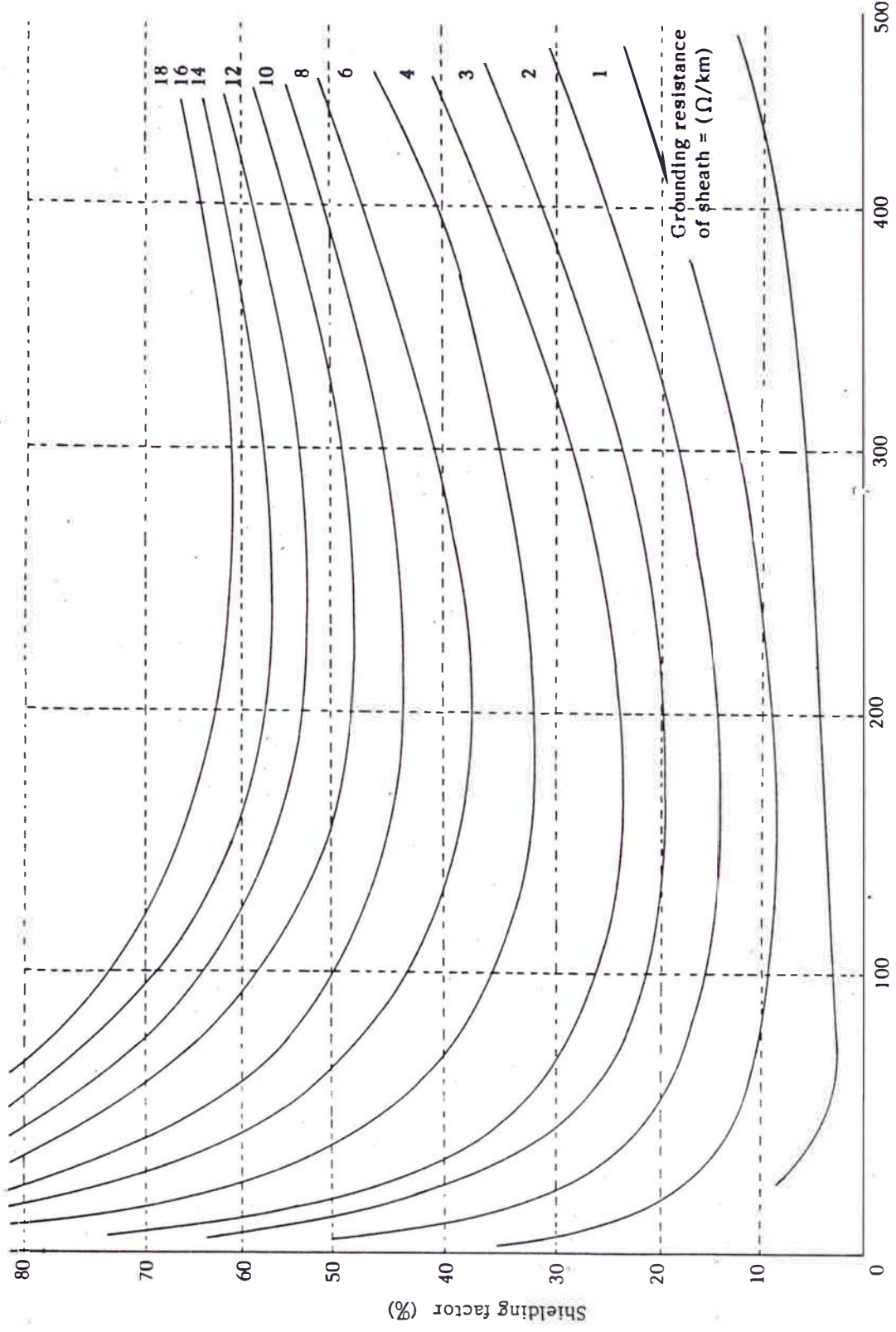


Figure 24 Induced voltage (volt/km)

T A B L A N o . 8

CONSTRUCCION DE UN CABLE CON PANTALLA
DE ALUMINIO DE 100 P CALIBRE 0.5

ITEM	DESCRIPCION
Tipo de cable	0.5 mm - 100 p.
Diámetro interno de la pantalla	16 mm.
Espesor de la pantalla de Al	1.1 mm.
Cubierta de polietileno	1.0 mm.
Cinta envoltura de algodón	0.25 mm.
Cinta de acero (2 capas con 1/5 de abertura)	Espesor 0.6 mm. Ancho 25 mm.
Cubierta de polietileno	1.5 mm.
Diámetro exterior	28 mm.

c. Cables en ductos

Los cables tendidos en ductos de acero o ductos de hierro tienen un factor de blindaje muy excelente. Cuando los ductos están eléctricamente enlazados en las cámaras, se puede esperar un factor de blindaje muy bajo (0.2)

7.2.4 Medidas preventivas contra la inducción

Cuando las líneas de telecomunicaciones están adversamente afectados por la inducción de las líneas de potencia, o cuando tales efectos adversos son esperados, medidas preventivas apropiadas deberían adoptarse en la etapa de planificación a fin de eliminar el peligro a la interferencia.

Existen varias medidas preventivas aplicables. Algunos de ellos son adoptados por la compañía de energía eléctrica y las otras son empleadas por la compañía telefónica.

En la mayoría de los casos, muchas medidas preventivas pueden ser efectivas. Todos ellos deben ser cuidadosamente examinadas y las comparaciones deben hacerse desde los puntos de vista de la economía y la tecnología.

Para determinar las medidas preventivas a ser adoptadas, deberían efectuarse negociaciones entre la compañía de energía eléctrica y la compañía telefónica. Las siguientes medidas preventivas son empleadas usualmente.

