

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON

54



## APLICACION DE LAS TECNICAS DE PROGRAMACION LINEAL PARA LA LOCALIZACION DE SUBESTACIONES

Sist. - 29205

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE;  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A

ANGEL GUDIÑO TEJEDA

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON  
DIRECCION

ANGEL GUDIÑO TEJEDA  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 24 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. PASCUAL RIVERA MUÑOZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " APLICACION DE LAS TECNICAS DE PROGRAMACION LINEAL PARA LA LOCALIZACION DE SUBESTACIONES ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., mayo 16 de 1983.  
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería.  
Unidad Académica.  
Departamento de Servicios Escolares.  
Director de Tesis.

A LA MEMORIA DE MIS PADRES :

ANGEL GUDIÑO AGUAYO Y FRANCISCA TEJEDA NUÑEZ

OFELIA GONZALEZ DE GUDIÑO, MI ESPOSA Y COMPAÑERA, COMO MUESTRA DE MI FERVIENTE CARÍÑO Y RESPETO; POR EL APOYO QUE SIEMPRE ENCUENTRO EN ELLA.

A MI PEQUEÑO HIJO: "ANGEL" QUE CON SU SONRISA INOCENTE ME AYUDA A ESFORZARME MAS CADA DIA, PORQUE EN EL FORJO MIS MAS CAROS ANHELOS.

A MI QUERIDA FAMILIA : MIS HERMANOS, IRMA, ROSALBA, LO RENZO, PEDRO, MARIA DEL REFUGIO, EVANGELINA, EDUARDO Y FAMILIARES ALLEGADOS POR LA CONFIANZA Y APOYO QUE EN TODO MOMENTO ME HAN BRINDADO Y EN PARTICULAR A MI HERMANA HILDA PORQUE SIEMPRE ME MOTIVO Y TUVO CONFIANZA - EN QUE YO LLEGARA A LOGRAR UNO DE MIS MAS CAROS ANHELOS.

CON MI MAS PROFUNDO AGRADECIMIENTO A MI DIRECTOR Y ASESOR DE TESIS ING. PASCUAL RIVERA MUÑOZ, POR EL APOYO, DIRECCION Y COLABORACION QUE PERMITIO LA REALIZACION DE LA MISMA.

AGRADEZCO A LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON ( UNAM ) LA OPORTUNIDAD QUE ME BRINDO PARA CULMINAR MI CARRERA PROFESIONAL.

AGRADEZCO A LOS MAESTROS QUE INTERVINIERON EN LA FORMACION ACADEMICA QUE ME PERMITE HOY OBTENER LA LICENCIATURA EN INGENIERIA MECANICA ELECTRICA.

POR TODO EL APOYO Y CARINO DE TODAS ESAS PERSONAS ME BRINDARON, GRACIAS.

" APLICACION DE LAS TECNICAS DE PROGRAMACION LINEAL  
PARA LA LOCALIZACION DE SUBESTACIONES "

I N D I C E

	PAG.
I N T R O D U C C I O N	1
CAPITULO I	
MODELO GENERAL PARA LA INSTA- LACION DE NUEVAS SUBESTACIONES.	
1.- GENERALIDADES	5
2.- MODELOS	6
3.- MÉTODO	10
4.- CÁLCULO DE DISTANCIAS	13
5.- OPTIMIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE SERVICIO	13
6.- APLICACIÓN DEL PROCEDIMIE- NTO	15
CAPITULO II	
MODELO PARA EL PRONOSTICO DE - LA DEMANDA	
1.- SIMULACIÓN	17
1,1, PLANEACIÓN DE LA SI- MULACIÓN	
2.- 1,2, SIMULACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉC TRICA	

	PAG.
2.- MÉTODO DE MONTECARLO	21
3.- TASA DE CRECIMIENTO DE LA DEMANDA	23
4.- MODELO PARA EL NÚMERO DE SUBESTACIONES POR AÑO	24
5.- MODELO PARA LOS LOTES DISPONIBLES	28
6.- MODELO PARA LA CAPACIDAD DE LAS SUBESTACIONES	30
7.- ALGORITMO DEL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA USADO EN UN PROGRAMA DE COMPUTADORA	32

### CAPITULO III

#### DESCRIPCION DEL ALGORITMO DE DIJKSTRA Y DE TRANSPORTE PARA LA LOCALIZACION DE SUBESTACIONES

1.- ALGORITMO DE DIJKSTRA ( DISTANCIA MÍNIMA )	38
2.- DESCRPCIÓN DEL ALGORITMO	38
3.- ALGORITMO DE TRANSPORTE	42
4.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	43
5.- MÉTODO DEL EXTREMO NOROESTE (SOLUCIÓN BÁSICA INICIAL)	45
6.- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO UTILIZANDO EL ALGORITMO DE TRANSPORTE	47

	PAG.
CAPITULO IV	
EJEMPLO DE APLICACION	
1.- DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO	53
2.- APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE LAS DISTANCIAS MÍNIMAS FACTIBLES	56
3.- APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE TRANSPORTE	67
4.- RESULTADOS	76
CONCLUSIONES	77
B I B L I O G R A F I A	



## INTRODUCCION

UNA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL DESARROLLO ECONÓMICO ACTUAL, ES LA DEPENDENCIA CASI TOTAL Y ABSOLUTA DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS SOBRE EL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA. ESTA DEPENDENCIA SE MANIFIESTA POR UNA PRESIÓN CONSTANTE Y CRECIENTE POR PARTE DE LOS USUARIOS QUE EXIGEN UN SERVICIO ELÉCTRICO CADA DÍA DE MAYOR CALIDAD Y MEJOR ADAPTADO A SUS NECESIDADES. LA CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO TOMA FORMA A TRAVÉS DE DOS CONCEPTOS :

ESTABILIDAD DEL VOLTAJE, FRECUENCIA, MAGNITUD Y FORMA DE ONDA.

CONTINUIDAD Y PERMANENCIA DEL SERVICIO.

ANTE ESTA SITUACIÓN, EL SECTOR ELÉCTRICO TIENE COMO FUNCIÓN PRINCIPAL EL DISEÑAR LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SATISFACER LA DEMANDA, TAN ECONÓMICAMENTE COMO SEA POSIBLE Y CON UN NIVEL LÍMITE DE CALIDAD DE SERVICIO ESTABLECIDO POR EL REGLAMENTO PARA SU MINISTRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

LA MAYOR INFLUENCIA DE LA CARGA SOBRE EL DISEÑO Y DESARROLLO DE LA RED QUE LA ALIMENTA, DEPENDE PRINCIPALMENTE DE SU FORMA DE CRECIMIENTO. BÁSICAMENTE LA CARGA PUEDE CRECER EN FORMA VERTICAL, HORIZONTAL Y COMBINADA. ATENDIENDO AL TIPO DE EVOLUCIÓN DE LA CARGA LOS PLANES DE DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, CONSISTEN GENERALMENTE, EN LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVAS SUBESTACIONES Y AUMENTO DE CAPACIDAD EN LAS EXISTENTES. SIN EMBARGO, EXISTEN OTROS PARÁMETROS QUE LIMITAN LA REALIZACIÓN DEL

PLAN RECOMENDADO, TALES COMO LA ESCASEZ DE TERRENOS PARA NUEVAS SUBESTACIONES, ENCONTRÁNDOSE CADA VEZ MAYOR DIFICULTAD EN LA ADQUISICIÓN DE ESTOS PREDIOS EN ÁREAS URBANAS YA ESTABLECIDAS.

LAS CARGAS INDUSTRIALES SE CONSIDERAN EN FUNCIÓN DE SU DEPENDENCIA SOBRE EL SERVICIO ELÉCTRICO COMO DE EMERGENCIA Y CRÍTICAS. POR LO TANTO, LA RED DEBE SER DISEÑADA Y ESTRUCTURADA DE TAL MANERA QUE PERMITA REALIZAR MANIOBRAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO, TANTO EN CONDICIONES PROGRAMADAS COMO EN CONDICIONES DE EMERGENCIA, CON EL MÍNIMO DE AFECTACIÓN EN LA CONTINUIDAD DEL SERVICIO DE ESTAS CARGAS.

EN GRAN BRETAÑA Y OTRAS CIUDADES DE EUROPA NUEVOS CONSUMIDORES DOMÉSTICOS SON SUMINISTRADOS POR REDES DE BAJO VOLTAJE. A CAUSA DE LA GRAN INVERSIÓN DE CAPITAL EN ESTAS REDES, HAY CONSIDERABLES INCENTIVOS PARA ASEGURAR CONSISTENTEMENTE ALTOS ESTÁNDARES DE DISEÑO, LO CUAL A LA VEZ, REQUIERE UNA GRAN CANTIDAD DE INGENIEROS EXPERTOS TRABAJANDO A MANO PARA DISEÑAR LAS EXTENSIONES DE REDES.

LA IMPORTANCIA ECONÓMICA DE ESTE PROBLEMA DE DISEÑO FUE DESCRITA POR COPLAND ( 2 ), QUIEN SUGIRIÓ MÉTODOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS PARA AYUDAR EN LOS DISEÑOS MANUALES DE REDES. MÁS RECIENTEMENTE LOS PROGRAMAS DE COMPUTADOR HAN SIDO DESARROLLADOS PARA AYUDAR A LOS INGENIEROS, PERO LA MAYORÍA DE ESTOS PROGRAMAS SOLAMENTE REPRODUCEN LAS COMPUTACIONES MANUALES ORIGINALES Y NO PRODUCEN DISEÑOS DE REDES DIRECTAMENTE. EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL CONSEJO DE ELECTRICIDAD ( ECRC ) DE LA GRAN BRETAÑA SE DESARROLLÓ UNA TÉCNICA COMPUTACIONAL QUE PRETENDE NO SOLAMENTE DECIDIR EN LONGITUDES DE CABLE Y TAMAÑO, SINO TAMBIÉN, ABORDAR EL PROBLEMA MÁS DIFÍCIL DERIVADO

DE UNA DISPOSICIÓN ÓPTIMA DE CABLE.

EL PROBLEMA GENERAL EN EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE BAJO VOLTAJE ES ESCENCIALMENTE LA SELECCIÓN DE SITIOS Y TAMAÑOS DE SUBESTACIONES PARA SUMINISTRAR UNA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS ESTIMADAS DENTRO DE RESTRICCIONES TÉRMICAS Y DE VOLTAJE AL COSTO GLOBAL POSIBLE MÁS BAJO.

UNA GRAN ÁREA URBANA GENERALMENTE ES ALIMENTADA POR DIFERENTES SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN. LA LOCALIZACIÓN Y NÚMERO DE SUBESTACIONES DEPENDE DE DIFERENTES FACTORES TALES COMO : -- CARGAS, LIMITACIONES GEOGRÁFICAS, CONSIDERACIONES DEL MEDIO AMBIENTE, DERECHO DE VÍA, DISPONIBILIDAD DE TRASMISIÓN. A MEDIDA QUE EL SISTEMA DE POTENCIA SE AMPLÍA LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DEBE SER AGREGADA EN LOS INCREMENTEOS PRÁCTICOS Y ECONÓMICOS. SIN EMBARGO, ES IMPROBABLE QUE TODAS LAS SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN LLEGUEN A SOBRECARGARSE AL MISMO TIEMPO. AÚN CUANDO SE TOMA UNA DECISIÓN ESTA DEBE SER HECHA EN EL MOMENTO EN -- QUE LA SUBESTACIÓN SEA AMPLIADA.

LA AMPLIACIÓN DE ESTAS SUBESTACIONES RESULTARÁ EN CAPACIDAD EXCESIVA EN ALGUNAS ÁREAS, DE TAL MANERA, SE HACE NECESARIO TOMAR UNA DECISIÓN, EN CUANTO A COMO ESTA CAPACIDAD EXCESIVA -- PUEDE SER MEJOR UTILIZADA HACIENDO UNA DISTRIBUCIÓN ADECUADA DE LA CAPACIDAD DISPONIBLE DEL CONJUNTO DE SUBESTACIONES EN EL --- ÁREA.

EN UN SISTEMA GRANDE DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN, EL PROCESO DE ARRIBA, PRODUCE UN NÚMERO EXTREMADAMENTE GRANDE DE -- POSIBLES ALTERNATIVAS. POR EJEMPLO : PARA UN SISTEMA DE 70 SUBESTACIONES POR CADA 3 POSIBILIDADES DE AMPLIACIÓN, SE DICE QUE EL NÚMERO TOTAL DE COMBINACIONES ES  $3^{70}$ . POR CONSIGUIENTE, LA

LOCALIZACIÓN DE SUBESTACIONES Y SU DEMANDA ELÉCTRICA PUEDE TENER UN FUERTE IMPACTO EN LOS COSTOS DE OPERACIÓN. EN EL CAPÍTULO III SE PRESENTA UNA SOLUCIÓN A ESTE PROBLEMA, APLICANDO UN MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA CONOCIDO COMO EL ALGORITMO DE TRANSPORTE.

EL MODELO DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA SE DESCRIBE EN EL CAPÍTULO I Y SE DA UN EJEMPLO DE APLICACIÓN DE DICHO MODELO EN EL CAPÍTULO IV. LA SIMULACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE LA DEMANDA SE RESUELVE EN EL CAPÍTULO II CON EL MÉTODO DE MONTECARLO COMO PARTE DEL PROGRAMA PARA LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE SUBESTACIONES.

# C A P Í T U L O I

## MODELO GENERAL PARA LA INSTALACION DE NUEVAS SUBESTACIONES

### 1.- GENERALIDADES :

EL PRINCIPAL OBJETIVO DE ESTE CAPÍTULO ES, EL PRESENTAR UN MODELO DE PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, EL CUAL, PUEDE SER USADO POR LOS PROYECTISTAS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PARA DETERMINAR LOS PATRONES O ALTERNATIVAS DE AMPLIACIÓN ÓPTIMA SELECCIONANDO :

- 1) LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE SUBESTACIONES ( SI-----TIOS ).
- 2) AMPLIACIÓN ÓPTIMA DE SUBESTACIONES.
- 3) CAPACIDADES ÓPTIMAS DE LAS SUBESTACIONES.
- 4) TRANSFERENCIAS DE CARGA ENTRE SUBESTACIONES Y CENTROS DE DEMANDA.