- i) Separación de líneas
- ii) Cruce perpendicular
- iii) Intercepción de circuitos por medio de repetición de espirales.
- iv) Instalación de alambre de tierra (alambre de blindaje).
- v) Uso de cable acorazado con cinta de acero
- vi) Uso de cable con pantalla de aluminio
- vii) Reemplazo de la línea abierta con cable
- viii) Tendido de cables en ductos
- ix) Uso de espirales de blindaje
- x) Mejoramiento del factor de blindaje

Generalmente en los casos prácticos la medida preventiva más sencilla y rápida contra la inducción de las líneas de potencia es la separación de las líneas de telecomunicaciones y la línea de potencia.

Con fines prácticos se ha calculado la dis-

tancia mínima de separación entre la línea de telecomunicaciones y la línea de potencia, para distintos valores de tensión de la línea de potencia y distintos valores de la longitud paralela de líneas. Estos valores de distancia mínima de separación se presentan en la tabla siguiente

T A B L A 9
DISTANCIA MINIMA DE SEPARACION ENTRE LA LINEA TELEFONICA Y LA LINEA DE ENERGIA (*)

V_n (V)	l (m)	P_n (KVA) (3 ϕ)	d (m)
200	200	400	2.0
		630	8.5
	500	160	2.0
		250	8.5
		400	15.0
		630	20.0
	1000	100	6.0
		160	12.0
250		17.0	
400		25.0	
380	500	400	8.0
		630	12.0
	1000	160	4.5
		250	11.0
		400	17.0
		630	22.0

donde: V_n : Tensión nominal de la línea de energía
 l : Longitud paralela de las líneas
 P_n : Potencia nominal de la línea de energía
 d : Distancia mínima de separación entre la línea telefónica y la línea de energía.

(*) Se ha asumido una resistividad del terreno de 2000 $\Omega \cdot m$

7.3 PROTECCION DE LA LINEA DE TELECOMUNICACIONES CONTRA LOS RAYOS.

7.3.1 Incidencia anual de tormentas

La incidencia anual de tormentas de la zona de estudio es un factor muy importante que se debe evaluar y tener en cuenta para efectuar el diseño de la protección de la línea contra los rayos.

7.3.2 Averías en la planta de Telecomunicaciones

Las áreas de frecuentes averías por rayos coincide con las áreas de frecuente incidencia de tormentas de rayos.

Según estadísticas del Japón, en los meses de mayor incidencia de tormentas, las fallas en los servicios de telecomunicaciones causados por rayos ocupan de 30 a 60% del total de fallas. Ver tabla 10.

La mayoría de las fallas por rayos (62.6%) ocurren en el equipo de abonado, particularmente en el dispositivo de protección, y sus causas son fusibles quemados y/o arresters corto-circuitados a tierra por rayos. Ver - tabla 11.

7.3.3 Medidas contra los rayos

a. Consideraciones generales sobre un dispositivo de protección.

Cuando consideramos los dispositivos de protección, con contactos entre la línea de telecomunicaciones y la línea de potencia, y sobrevoltaje o sobrecorriente debido a

TABLE 10 Troubles Caused by Lightning
(Number of troubles)

month	1971	5	6	7	8	9	10	11	12	1972	2	3	Total
	4									1			
Tochigi (central Japan)	A: Total Troubles	3628	3982	4370	11086	9945	4566	3042	2972	3458	3792	3506	57337
	B: Troubles caused by Lightning	29	134	580	6608	6113							13464
	$\frac{B}{A} \times 100$ (%)	0.8	3.4	13.3	59.6	61.5							
Yamagata (northern Japan)	A: Total Troubles	1375	1578	1482	2314	2162	1400	1453	2382	1872	2026		19475
	B: Troubles caused by Lightning		151		707	600			780	74	645		2957
	$\frac{B}{A} \times 100$ (%)		9.5		30.5	27.7			32.7	3.9	31.8		15.2
Akita (northern Japan)	A: Total Troubles	2276	2681	2723	3684	3908	2601	2717	4231	4690	2929	2696	37977
	B: Troubles caused by Lightning		72	215	285	451			1591	934	442		4075
	$\frac{B}{A} \times 100$ (%)		2.7	7.9	7.7	11.5			37.6	19.9	15.1		10.7

TABLA 11 Lightning Troubles
Tochigi Telecommunication Division: 1969 1971

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	Total
1969	A: Subscriber protector	20	37	551	1535	1453	932	51					4579
	B: Cable		29	253	203	292	316						1093
	C: Other trouble sources	17	96	92	363	497	228	60					1353
	D: Total	37	162	896	2101	2242	1476	111					7025
	$\frac{A}{D} \times 100$ (%)	54.0	22.8	61.4	73.0	64.8	63.1	45.9					65.1
1970	A: Subscriber protector	2		13	163	3017	33				38		3311
	B: Cable				83	902	82						1162
	C: Other trouble sources		1		15	2511	57						2595
	D: Total	2	1	13	263	6430	172				38		7068
	$\frac{A}{D} \times 100$ (%)	100	0	100	61.9	46.9	19.1		30.2			100	46.8
1971	A: Subscriber protector	19	42	270	4156	4879							9366
	B: Cable		9	97	1378	709							2193
	C: Other trouble sources	10	83	213	1074	525							1905
	D: Total	29	134	580	6608	6113							13464
	$\frac{A}{D} \times 100$ (%)	65.5	31.3	46.5	62.8	79.8							69.5
Total	A: Subscriber protector	41	79	834	5854	9349	965	51			38		17256
	D: Total	68	297	1489	8972	14785	1648	111			38		27557
	$\frac{A}{D} \times 100$ (%)	60.2	26.5	56.0	65.2	63.2	58.5	45.9			100		62.6

sobretensiones de los rayos, deben tomarse en cuenta. Para estos riesgos, elementos de protección apropiados deben insertarse en la red de telecomunicaciones en puntos apropiados.

En el Japón, muchas clases de elementos son usados, pero tienen muchos puntos para ser mejorados, debido a muchos fenómenos de rayos no conocidos.

Algunos dispositivos de protección usados en la NTT se describen seguidamente.

b. Dispositivos de protección y elementos usados en redes locales.

Los dispositivos de protección usados en una red local se muestran en la fig. 25.

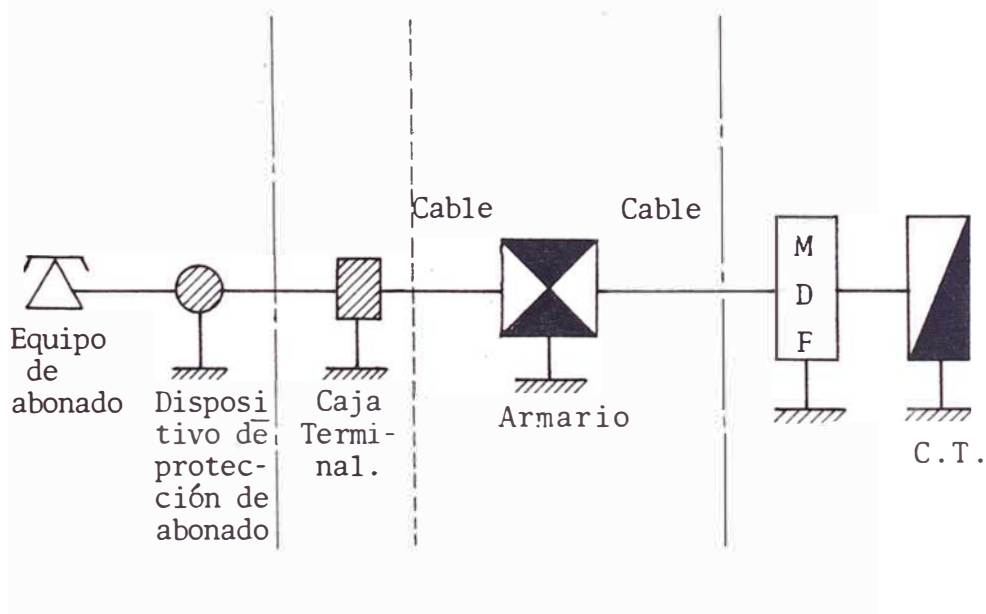


Fig. 25: Dispositivos de protección de una red local.

- (i) Un dispositivo de protección de abonado se usa en el punto donde el alambre de bajada se conecta al teléfono.

Un dispositivo de protección de abonado consiste de dos fusibles y dos arresters con electrodos de carbón. Ver fig. 26.

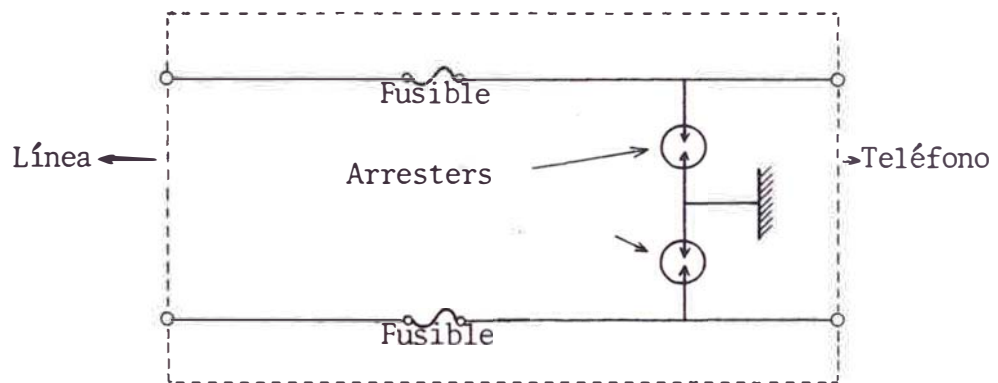


Fig. 26: Dispositivo de protección de abonado.

Los fusibles son introducidos para proteger el teléfono de corrientes peligrosas debido al contacto entre la línea telefónica y la línea de potencia. Los arresters son instalados como medida de seguridad contra los rayos y también contra los contactos entre la línea telefónica y la línea de potencia.

- (ii) Una caja de distribución local se instala en el punto donde el cable conductor se conecta al alambre de acometida, el cual no tiene pantalla de blindaje. Fusibles y arresters se usan en ellos. Ellos son conectados a la pantalla del cable y conductores como se muestra en la fig. 27.

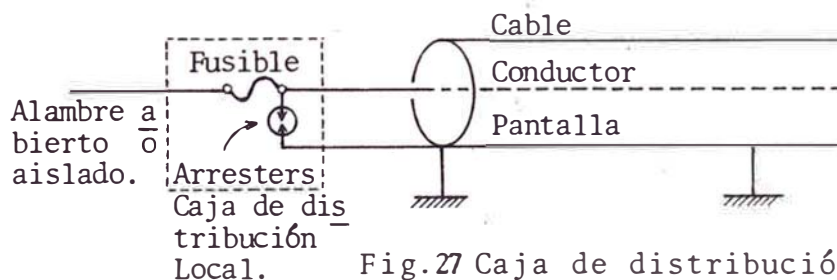


Fig.27 Caja de distribución local

Los fusibles y arresters previenen sobrecorrientes y sobretensiones, que se induce a lo largo del alambre de acometida, de la entrada hacia la sección de cable.

c. Emplazamiento de los dispositivos de protección

Para emplazar los dispositivos de protección contra los rayos se siguen las siguientes pautas:

- i) Cuando es necesario disponer protección contra sobretensiones producidas por el rayo en equipo de cable subterráneo y en equipo de abonado, se instalan normalmente dispositivos de protección contra sobretensiones en cada extremo de los tramos aéreos de la línea. Puede también ser conveniente instalar dispositivos de protección en las uniones de líneas en que se pasa de una rigidez dieléctrica alta a una baja. Las conexiones con los dispositivos de protección contra sobretensiones empleados contra el rayo deben ser lo más cortas posible
- ii) Para proteger el aislamiento de los conductores, conviene unir todas las cubiertas, pantallas, etc. metálicas, y conectar dispositivos de protección contra sobretensiones entre los conductores y esta unión metálica. Esta técnica es particularmente útil en zonas cuyo suelo tiene una alta resistividad, pues evita la necesidad de costosos sistemas de electrodos para la conexión a tierra del dispositivo de protección.
- iii) Cuando se utilizan dispositivos de protección para reducir las altas tensiones que aparecen en las líneas de comunicación debido a la inducción

de las corrientes de cortocircuito de las líneas de energía, éstos deberán instalarse en todos los hilos en ambos extremos del tramo de línea afectado, o lo más próximo posible a éste.

- iv) Los dispositivos de protección contra sobretensiones utilizados para resguardar el equipo de las centrales deben instalarse en el MDF. Los equipos electrónicos modernos son vulnerables a las sobretensiones incluso de amplitud relativamente baja y puede necesitarse el instalar protección adicional en el propio equipo. Es importante coordinar los diversos componentes de protección de una línea para conseguir un resultado satisfactorio y que sus características de funcionamiento correspondan al grado de existencia, a las sobretensiones del equipo y líneas de que se trate.

- v) Para la protección de equipo sensible es a veces necesario utilizar más de un dispositivo de protección, por ejemplo, un dispositivo de funcionamiento rápido y baja corriente tal como un semiconductor y un dispositivo de funcionamiento lento y alta corriente tal como un tubo de descarga de gas. En tales casos deben tomarse medidas para asegurar que en el caso de una sobretensión de larga duración el dispositivo de baja corriente no impida el funcionamiento del dispositivo de alta corriente, pues si esto ocurre el primero puede resultar deteriorado.

7.3.4 Pautas generales para seleccionar el sistema de protección contra los rayos.

a. Sistema de protección indiscriminada.

Un sistema tal sería aquél que persiguiera una aplicación indiscriminada de una protección media a las instalaciones telefónicas, en el sentido de que el margen de riesgo por exceso que se aceptase en algunas áreas con un grado de exposición superior al normal, quedase compensado por un exceso de protección en otras áreas con un grado de exposición inferior al normal. Desde el punto de vista estadístico, y, por lo tanto desde el punto de vista económico, este intento de solución es perfectamente aceptable. Algunas de las ventajas e inconvenientes de este sistema serían:

i) Ventajas:

1. El Proyectista sólo necesitaría manejar valores medios de los datos empíricos lo que podría suponer algunas posibilidades de mecanización y la simplificación del trabajo de cálculo.
2. Como se trata de fenómenos que tienen una incidencia aleatoria, el grado de certeza de los datos empíricos manejados será mayor al ser también mayor la amplitud de las estadísticas utilizadas.
3. En lo que respecta a la normalización de métodos, materiales y dispositivos, se ganará también en sencillez gracias a la forma indiscriminada de su aplicación.

ii) Desventajas:

1. Los gastos de mantenimiento aumentarán sensiblemente, estando sus correspondientes trabajos, es-

pecialmente localizadas en aquellas áreas infra-protegidas.

b. Sistema de protección discriminada

Otra forma de enfocar el mismo problema es aquella que se orienta hacia la protección plural y discriminada, según la cual, previo estudio del grado de exposición de cada zona, se adoptará un grado de protección individualizado y apropiado a dicha zona. Algunas de las ventajas e inconvenientes de este sistema serían:

i) Ventajas:

1. Esta solución parece, en principio, más económica
2. Es más racional, siendo previsible una reducción de los gastos de mantenimiento también.

ii) Desventajas:

1. Los datos estadísticos utilizados son menos exactos que en la solución anterior, pues los registros correspondientes afectan a áreas menos extensas.
2. Exige un conocimiento muy pormenorizado de la zona en la que se realizará la instalación telefónica, lo que aumentará el volumen y tiempo de trabajo.

c. Solución de compromiso

Entre los dos sistemas de protección anteriores cabe una infinidad de soluciones que se distinguirán por el diferente énfasis que se ejerza sobre una u otra de las ventajas a conseguir, o en evitar uno u otro de los inconvenientes expuestos.

De acuerdo con lo señalado anteriormente, según lo cual los problemas de protecciones contra las descargas de origen atmosférico no pueden ser atacadas si no es con ayuda de la teoría de probabilidades, conviene indicar ya que el criterio primario que deberá seguirse para definir un grado determinado de protección será obligatoriamente el número de averías previsibles, calculado de acuerdo con la teoría de los grandes números.

CONCLUSIONES

1. De entre los resultados de pronóstico de la demanda telefónica, tanto del método causal como del de prospección por zonas, si se mantienen dentro del 20% según la recomendación de la UIT, se emplea el mayor para el diseño de las facilidades de la red telefónica, con el objeto de tener un margen de seguridad.
2. La corrección de la demanda telefónica, si es el caso, se efectúa tomando como base los resultados del método causal, en razón de que éstos son los que mejor reflejan la realidad de cada zona de estudio.
3. Cuando se efectúa la categorización de las unidades residenciales y comerciales en el levantamiento catastral, se pueden considerar un número de categorías que el proyectista estime conveniente según cada zona de estudio.
4. Cada proyecto debe basarse en el pronóstico de la demanda telefónica. Naturalmente, cuanto más correcto sea este pronóstico tanto más valioso resultará el proyecto. Por esta razón, el trabajo y dinero empleados en un pronóstico minucioso jamás resultará inútil. Por otro lado, un proyecto de red telefónica que no esté basado en un pronóstico cuidadosamente hecho, nunca será una red que sea fiel reflejo de la necesidad real, por más horas de trabajo que se destinen al perfeccionamiento del proyecto.