TODO LO ANTERIOR ESTÁ SUJETO A UN NÚMERO DE RESTRICCIONES, PARA MINIMIZAR EL VALOR DE LOS COSTOS TOTALES INVOLUCRADOS. LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN SON HERRAMIENTAS MUY VALIOSAS EN LA PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.

LA PLANEACIÓN DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN REQUIERE UN PROCEDIMIENTO COMPLEJO PORQUE :

- A) SE INVOLUCRAN GRANDES NÚMEROS DE VARIABLES.

- B) LA REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE MUCHOS REQUERIMIENTOS Y CONDICIONES DE RESTRICCIÓN ESPECIFICADOS POR CONFIGURACIONES DE SISTEMA ES UNA TAREA MUY DIFÍCIL.

ALGUNAS DE LAS TÉCNICAS USADAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE ESTA TAREA INCLUYEN :

- I) EL MÉTODO DE VIGILANCIA-ALTERNATIVA, EL CUAL, COMPARA UNAS POCAS ALTERNATIVAS Y SELECCIONA LA MEJOR DE ELLAS.
- II) LA TÉCNICA DE DESCOMPOSICIÓN EN LA CUAL, UN PROBLEMA GRANDE ES DIVIDIDO EN DIFERENTES SUBPROBLEMAS MÁS PEQUEÑOS Y CADA UNO ES RESUELTO SEPARADAMENTE.
- III) LOS MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL Y PROGRAMACIÓN ENTERA, LINEALIZAN EL CONJUNTO DE RESTRICCIONES.
- IV) LA TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN DINÁMICA.

CADA MÉTODO TIENE SUS PROPIAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS. EN LA PLANEACIÓN A LARGO PLAZO, EN PARTICULAR, ES INVOLUCRADO UN GRAN NÚMERO DE VARIABLES Y AHÍ PUEDE EXISTIR UN NÚMERO DE PROYECTOS ALTERNATIVOS POSIBLES, LOS CUALES HACEN DE LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA UNA TAREA MUY DIFÍCIL.

## 2.- MODELOS :

A CONTINUACIÓN SE PRESENTA EN FORMA RESUMIDA ALGUNOS MODELOS QUE HAN SIDO DESARROLLADOS PARA LA SOLU

## CIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE SUBESTACIONES.

LA TÉCNICA USADA POR LAWRENCE, MONTMEAT, PATTON Y WAPPLER ( 4 ) EN SU MODELO DE " PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN AUTOMATIZADOS ", ES UN BUEN EJEMPLO DE LOS MODELOS AD HOC. EN AÑOS RECIENTES HA HABIDO UN NÚMERO DE AVANCES EN LA APLICACIÓN MATEMÁTICA - PARA LOS MODELOS DE PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. SOLO RECIENTEMENTE LA EFICACIA DE LAS COMPUTADORAS HA ALCANZADO EL PUNTO DONDE LAS CAPACIDADES - DE VELOCIDAD Y ALMACENAMIENTO SON SUFICIENTES PARA RESOLVER UN PROBLEMA DE TAL MAGNITUD, COMO LA PLANEACIÓN DE DISTRIBUCIÓN, DONDE LA NATURALEZA INTERACTIVA DE LAS DECISIONES, ACOPLADAS CON LA INCÓMODA CANTIDAD DE DATOS, PRESENTA UNA FORMIDABLE TAREA AÚN PARA EL MEJOR EXPERTO Y EXPERIMENTADO INGENIERO DE PLANEACIÓN.

JURICEK, FUKUTOME Y CHEN ( 8 ), DESARROLLARON UN MODELO QUE EMPLEA UN ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA PARA DETERMINAR FUTURAS CONDICIONES DEL SISTEMA BASADAS EN EL CRECIMIENTO DE LA CARGA Y CONDICIONES PRESENTES. - UN CONJUNTO DE POSIBLES MODIFICACIONES DEL SISTEMA, - COMPUESTO DE COMBINACIONES DE AMPLIACIÓN O CONSTRUCCIÓN Y ALIMENTADORES ES PROPUESTO. ESTE CONJUNTO DE MODIFICACIONES ES GENERADO POR UNA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE TRANSPORTACIÓN, LA CUAL, MODELA LA RED DE DISTRIBUCIÓN COMO UN SISTEMA DE TRANSPORTE.

MASUD ( 3 ), DESARROLLÓ UN MODELO EN EL CUAL INCLUYÓ UNA TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN ENTERA PARA OPTIMIZAR LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE LAS SUBESTACIONES Y UNA TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA OPTIMIZAR LAS TRANSFERENCIAS DE CARGA. EL PROCEDIMIENTO

PRIMERO INVOLUCRA LA MINIMIZACIÓN DE LAS CAPACIDADES DEL TRANSFORMADOR DE LAS SUBESTACIONES PARA CADA AÑO Y LUEGO , OPTIMIZA LAS CAPACIDADES DEL TRANSFORMADOR DE LAS SUBESTACIONES PARA CADA AÑO, POSTERIORMENTE - OPTIMIZA LAS TRANSFERENCIAS DE CARGA.

RECIENTEMENTE, SHELTON Y MAHMOUD ( 10 ), TRATARON LA MISMA TAREA CON LA MISMA TÉCNICA QUE USÓ MA--SUD ( 3 ) Y OTROS, ANTERIORMENTE. LA ÚNICA DIFERENCIA EN SU TÉCNICA ES, QUE EL VALOR PRESENTE DE LOS - CARGOS DE ACARREO EN LAS INVERSIONES HECHAS DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO ES MINIMIZADA. SHELTON Y MAHMOUD (10), CONSIDERARON LA AMPLIACIÓN DE SUBESTA--CIONES, APERTURA DE NUEVOS SITIOS, AMPLIACIÓN DE CIRCUITOS Y DECISIONES EN LOS INTERCAMBIOS DEL TRANFOR--MADOR.

LAS CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DESARROLLADO POR ADAMS Y LAUGHTON ( 6 ), INCLUYEN COSTOS DE LINEALIZACIÓN DE PÉRDIDAS DE ALIMENTADOR-COPPER Y EL USO CONSTANTE DE MÚLTIPLES PERIODOS DE TIEMPO.

HINDI Y BRAMELLER ( 7 ), USARON UN MÉTODO DE -- PROGRAMACIÓN MIXTA-ENTERA LLAMADO " BRANCH AND BOUND " EN SU MODELO. ELLOS CONSIDERARON LOS EFECTOS DE SITIOS DE SUBESTACIONES, RUTAS DE ALIMENTADORES Y EL - COSTO DE ALIMENTADORES, TRANSFORMADORES Y CONSTRUC--CIÓN DE SUBESTACIONES. SOBRESALIENDO DEL MODELO, LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA-DIRIGIDA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN Y ADICIÓN DE LAS RUTAS ARTIFICIALES POR DI VISIÓN DE CARGA.

CRAWFORD Y HOLT ( 9 ) HAN DESARROLLADO UNA TÉC-



NICA DE PROGRAMACIÓN LINEAL, LA CUAL, UTILIZA TAMBIÉN UN ALGORITMO DE TRANSPORTE PARA OPTIMIZAR LAS ÁREAS DE SERVICIO MINIMIZANDO EL PRODUCTO DE DEMANDAS Y DISTANCIAS - DE LAS SUBESTACIONES. EL MODELO DETERMINA LA CARGA RE-- QUERIDA PARA CADA SUBESTACIÓN.

UNA TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN DINÁMICA PARA LA PLA-- NEACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN HA SIDO DESARROLLA-- DA POR OLDFIELD Y LANG ( 11 ), Y TAMBIÉN POR ADAMS Y LAU GHTON ( 12 ). COMO UN COMPROMISO ENTRE LAS DIFICULTA-- DES DEBIDO AL GRAN NÚMERO DE VARIABLES, MÁ S LA COMPLEJI-- DAD DEL PROCESO DE DISEÑO Y LAS ECONOMÍAS QUE DEBEN SER GANADAS EN LA BÚSQUEDA DE OPTIMABILIDAD. OLDFIELD Y --- LANG ( 11 ), HAN SUGERIDO UN MÉTODO DE PLANEACIÓN DE DOS ETAPAS; LA INTENCIÓN ES PREVEER UN MÉTODO EN EL CUAL, -- LOS PROCESOS DE DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN SON AMPLIADOS CON-- SECUTIVAMENTE MÁ S BIEN QUE SIMULTÁNEAMENTE. EL MODELO - USADO POR ADAMS Y LAUGHTON ( 12 ), DETERMINA LOS ESQUE-- MAS DE TRANSFERENCIA DE CARGA Y LA INSTALACIÓN DE SUBES-- TACIONES MINIMIZANDO EL COSTO DE PÉRDIDAS DEL TRANSFORMA-- DOR DE LAS SUBESTACIONES. SU TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN DI-- NÁMICA EXAMINA TODAS LAS COMBINACIONES POSIBLES DE EXPAN-- SIÓN ALTERNATIVAS, EXPLÍCITAMENTE, PARA CADA PERIODO DEL ESTUDIO.

WALL Y NORTHCOTE-GREEN ( 13 ), IDEARON UN MODELO -- QUE CONTIENE TODOS LOS DETALLES DEL MODELO DE ADAMS Y - LAUGHTON ( 5 ) PARA UN SOLO PERIODO DE TIEMPO, EXCEPTO PA-- RA LOS CARGOS FIJOS EN SEGMENTOS ALIMENTADORES. ES USA-- DO UN CÓDIGO DE TRANSBORDO ALTAMENTE EFICIENTE PARA RE-- SOLVER EL MODELO, EL CUAL, INCORPORA DIFERENTES AVANCES SIGNIFICATIVOS RECIENTES, DE ESTE MODO, DISMINUYE EL --- TIEMPO DE SOLUCIÓN DE TALES PROBLEMAS. ELLOS MOSTRARON CÓMO SU MODELO UTILIZA APROXIMACIONES LINEALES DE FUNCIO

NES DE COSTO NO-LINEALES, PERO LAS ECUACIONES EXPLÍCITAS PARA LOGRAR ESTO NO SON DADAS.

### 3.- METODO :

EN ESTE TRABAJO SE SUGIERE UN MÉTODO QUE ESTÁ BASADO EN UNA TÉCNICA MATEMÁTICA, LA CUAL NOS PERMITE OBTENER UN DISEÑO A COSTO MÍNIMO DE UNA RED PARA ALIMENTAR VARIOS PUNTOS DE DEMANDA DESDE VARIAS SUBESTACIONES. EL MÉTODO ESTÁ BASADO EN EL USO DE TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN LINEAL QUE HAN SIDO DESARROLLADAS POR ECONOMISTAS Y MATEMÁTICOS DESPUÉS DE LA ÚLTIMA GUERRA. ESTAS TÉCNICAS HAN SIDO AMPLIAMENTE USADAS EN LA SOLUCIÓN DE MUCHOS PROBLEMAS DE LA INDUSTRIA. EL PROBLEMA ESTÁ PLANTEADO DE TAL MANERA QUE LA RELACIÓN ENTRE UN CONJUNTO DE VARIABLES -- CON OTRO ESTÁ DIFINIDA POR UN CONJUNTO DE ECUACIONES LINEALES LLAMADAS RESTRICCIONES Y SUJETAS A UNA CONDICIÓN GENERAL, LA CUAL, CONSISTE EN QUE ESTAS VARIABLES DEBERÁN SER SIEMPRE NO-NEGATIVAS. ENTONCES PUEDE EXISTIR UN GRAN NÚMERO DE SOLUCIONES Y EL PROBLEMA ES ENCONTRAR, -- AQUÉLLA SOLUCIÓN QUE CONTENGA CIERTAS CARACTERÍSTICAS -- QUE PREVIAMENTE SE ESTABLEZCAN, TALES COMO DISTANCIA MÍNIMA, COSTO MÍNIMO, FLUJO MÁXIMO. ESTE TIPO DE PROBLEMAS DIFÍCILMENTE PUEDEN SER RESUELTOS POR LOS MÉTODOS -- NORMALES DE ÁLGEBRA, POR LO QUE SE PREFIEREN LOS MÉTODOS DE LA PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA CON EL AUXILIO DE LAS COMPUTADORAS. EL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FIG. 1-1, MUESTRA EL MODELO GENERAL PARA LA LOCALIZACIÓN DE LAS SUBESTACIONES.

PARA INICIAR EL ESTUDIO DE UN ÁREA DETERMINADA, ÉSTA ES DIVIDIDA EN UNA RED DE SUB-ÁREAS, QUE SE LES DENOMINA SECTORES. PARA CADA SECTOR SE DEBE TENER UN PRONÓSTICO DE LA DEMANDA MÁXIMA PARA EL PERIODO DE TIEMPO EN -

DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL  
PARA LA LOCALIZACION DE SE.