5. El tamaño de las áreas de distribución determinado por medio de la presente metodología es teórico. Esto, naturalmente, tiene que ser ajustado en el terreno, teniendo en cuenta la configuración de la ciudad, las líneas divisorias naturales, etc.
6. De igual manera, el emplazamiento óptimo del armario obtenido por medio del programa EMOPAM tiene que ser ajustado según las exigencias reales.
7. La capacidad del armario para una densidad de abonados como el de la ciudad de Chincha es de 700 pares. Se podrá optar por armarios de capacidades inmediatamente superiores solo en casos inevitables que imponen la conformación de la ciudad.
8. La distancia de separación entre la línea telefónica y la línea de energía eléctrica está en función no solamente de la tensión, sino también de la potencia, la longitud paralela de ambas líneas, la conductividad del terreno y el factor de blindaje.
9. Cuando se presente un problema de separación entre la línea telefónica y la línea de energía, se recomienda efectuar un estudio minucioso, puesto que la selección de la ruta de la línea telefónica en la etapa de diseño tendrá una repercusión económica.
10. El trabajo creativo del proyectista conjuntamente con la metodología de diseño del presente trabajo, garantizan una red telefónica proyectada en la mejor forma tanto económica como técnicamente.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. "Estructura de la Red Telefónica Urbana según el sistema de la L.M. Ericsson" - Nr C/L Norrman.
2. "Diseño de Planta Externa bajo el concepto de Area de Servicio" - Asesoría Canadiense.
3. "Normas Técnicas de Diseño - NT - 203" - Entel Perú S.A.
4. "Planeamiento de Redes Telefónicas Urbanas" - Unión Internacional de Telefunicaciones (UIT).
5. "Planta Externa Telefónica" - Takao Sakagami.
6. "Random Variables and Probability - Theory for civil Engineering"
7. "Network Planning - Telephone Demand Forecast" - Nippon Telegraph & Telephone Public Corporation.
8. "Proyectos de Redes Telefónicas Urbanas según el sistema de Distribución de la L.M. Ericsson" - NC/G.Aberg.
9. "The Economic Optimum in Urban Telephone Network Problems" - Yngve Rapp.
10. "Applied Mathematical Programming" - Stephen P. Bradley
Arnoldo C. Hax - Thomas L. Magnanti.
11. "Telephone Outside Plant Engineering" - Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation.

12. "Protección contra el Rayo de las Líneas e Instalaciones de Telecomunicaciones" - Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).
13. "Seminario sobre Gestión Técnico-Económico de las Telecomunicaciones" - Compañía Telefónica Nacional de España.
14. "Curso de Planta Externa" - British Telconsult
15. "Memoria de Trabajos - Volumen II" - 3a. Reunión del Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Ramas Afines.
16. "Ingeniería Económica" - H.G. Thuesen - W.J. Fabrycky - G.J. Thuesen.
17. "Líneas de Transmisión" - Robert A. Chipman.
18. Código Eléctrico del Perú
19. "Pronóstico de la Demanda Telefónica con el auxilio de un Computador" - Trabajo ganador del Primer Concurso "Ciencia y Técnica aplicada a las Telecomunicaciones" instituído por la CPTSA - Gamboa Esteban.

A N E X O

**APLICACION DEL METODO EN LA ELABORACION DEL ANTE-
PROYECTO ALTERNATIVO DE LA RED TELEFONICA LOCAL
DE LA CIUDAD DE CHINCHA**

1. DEMANDA TELEFONICA

1.1 GENERALIDADES

El pronóstico de la demanda telefónica de la ciudad de Chincha se ha efectuado para los siguientes años:

1987	Año corte
1992	5 años después del corte
1997	10 años después del corte
2002	15 años después del corte

1.2 SECTORES DE DEMANDA

Para efectuar el análisis y pronóstico de la demanda se ha dividido el área de abonados en 8 sectores, cada uno con características propias, como son:

SECTOR 1:

Sector central de la ciudad, con predominio de establecimientos comerciales y viviendas de los estratos medio y alto.

SECTOR 2:

Sector a donde se está desplazando el comercio central. Su área está consolidada. Sus viviendas corresponden al estrato alto, medio y bajo, con predominio de los materiales nobles.

SECTOR 3:

Sector netamente residencial, predominando las viviendas de material noble del tipo medio, y las viviendas de adobe del tipo medio y bajo.

SECTOR 4:

Sector de carácter residencial, con predominio de viviendas de material noble del estrato alto y medio. Comprende la urbanización Grau.

SECTOR 5:

Sector ubicado a lo largo de la Panamericana Sur. Existen muchos establecimientos comerciales y residenciales del estrato medio y bajo.

SECTOR 6:

Sector ubicado en la periferia de la ciudad. Está en proceso de consolidarse. Existen comercios y viviendas de los estratos medio y bajo.

SECTOR 7:

Corresponden al distrito de Pueblo Nuevo, con viviendas y comercios construídas de adobe, y de nivel socio-económico medio y bajo.

SECTOR 8:

Sector correspondiente a la periferia de la ciudad, con algunas áreas de cultivo.

1.3 PRONOSTICO DE LA DEMANDA POR EL METODO CAUSAL

1.3.1 Proyección de la población

D A T O S C E N S A L E S

DISTRITO	P O B L A C I O N		
	1961	1972	1981
Chincha alta	17,491	28,786	37,475
Pueblo Nuevo	3,326	15,560	23,368
T O T A L	20,817	44,346	60,843

La proyección de la población de la ciudad de Chincha obedece a la siguiente expresión:

$$y = 21,879 (1.056)^x$$

donde x es 0, 1, 2,.....; correspondiendo el valor de x = 0 para el año 85.

La curva de proyección de la población puede apreciarse en la figura 1.

Después de efectuar cálculos, los resultados son los siguientes:

AÑO	POBLACION
1985	80,304
1987	89,495
1992	117,340
1997	153,849
2002	201,718

1.3.2 Proyección del número de familias

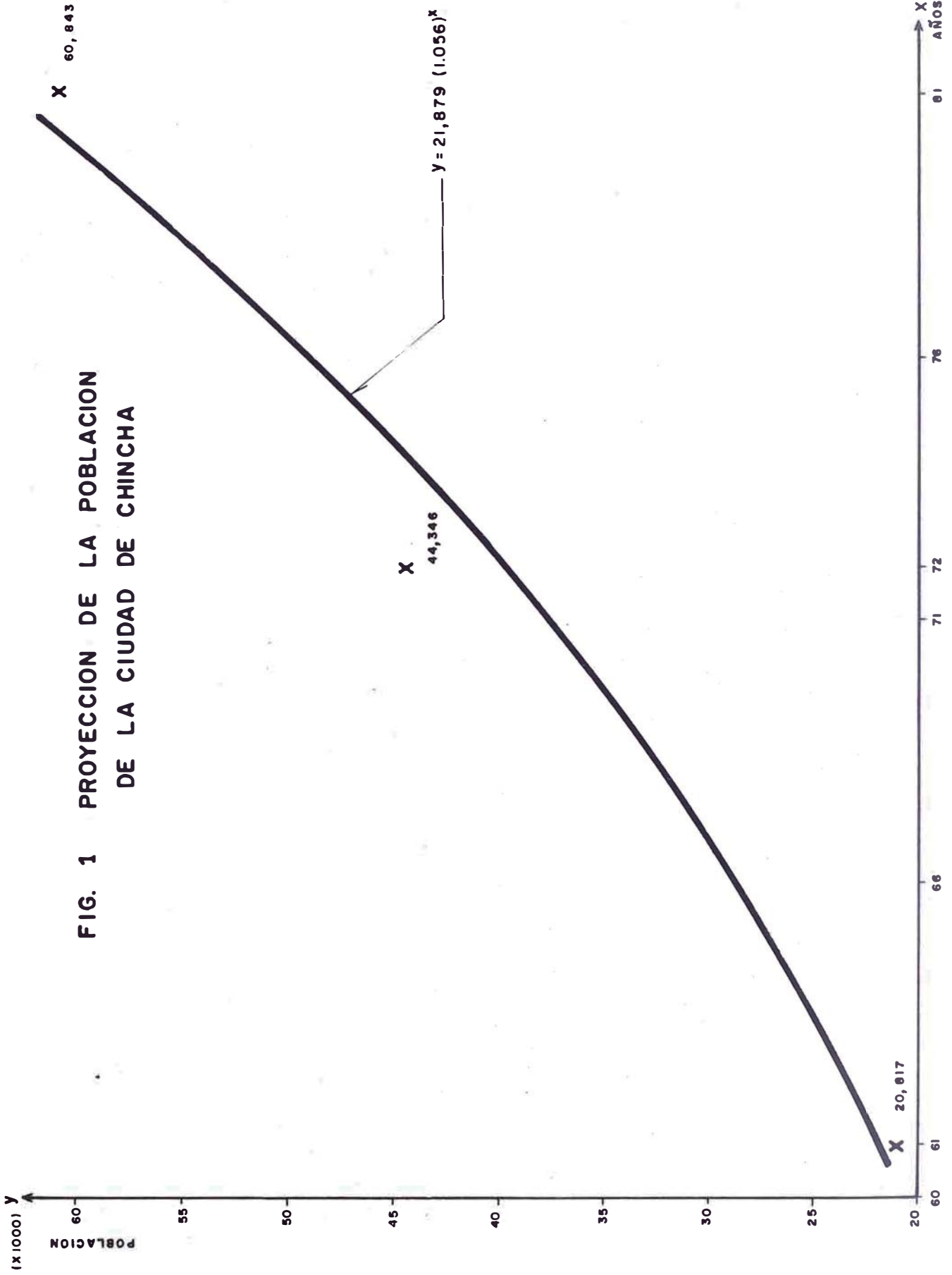
Actualmente (año 85) existen 11,390 familias en la ciudad de Chincha, con un promedio de 7 personas por familia.

En vista de que no se cuenta con los datos estadísticos suficientes sobre el número de familias, consideraremos invariable este promedio para efectuar la proyección.

Los resultados son los siguientes:

(Ver cuadro en la página siguiente)

FIG. 1 PROYECCION DE LA POBLACION DE LA CIUDAD DE CHINCHA



<u>AÑO</u>	<u>NUMERO DE FAMILIAS</u>
1985	11,390
1987	12,694
1992	16,643
1997	21,822
2002	28,612

1.3.3 Proyección del PBI

El crecimiento del PBI según el Banco Central de Reserva del Perú es el siguiente:

<u>AÑO</u>	<u>PBI (MILLONES DE SOLES)</u>
1977	319,729
1978	313,983
1979	325,838
1980	335,613
1981	345,970
1982	348,395
1983	306,873

La ecuación que gobierna el crecimiento del PBI es:

$$y = 314,057.670 (1.022)^x$$

Donde x toma los valores 0, 1, 2,..... ; correspondiendo el valor de x = 0 para el año 77.