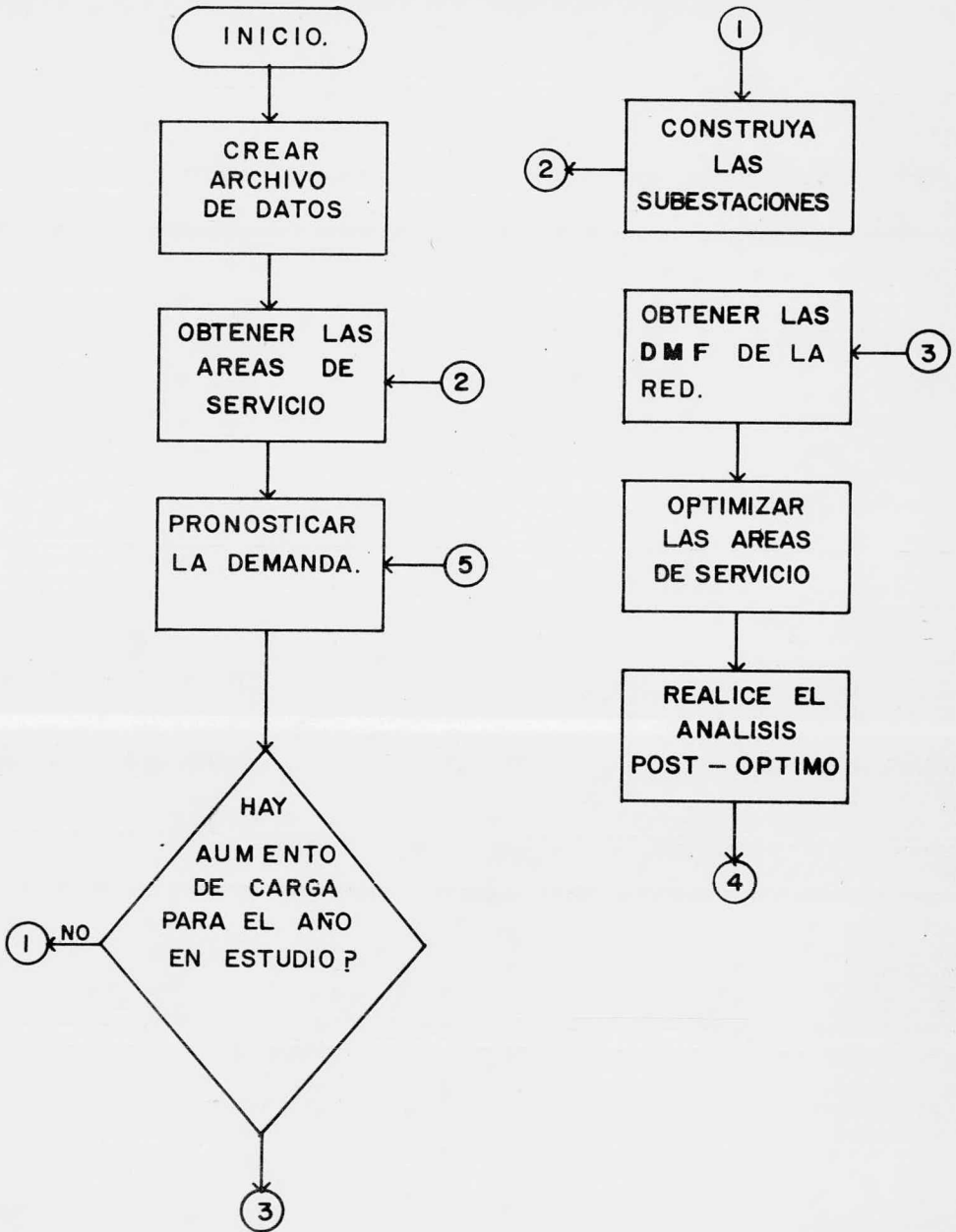
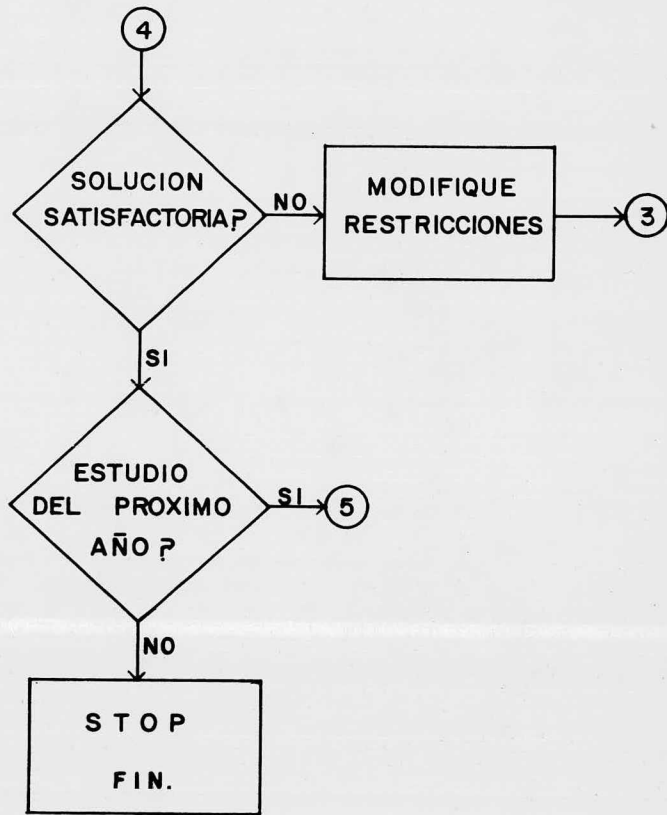


FIG. 1.1



CONT. FIG. I.1

ESTUDIO.

#### 4.- CALCULO DE DISTANCIAS :

EL ALGORITMO SE INICIA CALCULANDO LAS DISTANCIAS MÍNIMAS FACTIBLES ( DMF ) DE CADA SUBESTACIÓN EXISTENTE O - SUBESTACIÓN EN PROYECTO A CADA UNO DE LOS SECTORES DE DEMANDA. PARA EL CÁLCULO DE ÉSTAS ES UTILIZADO EL ALGORITMO DE TRANSPORTE DESARROLLADO POR DIJKSTRA ( 21 ), EL CUAL, ES EXPLICADO EN EL CAPÍTULO III, TOMANDO EN CONSIDERACIÓN LAS RESTRICCIONES REALES QUE EXISTAN DENTRO DE LA ZONA EN ESTUDIO, TALES COMO UN AEROPUERTO, UN RÍO.

#### 5.- OPTIMIZACION DE LAS AREAS DE SERVICIO :

DESPUÉS DE ENCONTRAR LAS CARGAS DE CADA SECTOR Y -- LAS DMF DE CADA RUTA SUBESTACIÓN-SECTOR, EL OBJETIVO ES - ESTABLECER LOS LÍMITES DE INFLUENCIA DE CADA SUBESTACIÓN, DE TAL MANERA QUE CADA SECTOR SEA ALIMENTADO LO MÁS ECONÓMICAMENTE POSIBLE SIN SOBRECARGAR LAS SUBESTACIONES. ESTO SE LOGRA A TRAVÉS DEL ALGORITMO DE TRANSPORTE EXPLICADO EN EL CAPÍTULO III.

EL MODELO DE TRANSPORTE CONSISTE DE  $M$  FUENTES, CADA UNA CON UNA POTENCIA DISPONIBLE  $S_I$  Y  $N$  DESTINOS, CADA UNO CON UNA DEMANDA  $D_j$ . EL MODELO REQUIERE QUE LA CANTIDAD - DE CARGA QUE SE SUMINISTRE SE CONSUMA. EN ESTE CASO PARA QUE SE CUMPLA ESTA CONDICIÓN SE DEBE CONSIDERAR UN SECTOR ARTIFICIAL CON DEMANDA IGUAL A LA CAPACIDAD SOBRANTE DE - LAS SUBESTACIONES CON RESPECTO A LA DEMANDA TOTAL DE LOS SECTORES, LA DMF DEL SECTOR ARTIFICIAL A CADA UNA DE LAS SUBESTACIONES ES DEFINIDA COMO CERO.

EN UNA PARTE DE LA SOLUCIÓN, EL ALGORITMO USA UNA -

MATRIZ C DE M X N, QUE ESTÁ FORMADA POR LAS DMF, QUE EN TÉRMINOS DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES CORRESPONDE A LA MATRIZ DE COSTOS. AL FINAL DEL PROCESO DE SOLUCIÓN SE OBTIENE OTRA MATRIZ F QUE REPRESENTA LA DEMANDA DE LOS N SECTORES SUMINISTRADA POR LAS M SUBESTACIONES. ENTONCES, LA CANTIDAD MINIMIZADA POR EL ALGORITMO DE TRANSPORTE ES LA SUMA DE LOS PRODUCTOS DE LAS DEMANDAS SERVIDAS Y LAS DISTANCIAS SOBRE LAS CUALES ESTAS DEMANDAS SON ALIMENTADAS.

EN ESTE CASO EL ALGORITMO DE TRANSPORTE SE PUEDE EXPRESAR DE LA SIGUIENTE MANERA :

$$\text{MINIMIZAR } \sum_{I=1}^M \sum_{J=1}^N C_{IJ} \cdot F_{IJ}$$

$$\text{SUJETO A : } \sum_{J=1}^N F_{IJ} = S_I \quad I = 1, 2, \dots, M$$

$$\sum_{I=1}^M F_{IJ} = D_J \quad J = 1, 2, \dots, N$$

LA FUNCIÓN OBJETIVO OPTIMIZADA ES ÚTIL EN LA COMPARACIÓN DE VARIAS ALTERNATIVAS Y LA SUMA DE LOS PRODUCTOS DISTANCIA-DEMANDA PARA CADA SUBESTACIÓN ES TAMBIÉN ÚTIL PARA DETERMINAR EL ÁREA DE SERVICIO DE CADA SUBESTACIÓN. EL ALGORITMO DE TRANSPORTE HACE LA TRANSFERENCIA ÓPTIMA DE CARGA ENTRE SUBESTACIONES.

## 6.- APLICACION DEL PROCEDIMIENTO :

COMO SE PUEDE OBSERVAR EN LA PARTE ANTERIOR, EL MODELO FUNDAMENTALMENTE ESTÁ CONSTITUIDO POR DOS ETAPAS DE SOLUCIÓN, LA PRIMERA RESUELVE EL PROBLEMA DE LAS DISTANCIAS Y LA SEGUNDA DA LA DEMANDA QUE DEBE CUBRIR CADA SUBESTACIÓN A CADA SECTOR. AHORA BIEN, DADA LA MAGNITUD DE LOS PROBLEMAS A RESOLVER Y PARA QUE LA UTILIDAD DEL MODELO SEA EFECTIVA ES NECESARIO EL USO DE COMPUTADORAS, POR LO TANTO, DE LOS PROGRAMAS DESARROLLADOS PARA LA SOLUCIÓN DE TALES PROBLEMAS SE PUEDEN OBTENER DOS RESULTADOS :

- 1) SE OBTIENE UNA LISTA DE CADA SUBESTACIÓN CON LAS DISTANCIAS MÁS CORTAS A CADA SECTOR, INCLUYENDO LA TRAYECTORIA DE ESTA DISTANCIA.
- 2) SE OBTIENE UNA LISTA DE CADA SUBESTACIÓN CON LA DEMANDA SERVIDA A CADA SECTOR

TAMBIÉN SE PUEDE OBTENER UN TERCER RESULTADO, ÉSTE PUEDE SER UNA GRÁFICA REPRESENTANDO EL ÁREA EN ESTUDIO MOSTRANDO CADA SUBESTACIÓN CON SU ÁREA DE INFLUENCIA.

EN LA PLANEACIÓN A LARGO PLAZO CON EL MÉTODO QUE AQUÍ SE PRESENTA, EL PRIMER PASO ES ESTABLECER EL HORIZONTE ECONÓMICO DE PLANEACIÓN, USUALMENTE 10 AÑOS, POSTERIORMENTE CON EL MODELO PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA SE OBTIENE LA CARGA DE CADA UNO DE LOS SECTORES PARA CADA AÑO Y LAS CAPACIDADES DE CADA SUBESTACIÓN SE ASIGNAN ARBITRARIAMENTE GRANDES. UNA VEZ ESTABLECIDAS ESTAS CONDICIONES SE APLICA EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR PRIMERO LAS DMF Y POSTERIORMENTE EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LAS ÁREAS ÓPTIMAS DE SERVICIO.

COMO EN TODOS LOS PROGRAMAS DE PLANEACIÓN A LARGO PLAZO, ES POSIBLE QUE DENTRO DEL HORIZONTE ECONÓMICO SE PRESENTEN ALGUNAS VARIACIONES, TANTO A LA FUNCIÓN OBJETIVO, COMO AL CONJUNTO DE RESTRICCIONES, POR LO QUE EL INGENIERO DE PLANEACIÓN PUEDE HACER LOS CAMBIOS NECESARIOS Y DE AHÍ PARTIR PARA ENCONTRAR UNA NUEVA SOLUCIÓN USANDO ALGÚN MÉTODO DE POST-OPTIMIZACIÓN O BIEN HACIENDO NUEVAS CORRIDAS CON LAS CONDICIONES MODIFICADAS.



## C A P I T U L O    I I

### MODELO PARA EL PRONOSTICO DE LA DEMANDA

#### 1.- SIMULACION

UNO DE LOS PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN AL DISEÑAR UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA ES LA FALTA DE INFORMACIÓN ADECUADA SOBRE LA CARGA PROBABLE DE CADA UNO DE LOS CONSUMIDORES, PARA ESTIMAR LA DEMANDA QUE PUEDE SER ESPERADA EN ÁREA DADA. TENIÉNDOSE ADEMÁS LA LIMITANTE DE NO PODER REALIZAR EXPERIMENTOS EN EL SISTEMA FÍSICO REAL, DEBIDO AL COSTO QUE REPRESENTA.

DEBIDO A LA NATURALEZA DEL PROBLEMA, LAS TÉCNICAS DE SIMULACIÓN SON APLICABLES EN EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA -- ( KVA ) DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, ES DECIR, LA PREDICCIÓN DE LA DEMANDA SIGUE UNA LEY PROBABILISTICA, DEBIDO A PROCESOS ALEATORIOS.