La ecuación del PBI arroja los siguientes resultados:

(Ver Tabla en la siguiente página)

<u>AÑO</u>	<u>PBI (MILLONES DE SOLES)</u>
1985	372,780.96
1987	389,103.20
1992	433,104.31
1997	482,081.21
2002	536,596.59

La curva de proyección se puede apreciar en la figura 2.

1.3.4 Proyección de la población nacional

DATOS CENSALES

<u>AÑO</u>	<u>POBLACION NACIONAL</u>
1961	9'906,746
1972	13'538,208
1981	17'005,210

El crecimiento de la población nacional obedece a la siguiente ecuación:

$$y = 9'951,762 (1.028)^x$$

Donde x toma valores de 0, 1, 2,.....; correspondiendo x = 0 para el año 61.

La ecuación de la población nacional arroja los siguientes resultados:

(Ver tabla en la siguiente página)

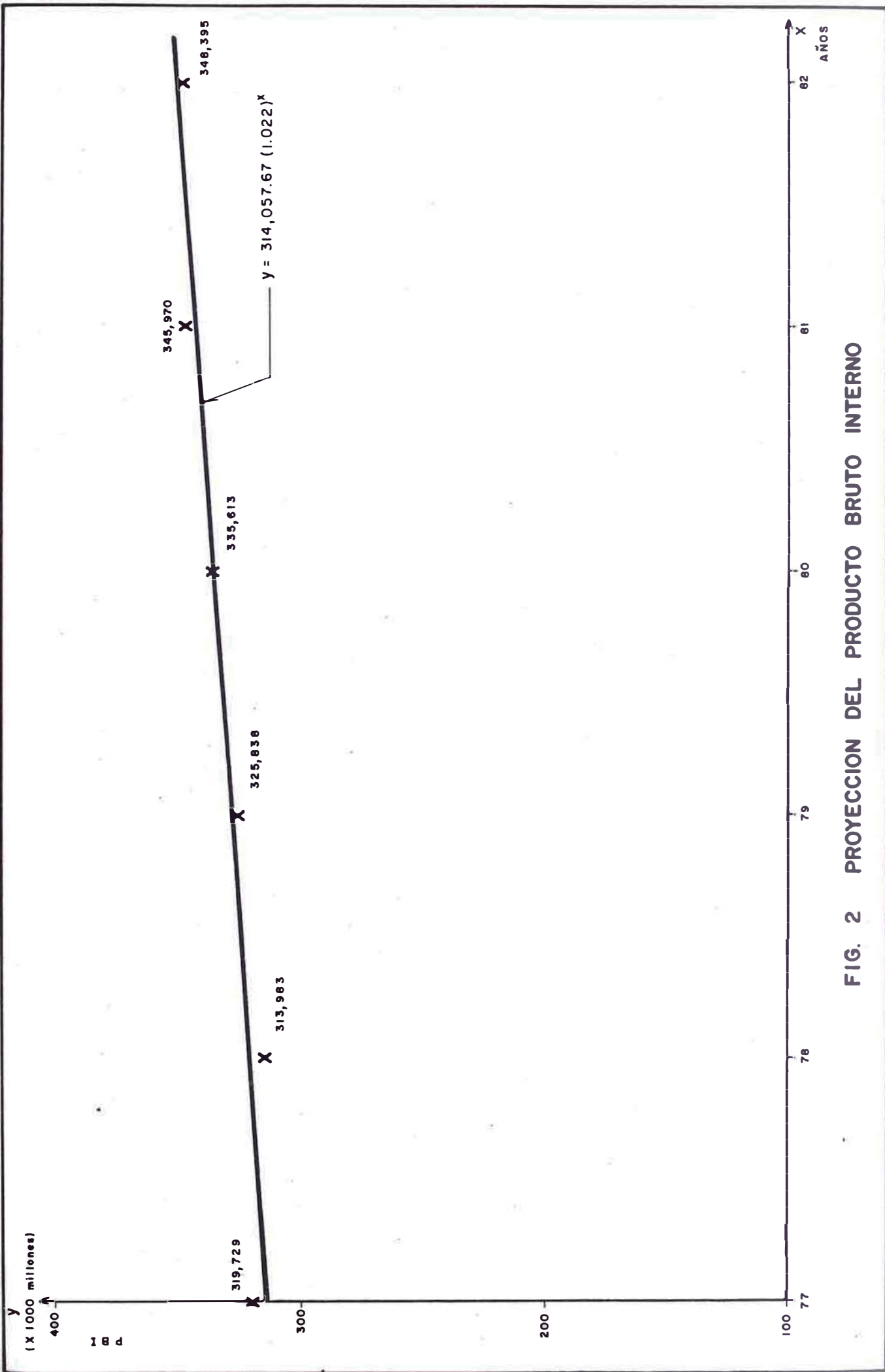


FIG. 2 PROYECCION DEL PRODUCTO BRUTO INTERNO

<u>AÑO</u>	<u>POBLACION NACIONAL</u>
1985	19'083,759
1987	20'147,797
1992	23'074,736
1997	26'426,879
2002	30'266,000

La curva de proyección se muestra en la figura 3.

Aplicando las ecuaciones (9) y (10) determinamos la demanda residencial y comercial respectivamente. Seguidamente se presenta la demanda total para cada año de interés.

<u>AÑO</u>	<u>DEMANDA TOTAL</u>
1985	(*) 3599
1987	4098
1992	5145
1997	6463
2002	8125

(*) Obtenido mediante el estudio de mercado.

1.4 PRONOSTICO DE LA DEMANDA POR EL METODO DE PROSPECCION POR ZONAS.

El pronóstico se ha efectuado por sectores de demanda y haciendo uso del programa PDTM. Los resultados para el caso del sector 6 se presentan en la página siguiente.