LA SIMULACIÓN ES LA OPERACIÓN DEL MODELO QUE SE REALIZA CON EL FIN DE OBTENER INFORMACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA, BAJO LAS CONDICIONES EXTERIORES QUE SE ESPERA ENCUENTRE EL PROTOTIPO. POR LO TANTO, LA SIMULACIÓN ES UN INSTRUMENTO ÚTIL EN SISTEMAS, CUYO ANÁLISIS MATEMÁTICO RESULTA DEMASIADO COMPLEJO. SIN EMBARGO, LA SIMULACIÓN NO DA RESULTADOS ÓPTIMOS, YA QUE ES UNA APROXIMACIÓN DEL SISTEMA REAL, CON EL CUAL SE EXPERIMENTA PARA DIFERENTES CONDICIONES. EL MODELO EN EL QUE SE BASA LA SIMULACIÓN ES DEFINIDO POR UNA FUNCIÓN QUE DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO DE LAS PARTES DE UN SISTEMA FÍSICO REAL Y ES USADO COMO UNA ABSTRACCIÓN DEL SISTEMA PARA HACER PREDICCIONES.

## 1.1.- PLANEACION DE LA SIMULACION

LA PLANEACIÓN DE UN EXPERIMENTO DE SIMULACIÓN REQUIERE EN GENERAL DE LAS SIGUIENTES PARTES :

### 1.- FASE DE DEFINICION :

- A) ESTABLECIMIENTO PRECISO DEL PROBLEMA Y DEFINICIÓN DEL OBJETIVO.
- B) OBTENCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN.

### 2.- FASE DE PREPARACION :

- C) FORMULACIÓN Y DISEÑO DEL MODELO.
- D) PRUEBAS DE CONSISTENCIA Y VERACIDAD DEL MODELO
- E) DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y PLAN DE SIMULACIÓN.

### 3.- FASE DE PRODUCCION :

- F) DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS DE SIMULACIÓN.
- G) ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS.
- H) REMODELACIÓN Y DEPURACIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN.

LOS PASOS ANTERIORES DEPENDEN DEL MODELO Y EL SISTEMA A SIMULAR, POR TANTO, NO SIEMPRE SE NECESITAN TODOS ESTOS PASOS.

## 1.2.- SIMULACION DE LA RED DE DISTRIBUCION ELECTRICA

PARA SIMULAR UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN LA PREDICCIÓN DE SUS DEMANDA SE REQUIERE DE LOS SIGUIENTES PASOS :

- I) SE ESTABLECE EL MODELO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO QUE PERMITA PREDECIR EN QUE AÑO

Y EN QUE LUGAR APARECERÁN CARGAS ELÉCTRICAS PUN--  
TUALES DEBIDO AL CRECIMIENTO NATURAL DE LA CARGA  
EN LA ZONA. POR ELLO, ES NECESARIO LLEVAR UN CON--  
TROL DEL CRECIMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DE LA  
CARGA. SE TOMAN LOS DATOS E INFORMACIÓN TALES CO--  
MO : LÍMITES DE ZONA, VOLTAJE DE OPERACIÓN, NÚME--  
RO Y CAPACIDAD DE CORRIENTE DE LOS ALIMENTADORES  
DE ALTA Y BAJA TENSIÓN, CANTIDAD Y CAPACIDAD DE --  
LOS TRANSFORMADORES, ESTRUCTURA DE ALTA Y BAJA --  
TENSIÓN, DEL ANTEPROYECTO DEFINIDO CON ANTERIORI--  
DAD. SE HACEN ESTUDIOS DE LA DENSIDAD DE CARGA Y  
TASA DE CRECIMIENTO DE LA CARGA.

- II) SE FORMULA EL MODELO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICO EN ESTUDIO, CONOCIENDO PREVIAMENTE EL --  
COMPORTAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN PARA DE--  
FINIR EL PROCESO BAJO UN CRITERIO PREDETERMINADO.  
EL MODELO DEBE SER SIMPLE Y PRECISO PARA QUE SE --  
CONSIDERE UNA ABSTRACCIÓN DEL SISTEMA FÍSICO REAL.  
SE VERIFICA EL AJUSTE DE LAS CURVAS DE LOS MODE--  
LOS QUE REPRESENTAN EL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA  
REAL CON LA DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA INICIAL.
  
- III) CON LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICAS  
INVOLUCRADAS EN EL MODELO DEL PASO 2, ES UN MUES--  
TREO ALEATORIO, EL CUAL, PERMITE HACER LA PREDIC--  
CIÓN DE LA DEMANDA PARA EL AÑO O LOS AÑOS EN ESTU--  
DIO. EN ESTE PASO SE HACEN VARIOS MUESTREOS ALEA--  
TORIOS, PARA DIFERENTES VALORES INICIALES, CON EL  
PROPÓSITO DE TENER UNA SIMULACIÓN LO MÁS PRÓXIMA  
A LA REALIDAD.

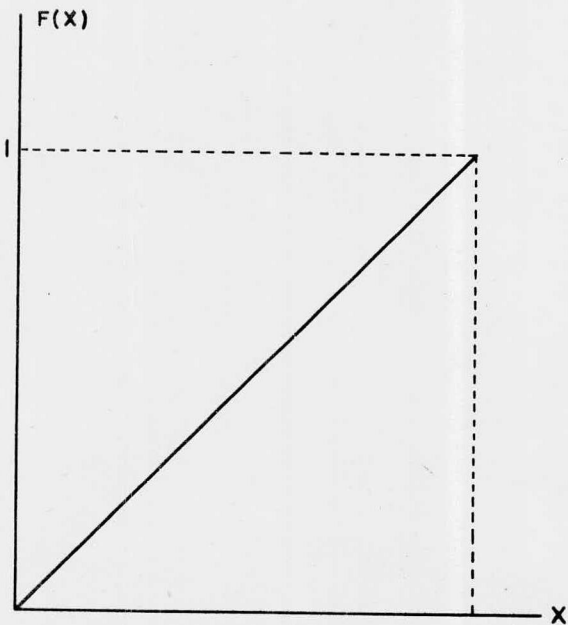


FIG. 2.1. **FPA** UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA.

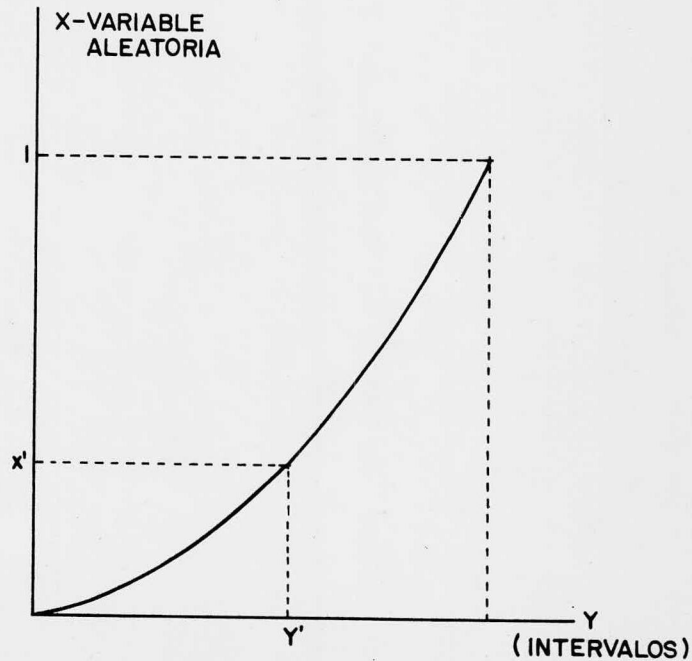


FIG. 2.2. MUESTREO ALEATORIO DE LA **FPA**.

## 2.- METODO DE MONTECARLO.

EN LO QUE SIGUE DE ESTE CAPÍTULO SE DESCRIBE EL MÉTODO DE MONTECARLO Y SU APLICACIÓN A LA PREDICCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN.

EL MÉTODO DE MONTECARLO ES UN MÉTODO DE SIMULACIÓN CON EL CUAL SE HACEN OBSERVACIONES ALEATORIAS A PARTIR DE UNA DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA, ES DECIR, SE APOYA EN LOS CONOCIMIENTOS QUE SE TIENEN DEL SISTEMA A SIMULAR, AUXILIÁNDOSE DE LA PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA MATEMÁTICA Y PROGRAMACIÓN DE COMPUTADORAS.

UNA POBLACIÓN CUALQUIERA PUEDE SER DESCRITA POR UNA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD ACUMULADA ( FPA ). SI SE DESEA OBTENER EN FORMA ALEATORIA CUALQUIER ELEMENTO QUE PERTENESCA A LA POBLACIÓN EN ESTUDIO SE PROCEDE DE LA SIGUIENTE MANERA :

- I) SE GRAFICA LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD ACUMULADA. ESTA ES UNA FUNCIÓN CONTÍNUA O DISCRETA, DONDE EL VALOR  $X$  DE UNA VARIABLE ALEATORIA  $X$  SE DISTRIBUYE UNIFORMEMENTE, ES DECIR,  $X$  TIENE LA MISMA PROBABILIDAD DE CAER EN UN INTERVALO DEFINIDO DE LA FPA. ESTA FUNCIÓN ES EXPRESADA POR LA SIGUIENTE ECUACIÓN :

$$P(x_1 \leq T) = F(T) \dots\dots (1)$$

LA ECUACIÓN (1) QUIERE DECIR, QUE EL VALOR DE LA FPA EN UN PUNTO  $T$  ES IGUAL A LA PROBABILIDAD DE QUE LA VARIABLE ALEATORIA  $X$  TOMA UN VALOR MENOR QUE  $T$ . LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA FPA PARA UNA DISTRIBUCIÓN UNIFORME SE MUESTRA EN LA FIG. 2.1

- II) SE OBTIENE UN NÚMERO AL AZAR ENTRE CERO Y UNO, CON TANTOS DECIMALES COMO SE DESEE. UN NÚMERO AL AZAR

SE PUEDE OBTENER MEDIANTE RELACIONES DE RECURRENCIA, LO CUAL CONSISTE EN OBTENER CUALQUIER NÚMERO DE UNA SUCESIÓN A PARTIR DEL NÚMERO ANTERIOR, POR EJEMPLO, SEA LA SUCESIÓN  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ , ENTONCES :

$$x_i = F(x_{i-1}) \dots \dots \dots (2)$$

PARA RESOLVER EL PUNTO II SE PROPONE EL MÉTODO CONGRUENCIAL MULTIPLICATIVO QUE GENERA NÚMEROS ALEATORIOS Y ES LO SIGUIENTE :

SE ELIGEN 4 PARÁMETROS PARA LA ECUACIÓN (2) :

- $x_0$  - VALOR INICIAL, MAYOR O IGUAL QUE CERO.
- A - MULTIPLICADOR, MAYOR O IGUAL QUE CERO.
- C - INCREMENTO, MAYOR O IGUAL QUE CERO.
- M - MÓDULO, MAYOR QUE A Y QUE CERO.

ENTONCES LA ECUACIÓN (2) DE RECURRENCIA PUEDE ESCRIBIRSE COMO :

$$x_{N+1} = ( Ax_N + c ) \text{ MOD } M \dots \dots \dots (3)$$

EN PALABRAS SIGNIFICA QUE EL ENÉSIMO NÚMERO DE LA SUCESIÓN  $x_{N+1}$  ES IGUAL AL RESIDUO QUE QUEDA AL DIVIDIR  $(Ax_N + c)$  ENTRE M. EL MÉTODO CONGRUENCIAL MULTIPLICATIVO PRODUCE SECUENCIAS CÍCLICAS Y SU UTILIDAD SERÁ MAYOR CUANTO MAYOR SEA LA LONGITUD DEL PERIODO, YA QUE TENDRÁ MAYOR CANTIDAD DE NÚMEROS ALEATORIOS ANTES DE QUE TERMINE EL CICLO, PARA LOGRAR ÉSTO LOS PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN (3) SE ELIGEN DE LA SIGUIENTE MANERA :

EL MÓDULO M SE CALCULA CON LA EXPRESIÓN :

$$M = p^E \dots \dots \dots (4)$$

DONDE :

P - ES LA BASE DEL SISTEMA DE NUMERACIÓN QUE EMPLEA LA COMPUTADORA.

E - ES EL NÚMERO DE DÍGITOS POR PALABRA QUE ACEPTA LA COMPUTADORA.

EL INCREMENTO C ES NULO. EL MULTIPLICADOR "A" SE ELIGE CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN :

$$A = 8T + 3 \dots\dots (5)$$

DONDE T ES CUALQUIER NÚMERO ENTERO POSITIVO. SIN EMBARGO, "A" DEBE SER EN ORDEN DE MAGNITUD COMPARABLE CON M. EL VALOR INICIAL  $x_0$  PUEDE TOMAR CUALQUIER NÚMERO ENTERO IMPAR. CON ESTA ELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS EL MÉTODO SE VUELVE MÁS EFICIENTE.

III) EL NÚMERO AL AZAR DEL PUNTO II SE LOCALIZA EN EL EJE DE LAS ORDENADAS Y SE PROYECTA HORIZONTALMENTE HASTA CORTAR EN UN PUNTO A LA FUNCIÓN PROYECTÁNDOLO A SU VEZ SOBRE EL EJE DE LAS ABCISAS, EN DONDE SE PODRÁ LEER EL VALOR  $y'$  DE LA MUESTRA O POBLACIÓN, COMO PUEDE OBSERVARSE EN LA FIG. 2-2.

### 3.- TASA DE CRECIMIENTO DE LA DEMANDA.

COMO DATOS ESTADÍSTICOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SE TIENEN LAS DEMANDAS DE LA ZONA PARA N AÑOS EN EL PASADO, LAS CUALES SE OBTIENEN DE LAS PRUEBAS DE CARGA Y VOLTAJE REALIZADAS EN DICIEMBRE DE CADA AÑO. ÉSTAS DEMANDAS SE UTILIZAN COMO PUNTOS PARA APROXIMAR UNA CURVA QUE MODELE EL CRECIMIENTO DE LA CARGA EN LA ZONA. LA CURVA ES DE LA FORMA :

$$Y = A e^{BX} \dots\dots\dots (6)$$

$$B = \frac{\sum X_I \text{ LN } Y_I - (1/N) (\sum X_I) (\sum \text{LN } Y_I)}{\sum X_I^2 - (1/N) (\sum X_I)^2} \dots\dots\dots (6.A)$$

$$A = e^{((\sum \text{LN } Y_I / N) - B (\sum X_I / N))} \dots\dots\dots (6.B)$$

DONDE :

$X_I$  - ES EL VALOR DE LOS AÑOS PARA LOS CUALES SE TIENE SU DEMANDA.

$Y_I$  - ES EL VALOR DE LAS DEMANDAS PARA LOS AÑOS  $X_I$  EN KVA.

SU REPRESENTACIÓN GRÁFICA SE MUESTRA EN LA FIG. 2.3., LA ECUACIÓN (6) PARA UN CASO PARTICULAR PERMITE OBTENER LAS DEMANDAS EN LOS AÑOS SIGUIENTES AL ÚLTIMO DATO DE DEMANDA EN LA RED HASTA INTERCEPTARSE CON LA RECTA DE CAPACIDAD FIRME DEL BANCO DE LA SUBESTACIÓN.

#### 4.- MODELO PARA EL NUMERO DE SUBESTACIONES POR AÑO.

EL MODELO DEL NÚMERO DE SUBESTACIONES POR AÑO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN FUTURA, SE CONSTRUYE EN BASE A LOS AUMENTOS DE CARGA QUE HA HABIDO EN LA ZONA DURANTE LOS ÚLTIMOS AÑOS ( ENTRE 4 Y 6 AÑOS ). SE TABULA UNA TABLA QUE INDIQUE PARA CADA AÑO EL NÚMERO DE SUBESTACIONES QUE HAN APARECIDO Y SU CAPACIDAD, LUEGO SE CLASIFICA EL NÚMERO DE SUBESTACIONES POR AÑO, OBTENIÉNDOSE ASÍ SU FRECUENCIA, POSTERIORMENTE SE CALCULA LA FRECUENCIA RELATIVA ( $P_I$ ) CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN :

$$P_I = N_I / N \dots\dots\dots (7)$$



CURVA DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE DEMANDA

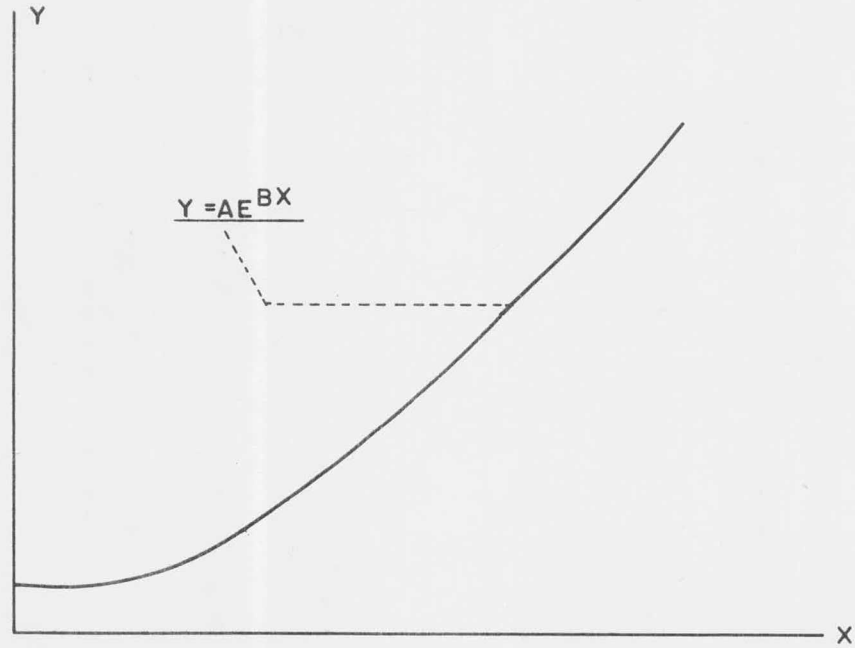


FIG.2.3.

DONDE :

- $N_I$  - ES LA FRECUENCIA DE LAS SUBESTACIONES CLASIFICADAS.
- $N$  - ES LA MUESTRA DE LAS SUBESTACIONES QUE HAN APARECIDO.
- $P_I$  - ES LA FRECUENCIA RELATIVA.

ENSEGUIDA SE OBTIENEN LAS FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS ( FRA ) DE ACUERDO CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN :

$$\sum_{I=1}^K P_I = 1 \dots\dots\dots (8)$$

DE LAS ECUACIONES (7) Y (8) SE OBSERVA QUE CADA PROBABILIDAD RELATIVA  $P_I$  ES UN INTERVALO DEL ESPACIO MUESTRA EN DONDE QUE DAN CLASIFICADOS LOS VALORES  $N_I$ .

SE VUELVE A TABULAR UNA TABLA QUE CONTENGA LA FRA Y LAS  $P_I$ . LA FUNCIÓN DE FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA SE OBTIENE APROXIMANDO A UNA RECTA LOS DATOS OBTENIDOS DE ESTA TABLA. SU REPRESENTACIÓN GRÁFICA SE MUESTRA EN LA FIG. 2.4. Y SU ECUACIÓN ES DE LA SIGUIENTE FORMA :

$$Y = AX \dots\dots\dots (9)$$

DONDE :

- $Y$  - ES EL NÚMERO DE SUBESTACIONES POR AÑO.
- $X$  - ES LA FRA ( VARIABLE ALEATORIA ),
- $A$  - ES EL NÚMERO DE INTERVALOS DE LA MUESTRA.

SE DEBERÁ HACER EL AJUSTE DE LA CURVA DE LA ECUACIÓN (9) - PARA CADA CASO PARTICULAR CON EL OBJETO DE TENER LA CERTEZA DE UNA BUENA APROXIMACIÓN DE DICHA FUNCIÓN.

# GRAFICA DE MODELO PARA EL N° SE/AÑO

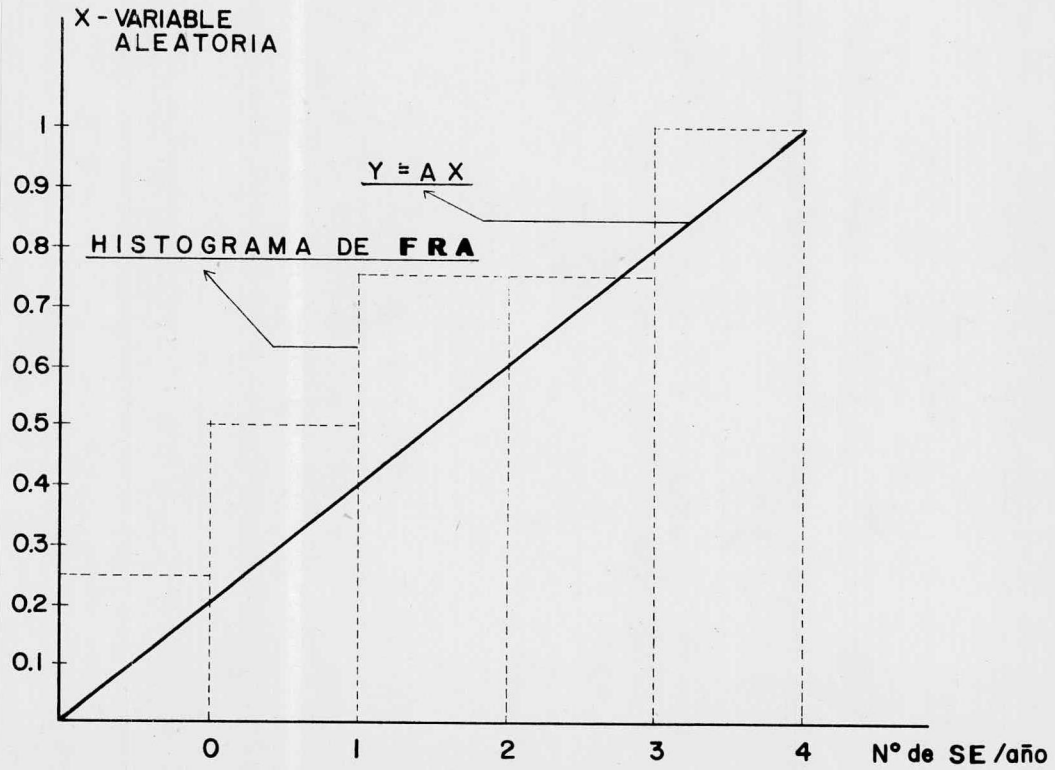


FIG. 2.4.

5.- MODELO PARA LOS LOTES DISPONIBLES.

PARA OBTENER ESTE MODELO ES NECESARIO CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN FUTURA Y CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE LOS LOTES QUE SON PUNTOS POTENCIALES PARA AUMENTOS DE CARGA. LOS LOTES DISPONIBLES SE PUEDEN CLASIFICAR EN :

- A) ESTACIONAMIENTOS PRIVADOS.
- B) ESTACIONAMIENTOS PÚBLICOS.
- C) TALLERES MECÁNICOS.
- D) EDIFICIOS EN RUINAS.
- E) LOTES BALDÍOS.
- F) EDIFICIOS EN CONSTRUCCIÓN.

A CADA CLASIFICACIÓN DE LOS LOTES DISPONIBLES SE LES ASIGNA UN PESO PROBABILÍSTICO, DE ACUERDO A LA DISPONIBILIDAD QUE SE TIENE DE ELLOS PARA CONSTRUIR EDIFICIOS QUE PUDIERAN DEMANDAR -- UNA CARGA FUERTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA, LA CUAL SERÁ SUMINISTRADA POR LAS SUBESTACIONES.

SE TABULA UNA TABLA QUE CONTENGA EL PESO PROBABILÍSTICO DE SIGNADO A CADA TIPO DE LOTE DISPONIBLE, INTERVALO,  $P_I$  Y FRA APLICANDO LAS ECUACIONES (7) Y (8). CON ESTOS DATOS SE APROXIMA UNA FUNCIÓN DE FRA COMO MODELO PARA LOS LOTES DISPONIBLES. LA FUNCIÓN ES DE LA SIGUIENTE FORMA :

$$Y = AX^B \dots\dots (10)$$

$$B = \frac{\sum(\ln X_I) (\ln Y_I) - ((\sum \ln X_I) (\sum \ln Y_I)/N)}{\sum(\ln X_I)^2 - ((\sum \ln X_I)^2/N)} \dots\dots (10.A)$$

$$A = E \frac{(((\sum \ln Y_I)/N) - B((\sum \ln X_I)/N))}{\dots\dots (10.B)}$$

GRAFICA DEL MODELO PARA  
LOTES DISPONIBLES

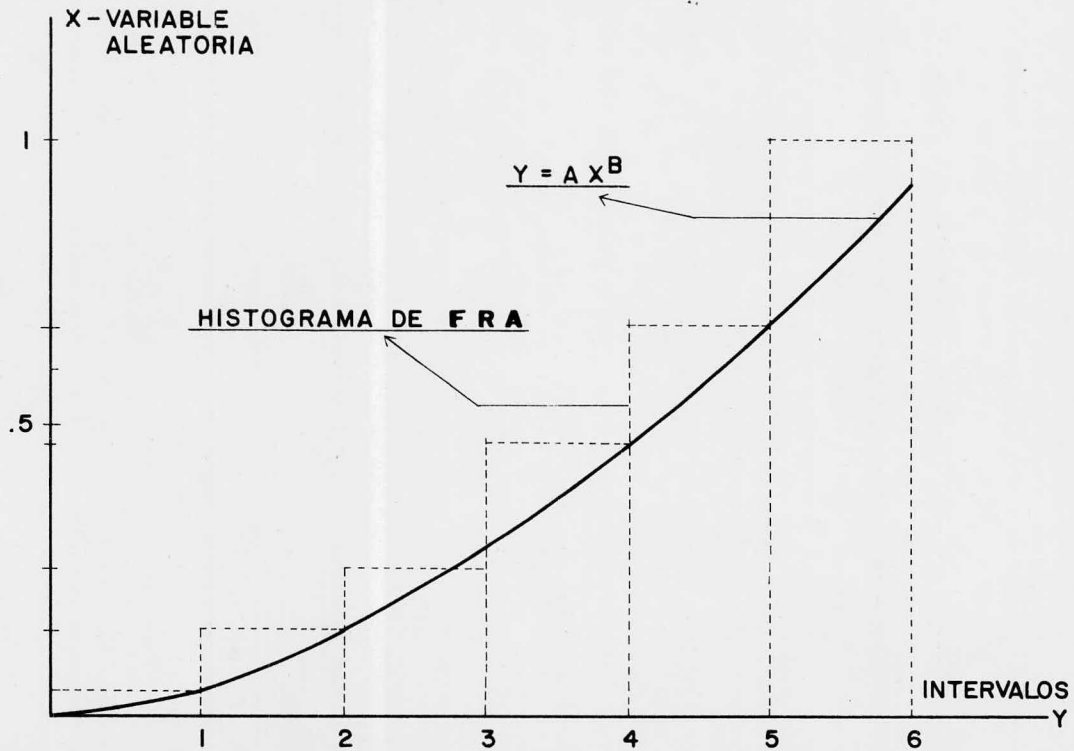


FIG. 2.5

DONDE :

Y - ES EL INTERVALO DE TIPO DE LOTE DISPONIBLE.

X - ES LA FRA ( VARIABLE ALEATORIA );

N - ES EL NÚMERO DE PARES DE X Y Y.

SE HACE EL AJUSTE DE LA ECUACIÓN (10) CON EL PROPÓSITO DE OBSERVAR EL ERROR OCACIONANDO EN DICHA APROXIMACIÓN, COMPARANDO Y REAL Y Y CALCULADA. LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA SE MUESTRA EN - LA FIG. 2:5.