Seguidamente presentamos los valores de demanda por año y por sector, obtenidos a través del progra-

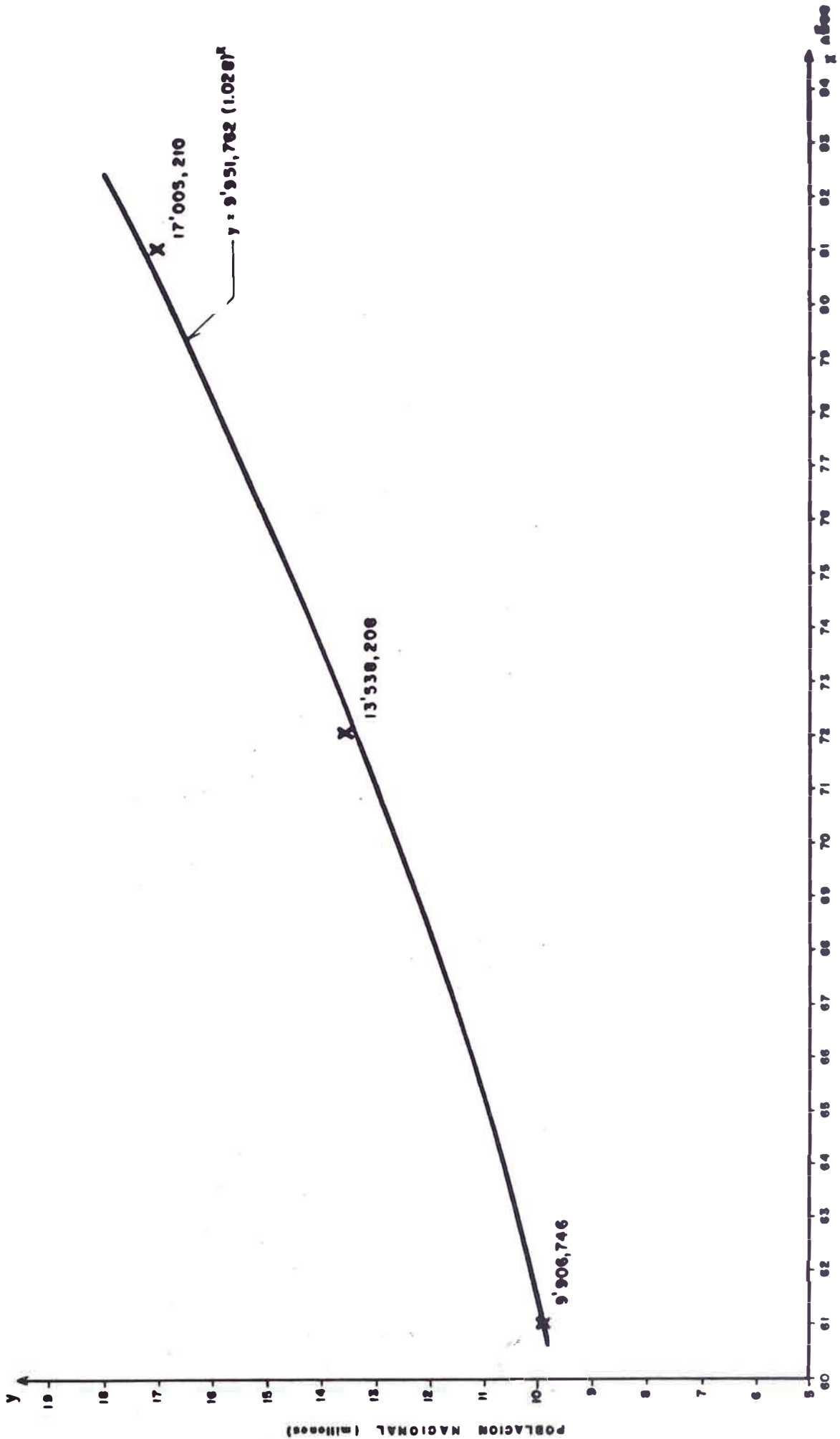


FIG. 3 PROYECCION DE LA POBLACION NACIONAL

Las áreas de distribución en que ha sido dividido el área de abonados mediante el SOFTWARE MPSX/370, se encuentran en el plano S-01.

Para cada área de distribución se ha determinado el emplazamiento óptimo del armario aplicando el programa EMOPAM. Los resultados se muestran en el cuadro de la página siguiente:

SECTOR	AREA DE DISTRIBUCION	EMPLAZAMIENTO DE ARMARIO	
		XO	YO
I	D11	35.0	292.0
	E11	125.0	152.0
II	D11	145.0	169.0
	E11	145.0	248.0
	D21	195.0	172.0
	E21	195.0	226.0
	D31	140.0	121.0
	E31	95.0	118.0
III	D11	190.0	129.0
	E11	190.0	205.0
IV	D11	220.0	200.0
	E11	150.0	177.0
	D21	150.0	71.0
	D22	150.0	188.0
	E21	40.0	90.0
	E22	40.0	139.0
	D31	40.0	125.0
	D32	40.0	223.0
	E31	40.0	160.0
	E32	40.0	130.0
	D41	115.0	140.0
	D42	115.0	149.0
	E41	125.0	179.0
	E42	125.0	181.0

NOTA: XO e YO están referidos a los ejes coordenados particulares de cada área de distribución.

El emplazamiento del armario para cada área de distribución se puede observar en el plano S-01.

4. DETERMINACION DE LOS CABLES ALIMENTADORES

Para completar el anteproyecto o diseño fundamental, se han determinado los cables alimentadores para cada armario, y los cables alimentadores principales. Además, se ha efectuado los cálculos de transmisión y señalización, que se presentan en el plano esquemático de cable alimentador (plano A-01).