## 6.- MODELO PARA LA CAPACIDAD DE LAS SUBESTACIONES:

EL MODELO DE CAPACIDAD DE LAS SUBESTACIONES ES CONSTRUIDO EN BASE AL TOTAL DE SUBESTACIONES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN ESTUDIO, ASÍ COMO TODOS LOS EVENTOS POSIBLES DE LAS CAPACIDADES DE SUBESTACIONES.

PARA CONSTRUIR EL MODELO QUE REPRESENTA LA CAPACIDAD DE LAS SUBESTACIONES SE OBTIENEN LAS  $P_I$  Y LAS FRA PARA CADA CAPACIDAD PROBABLE DE SUBESTACIÓN, HACIENDO USO DE LAS ECUACIONES (7) Y (8). LOS DATOS ESTADÍSTICOS Y CÁLCULOS SE RESUMEN EN UNA TABLA QUE CONTENGA: EL INTERVALO, LA CAPACIDAD, LA FRECUENCIA, LA  $P_I$  Y LA FRA. CON ESTOS DATOS ES POSIBLE PASAR DE LA DISTRIBUCIÓN DISCRETA A UNA DISTRIBUCIÓN CONTÍNUA PARA SER UTILIZADA POR EL PROGRAMA DE COMPUTADORA.

LA APROXIMACIÓN DE LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN CONTÍNUA CONOCIENDO LOS INTERVALOS Y SU FRA SE HACE POR EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS APROXIMANDO UNA FUNCIÓN POLINOMIAL DE LA FORMA :

$$F(x) = D_0 + D_1x + D_2x^2 + D_3x^3 + D_4x^4 \dots\dots\dots(11)$$

GRAFICA DEL MODELO PARA LA  
CAPACIDAD DE S.E.

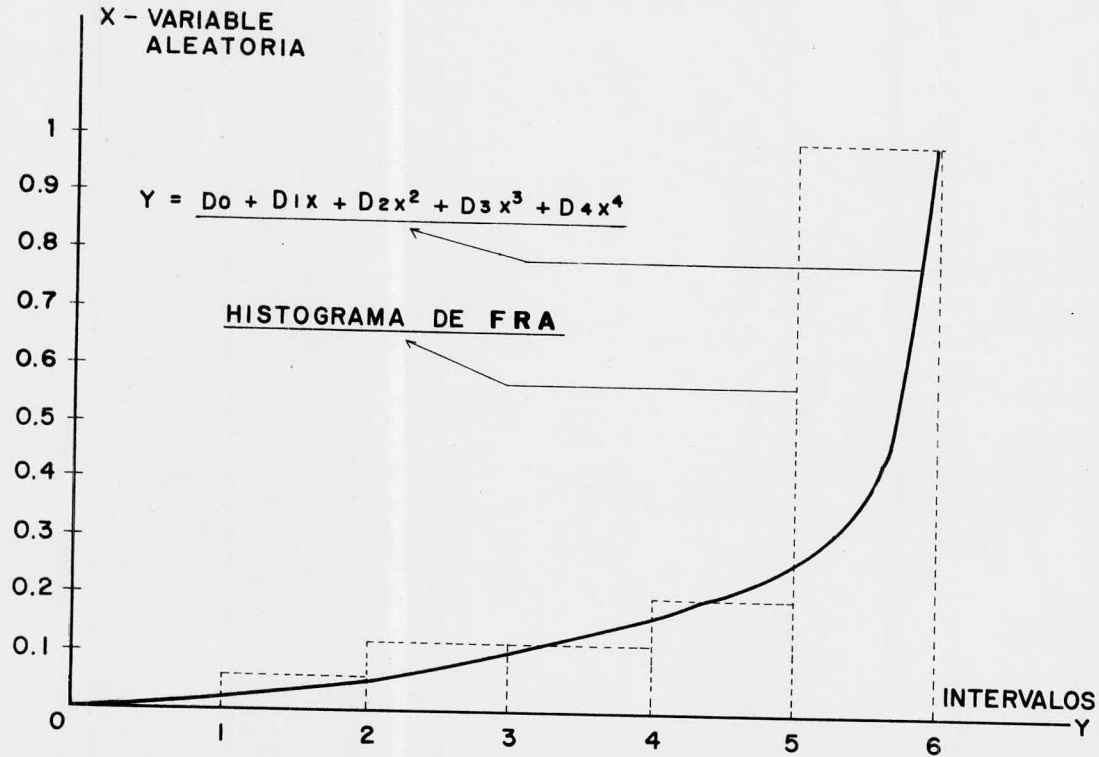


FIG. 2.6

SE HACE EL AJUSTE DE LA CURVA DE LA ECUACIÓN (11) PARA VER EL ERROR OCASIONADO EN LA APROXIMACIÓN, DE LA MISMA FORMA EN QUE SE REALIZÓ EN LAS PARTES (4) Y (5) DE ESTE CAPÍTULO. - LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ECUACIÓN (11) SE MUESTRA EN - LA FIG. 2-6.

#### 7.- ALGORITMO DEL PRONOSTICO DE LA DEMANDA USADO EN UN PROGRAMA DE COMPUTADORA.

EL ALGORITMO DE LA SIMULACIÓN DE LA APARICIÓN DE CARGAS DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN, UTILIZANDO EL MÉTODO DE MONTECARLO ES MOSTRADO EN EL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FIG. 2.7.



## DIAGRAMA DE FLUJO DEL PRONOSTICO DE DEMANDA

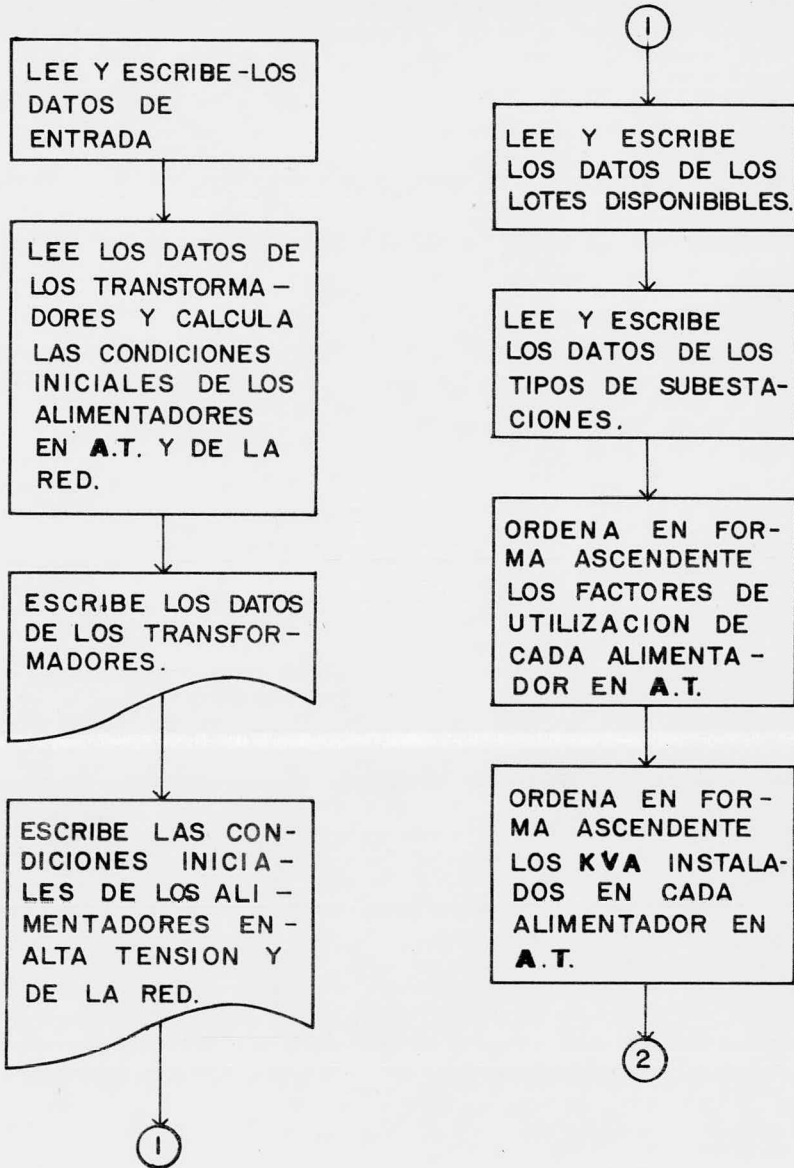


FIG. 2.7

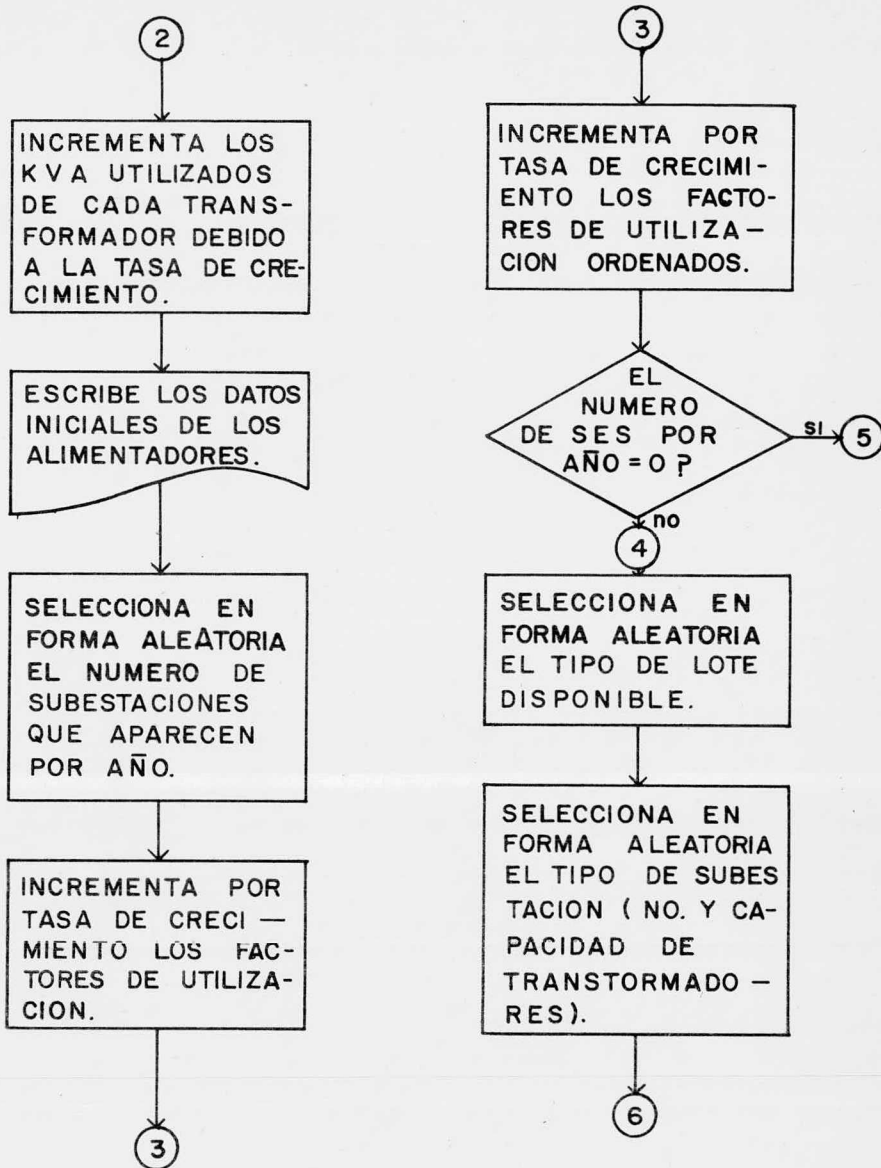


FIG.2.7. CONT.

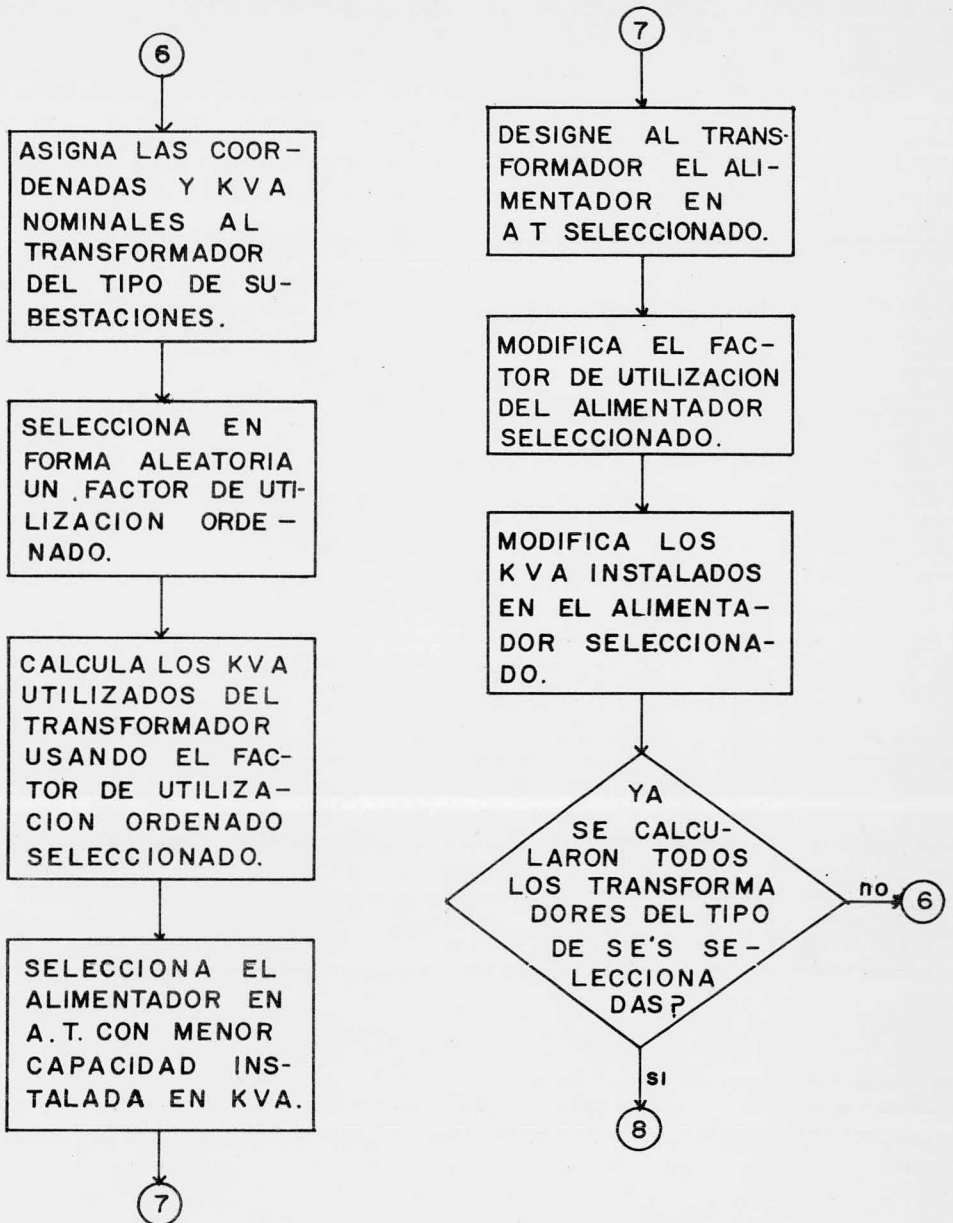


FIG. 2.7. CONT.

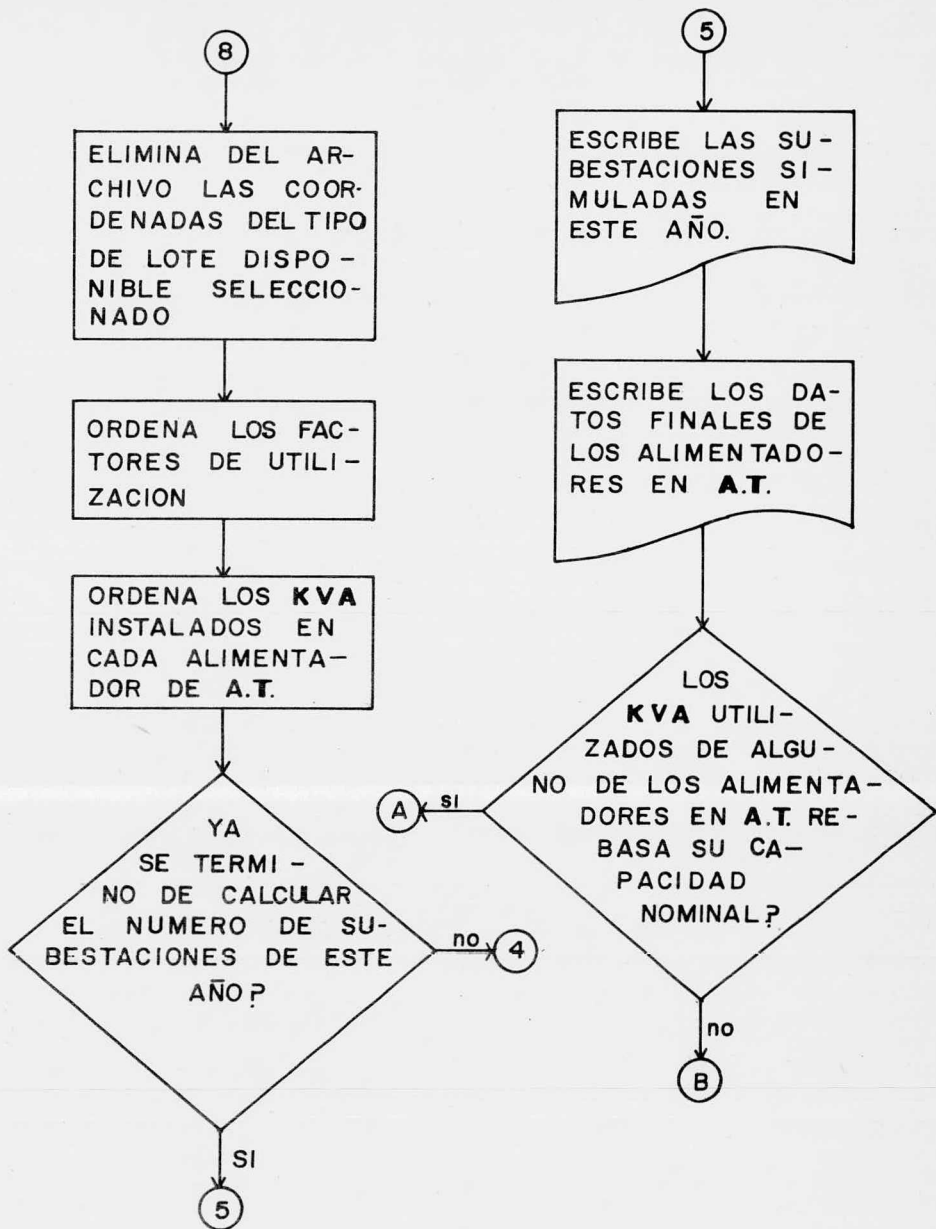


FIG. 2.7. CONT.

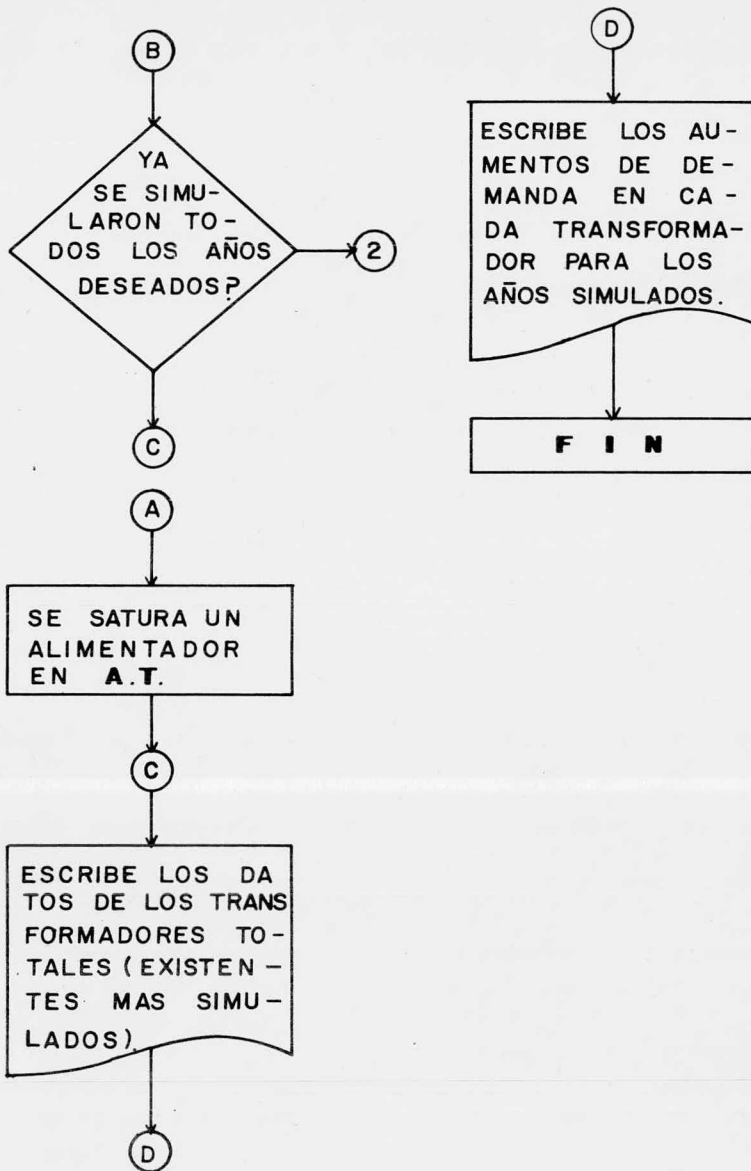


FIG. 2.7. CONT.

## C A P I T U L O    I I I

### ALGORITMO DE DIJKSTRA Y DE TRANSPORTE PARA LA LOCALIZACION DE SUBESTACIONES

#### 1.- ALGORITMO DE DIJKSTRA ( DISTANCIA MINIMA ).

ESTE ALGORITMO TRATA EL PROBLEMA FUNDAMENTAL DE LA TEORÍA DE REDES, ÉSTO ES, ENCONTRAR LA DISTANCIA MÍNIMA EN UNA RED, DADO UN NODO INICIAL A OTRO NODO. ESTE PROBLEMA PRESENTA MUY FRECUENTEMENTE COMO UN SUBPROBLEMA DE LOS PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN.

TODO ARCO  $A_{IJ}$  DE UNA RED, TIENE ASOCIADA UNA DISTANCIA --  $D_{IJ}$ . EL PROBLEMA ES ENCONTRAR UNA RUTA DE UN NODO  $N_S$  A UN NODO  $N_T$  EN EL CUAL, LAS SUMAS DE LAS DISTANCIAS DE TODOS LOS ARCOS DE ESA RUTA SEA LA MÍNIMA.

#### 2.- DESCRIPCION DEL ALGORITMO.

PRIMERO SE DEBE SUPONER QUE TODAS LAS DISTANCIAS  $D_{IJ}$  SON POSITIVAS Y SI UN PAR DE NODOS NO ESTÁ CONECTADO POR UN ARCO, LA DISTANCIA ENTRE ESE PAR SE DEFINE COMO INFINITO. ASÍ MISMO, LAS DISTANCIAS SON ARBITRARIAS Y NO NECESARIAMENTE DEBEN SATISFACER LA DESIGUALDAD  $D_{IJ} + D_{JK} \geq D_{IK}$ . TAMBIÉN SE SUPONE QUE LAS DISTANCIAS  $D_{IJ}$  SON IGUALES A LAS DISTANCIAS  $D_{JI}$ .

EN LUGAR DE ENCONTRAR LA DISTANCIA MÍNIMA DE  $N_S$  A  $N_T$  SE ENCONTRARÁ LA DISTANCIA MÍNIMA DE  $N_S$  A LOS DEMÁS NODOS QUE COMPONEN LA RED. LA RAZÓN POR LA CUAL SE HACE ÉSTO, ES QUE CUALQUIER NODO  $N_C$  PUEDE SER UN NODO INTERMEDIO, SOBRE LA RUTA DE DISTANCIA MÍNIMA ENTRE  $N_S$  Y  $N_T$ , SI UN NODO  $N_I$  ESTÁ SOBRE LA RUTA DE DISTANCIA MÍNIMA DE  $N_S$  A  $N_T$ , ENTONCES LA SUBRUTA DE  $N_S$  A  $N_I$  DEBE SER LA DISTANCIA MÍNIMA  $N_S$  A  $N_I$ .

SI SE CONSIDERAN TODOS LOS ARCOS, USADOS EN TODAS LAS DISTANCIAS MÍNIMAS DE  $N_S$  A  $N_I$ , ÉSTOS FORMARÁN UNA GRÁFICA. SE DEBE ELIMINAR DE LA GRÁFICA TANTOS ARCOS COMO SEA POSIBLE Y SOLO MANTENER UNA RUTA DE  $N_S$  A TODOS LOS NODOS  $N_I$ . ( SI EXISTE UNA SOLA DISTANCIA MÍNIMA DE  $N_S$  A TODOS LOS NODOS  $N_I$ , ENTONCES NO ES POSIBLE LA ELIMINACIÓN ). SI EXISTEN DOS DISTANCIAS MÍNIMAS DE  $N_S$  A  $N_I$ , ENTONCES ALGUNOS ARCOS SOBRE UNA DE LAS RUTAS A  $N_I$  PUEDE SER ELIMINADO. LA GRÁFICA RESULTANTE DESPUÉS DE ELIMINAR NODOS FORMA UN ÁRBOL. POR LO TANTO, SI  $A_{IJ}$  ES UN ARCO EN EL ÁRBOL, LA DISTANCIA MÍNIMA DE  $N_I$  A  $N_J$  SERÁ EL MISMO ARCO  $A_{IJ}$ .

ENTONCES COMO SE HA DICHO ANTERIORMENTE, SE QUIERE OBTENER UN ÁRBOL, EL CUAL CONTENGA LA DISTANCIA MÍNIMA DEL NODO  $N_S$  A TODOS LOS DEMÁS NODOS DE LA RED. UNA VEZ QUE SE HA OBTENIDO EL ÁRBOL, LA DISTANCIA MÍNIMA CONSISTE DE LAS SUMAS DE LAS DISTANCIAS, ASOCIADAS A LOS ARCOS QUE PERTENECEN AL ÁRBOL. SE DEBE CONSIDERAR QUE TODOS LOS ARCOS NO PERTENECEN AL ÁRBOL Y LO QUE HACE EL ALGORITMO ES IR INCREMENTANDO EL NÚMERO DE ARCOS PERTENECIENTES AL ÁRBOL, DESDE CERO HASTA  $n-1$ , DONDE  $n$  ES EL NÚMERO DE NODOS EN LA RED.

EN EL INICIO,  $N_S$  DEBE SER UN NODO DEL ÁRBOL; LUEGO SE SUPONE QUE SE TIENEN  $m$  ARCOS DEL ÁRBOL ( $m = 0, 1, 2, \dots, n-2$ ). SEA  $L_{SK}$  LA DISTANCIA MÍNIMA DE  $N_S$  A  $N_K$ , USANDO ARCOS DEL ÁRBOL Y CUANDO MÁS UN ARCO QUE NO PERTENECE AL ÁRBOL. SI TODAS LAS DISTANCIAS DE  $N_S$  A  $N_K$  NECESITAN MÁS DE UN ARCO QUE NO PERTENECE AL ÁRBOL, ENTONCES  $L'_{SK}$  ES IGUAL A INFINITO. EN GENERAL  $L'_{SK}$  ES MAYOR O IGUAL QUE  $L_{SK}$ . SE SUPONE QUE SE HA OBTENIDO PARTE DEL ÁRBOL Y SE HAN CONSIDERADO TODOS LOS NODOS ADYACENTES DEL ÁRBOL.  $N_K$  ES UN NODO VECINO DEL ÁRBOL, SI EXISTE UN ARCO  $A_{IK}$  Ó  $A_{KI}$  DONDE  $N_I$  ES CUALQUIER NODO DEL ÁRBOL. PARA LOS NODOS ADYACENTES  $N_K$ , SE OBTIENE :

$$L'_{SK} = \min_I (L_{SI} + D_{IK}) \dots (1)$$

AHORA SI SE HACE :

$$L'_{SR} = \min_K L'_{SK} \dots (2)$$

ENTONCES :

$$L'_{SR} = L_{SR} = L_{SI} + D_{IR} \dots (3)$$

Y EL ARCO  $A_{IR}$  DEBERÁ SER CONSIDERADO COMO ARCO DEL ÁRBOL. ESTO SE OBSERVA COMO SIGUE :

COMO  $L'_{SR}$  ES MENOR O IGUAL QUE  $L'_{SK}$  CUALQUIER DISTANCIA HACIA R - PASANDO POR K DEBERÁ TENER UNA DISTANCIA MÁS GRANDES QUE  $L'_{SK}$ , - POR TANTO, ES MÁS GRANDE QUE  $L_{SR}$ . ENTONCES  $N_K$  REPRESENTA TODOS LOS NODOS ADYACENTES AL ÁRBOL, CUALQUIER DISTANCIA DE  $N_S$  A  $N_R$ , SI NO PERTENECE COMPLETAMENTE AL ÁRBOL, PRIMERO CONTENDRÁ UN NO DO QUE NO PERTENECE AL ÁRBOL, EL CUAL, ES  $N_K$ .

COMO EL NÚMERO DE ARCOS QUE PERTENECEN AL ÁRBOL ES INCREMENTADO EN UNO, SE TIENE QUE VOLVER A CALCULAR  $L'_{SK}$  PARA TODOS LOS NODOS ADYACENTES DEL NUEVO ÁRBOL.

SE COMPARA LA  $L'_{SK}$  OBTENIDA ANTERIORMENTE CON  $L_{SR} + D_{RK}$ . SI  $L_{SR}$  ES MÁS PEQUEÑA, ENTONCES  $L'_{SK}$  ES REMPLAZADA POR EL MENOR VALOR. SI  $L_{SR} + D_{RK}$  ES MÁS GRANDE,  $L'_{SK}$  PERMANECE SIN CAMBIO.

LO ANTERIOR SE PUEDE INDICAR SIMBÓLICAMENTE POR :

$$L'_{SK} = \min (L'_{SK}, L_{SR} + D_{RK}) \dots (4)$$

DONDE EL SIGNO = SIGNIFICA SER REEMPLAZADO POR.

DE UNA FORMA BREVE SE PUEDE RESUMIR EL ALGORITMO DE LA SIGUIENTE MANERA :



PASO 0.-  $L'_{SK} = D_{SK}$ . AL INICIAR  $N_S$  ES EL ÚNICO NODO EN EL ÁRBOL Y PARA EL PASO 1, SE HACE  $L_{SS} = 0$ .

PASO 1.-  $L_{SR} = \min L'_{SK} = L_{SJ} + D_{JR}$ . LOS  $N_K$  SON LOS NODOS ADYACENTES DEL ÁRBOL.

PASO 2.- INCLUIR EN EL ÁRBOL EL ARCO  $A_{JR}$ .

PASO 3.- SI EL NÚMERO DE ARCOS DEL ÁRBOL ES  $n-1$ , SE TERMINA EL PROCESO, EN CASO CONTRARIO, SEGUIR CON EL PASO 4.

PASO 4.-  $L'_{SK} = \min (L'_{SK}, L_{SR} + D_{RK})$ . REGRESAR AL PASO 1.

ESTE ALGORITMO SE DEBE CONducIR A TRAVÉS DE ETIQUETADO DE NODOS. CADA NODO  $N_K$  RECIBIRÁ UNA ETIQUETA DEL TIPO  $(L, I)$ . - LA PRIMERA PARTE DE LA ETIQUETA ES EL VALOR DE  $L'_{SK}$  O  $L_{SK}$  Y LA SEGUNDA PARTE DE LA ETIQUETA INDICA EL ÚLTIMO NODO QUE ESTÁ SOBRE LA DISTANCIA MÍNIMA DE  $N_S$  A  $N_K$ . SI LA ETIQUETA ES  $(L'_{SK}, I)$  SE LE LLAMA ETIQUETA TEMPORAL Y SI ES  $(L_{SK}, I)$  SE LE LLAMA ETIQUETA PERMANENTE. AL PRINCIPIO,  $N_K$  SON LOS NODOS VECINOS A  $N_S$ . ENTONCES TODOS LOS NODOS  $N_K$  TIENEN ETIQUETA  $(D_{SF}, S)$  Y  $L_{SR}$  ES EL  $\min_K L'_{SK}$ . ENTONCES  $(L'_{SK}, S) = (L_{SR}, S)$  Y SE VUELVE UNA ETIQUETA PERMANENTE.  $N_R$  ES EL ÚLTIMO NODO QUE HA SIDO INCLUIDO AL ÁRBOL Y  $N_K$  ES EL CONJUNTO DE NODOS ADYACENTES AL ÁRBOL. SE CUENTA EL NÚMERO DE ADICIONES Y COMPARACIONES NECESARIAS PARA COMPLETAR EL ALGORITMO, USANDO EL REEMPLAZO DE LA EXPRESIÓN (4).

SE NECESITAN CUANDO MÁS  $n$  ADICIONES EN (4). SOBRE EL LADO DERECHO SE NECESITAN  $n$  COMPARACIONES Y DEL OTRO LADO SE NECESITAN OTRAS  $n$  COMPARACIONES PARA HACER UNA ETIQUETA PERMANENTE, COMO TENEMOS  $n$  NODOS, SE NECESITAN CUANDO MÁS  $3n^2$  OPERACIONES.

### 3.- ALGORITMO DE TRANSPORTE.

EL PROBLEMA DE TRANSPORTE CONSISTE EN ENVIAR CIERTOS ARTÍCULOS DESDE M PUNTOS DE DESPACHO LLAMADOS ORÍGENES, HACIA N DESTINOS. EN EL I-ÉSIMO ORIGEN SE TIENE  $A_I$  UNIDADES DE LOS ARTÍCULOS (  $I = 1,2,3,\dots,M$  ) Y EL J-ÉSIMO DESTINO DEBE RECIBIR  $B_J$  UNIDADES DEL ARTÍCULO (  $J = 1,2,3,\dots,N$  ). SE SUPONE QUE :

$$\sum_{I=1}^M A_I = \sum_{J=1}^N B_J$$

SE REQUIERE PLANEAR LA OPERACIÓN DE TRANSPORTE DE LOS ARTÍCULOS EN TAL FORMA QUE EL COSTO SEA MÍNIMO.

SI  $X_{IJ}$  ES EL NÚMERO DE UNIDADES DE LOS ARTÍCULOS LLEVADOS DEL I-ÉSIMO ORIGEN AL J-ÉSIMO DESTINO, EL PROBLEMA SE REDUCE MATEMÁTICAMENTE A ENCONTRAR LAS CANTIDADES  $X_{IJ}$  NO NEGATIVAS QUE SASTIFAGAN LAS IGUALDADES SIGUIENTES :

$$\sum_{J=1}^N X_{IJ} = A_I \quad (I = 1,2, \dots, M)$$

$$\sum_{I=1}^M X_{IJ} = B_J \quad (J = 1,2, \dots, N)$$

$$X_{IJ} \geq 0$$

PARA EL CUAL SE MINIMICE EL COSTO DE TRANSPORTE :

$$C = \sum_{I=1}^M \sum_{J=1}^N C_{IJ} X_{IJ}$$

DONDE  $C_{IJ}$  ES EL COSTO UNITARIO DE TRANSPORTE, AL LLEVAR LOS ARTÍCULOS DEL I-ÉSIMO ORIGEN AL J-ÉSIMO DESTINO.

#### 4.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

UN PROBLEMA GENERAL DE TRANSPORTE RESPECTO AL COSTO, -- PUEDE FORMULARSE DE LA MANERA SIGUIENTE : SEAN  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$  EL NÚMERO DE UNIDADES DE UN CIERTO ARTÍCULO EN CADA UNO DE LOS M ORIGENES Y SEAN  $B_1, B_2, B_3, \dots, B_N$  EL NÚMERO DE UNIDADES REQUERIDAS EN CADA UNO DE LOS N DESTINOS. COMO SE DIJO, SEA  $X_{IJ}$  EL NÚMERO DE UNIDADES DEL ARTÍCULO A TRANSPORTAR DEL I-ÉSIMO ORIGEN AL J-ÉSIMO DESTINO. PARA SIMPLIFICAR SE SUPONE QUE LA CANTIDAD TOTAL DISPONIBLE ES IGUAL A LA CANTIDAD TOTAL REQUERIDA, ES DECIR :

$$\sum_{I=1}^M A_I = \sum_{J=1}^N B_J \quad \dots\dots\dots(5)$$

UNA SOLUCIÓN A ESTE PROBLEMA ES LA MATRIZ  $X = [X_{IJ}]$  M X N CON ELEMENTOS NO NEGATIVOS  $X_{IJ} \geq 0$  QUE SATISFAGAN LAS CONDICIONES :

$$\sum_{I=1}^M X_{IJ} = A_I \quad ( I = 1, 2, 3, \dots, M ) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\sum_{J=1}^N X_{IJ} = B_J \quad ( J = 1, 2, 3, \dots, N ) \quad \dots\dots\dots(7)$$

LA CONDICIÓN (6) ESTABLECE QUE SE DEBE TRASLADAR TODO EL MATERIAL DEL I-ÉSIMO ORIGEN Y LA CONDICIÓN (7) ESTABLECE QUE TODO EL MATERIAL REQUERIDO HAY QUE LLEVARLO AL J-ÉSIMO DESTINO.- ENTONCES EL PROBLEMA CONSISTE EN DETERMINAR UNA SOLUCIÓN NO NEGATIVA DE  $X=[X_{IJ}]$  PARA EL CUAL EL COSTO TOTAL DE TRANSPORTE ES :

$$C = \sum_{I=1}^M \sum_{J=1}^N C_{IJ} X_{IJ} \dots\dots\dots(8)$$

PARA EJEMPLIFICAR LO ANTERIOR, SE CONSIDERA EL SIGUIENTE PROBLEMA :

	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	A <sub>I</sub>
O <sub>1</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	10
O <sub>2</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>	X <sub>25</sub>	12
O <sub>3</sub>	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>34</sub>	X <sub>35</sub>	5
O <sub>4</sub>	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>	X <sub>44</sub>	X <sub>45</sub>	10
B <sub>J</sub>	6	8	3	9	11	

LA MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS C<sub>IJ</sub> ES :

	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
O <sub>1</sub>	4	2	5	5	1
O <sub>2</sub>	2	1	4	1	4
O <sub>3</sub>	3	4	1	2	1
O <sub>4</sub>	2	2	3	4	2

SE DESEA ENCONTRAR UNA MATRIZ X = [X<sub>IJ</sub>] 4 x 5 CON ELEMEN-

TOS NO NEGATIVOS QUE SATISFAGAN LAS CONDICIONES (6) Y (7).

PRIMERO SE ENCUENTRA LA MATRIZ DE ENVÍOS  $X = [X_{IJ}] 4 \times 5$   $X_{IJ} \geq 0$  QUE SATISFAGA LAS CONDICIONES (6) Y (7) AÚN CUANDO EL COSTO TOTAL DE TRANSPORTE NO SEA EL MÍNIMO. ES DECIR, DEBEMOS INICIAR CON UNA SOLUCIÓN BÁSICA FACTIBLE, QUE PUEDE SER ENCON-- TRADA POR VARIOS MÉTODOS, UNO DE ELLOS ES EL DEL EXTREMO NOROES-- TE, SU DIAGRAMA DE FLUJO SE DA EN LA FIG. 3.1.

5.- METODO DEL EXTREMO NOROESTE.

ESTE MÉTODO CONSISTE EN ASIGNAR EL MÁXIMO POSIBLE DE UNIDADES  $A_1$ , A  $B_1$ , SI QUEDAN DISPONIBILIDADES DE  $A_1$ , ES DECIR, SI  $\sum_{J=1}^5 X_{IJ} < A_1$  SE ASIGNA EL MÁXIMO POSIBLE A  $B_2$ , HASTA QUE LA -- IGUALDAD  $\sum_{J=1}^5 X_{IJ} = A_1$  SE CUMPLA, POSTERIORMENTE SE PASA A  $A_2$  Y -- ASÍ SUCESIVAMENTE. APLICANDO ESTE MÉTODO, EL EJEMPLO QUEDA :

	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$A_1$
$O_1$	6	4				10
$O_2$		4	3	5		12
$O_3$				4	1	5
$O_4$					10	10
$B_J$	6	8	3	9	11	

SE PUEDE OBSERVAR QUE ESTA PRIMERA SOLUCIÓN CUMPLE CON LAS CONDICIONES (6) Y (7), AÚN CUANDO EL COSTO TOTAL NO SEA EL MÍNIMO.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DEL EXTREMO NOROESTE

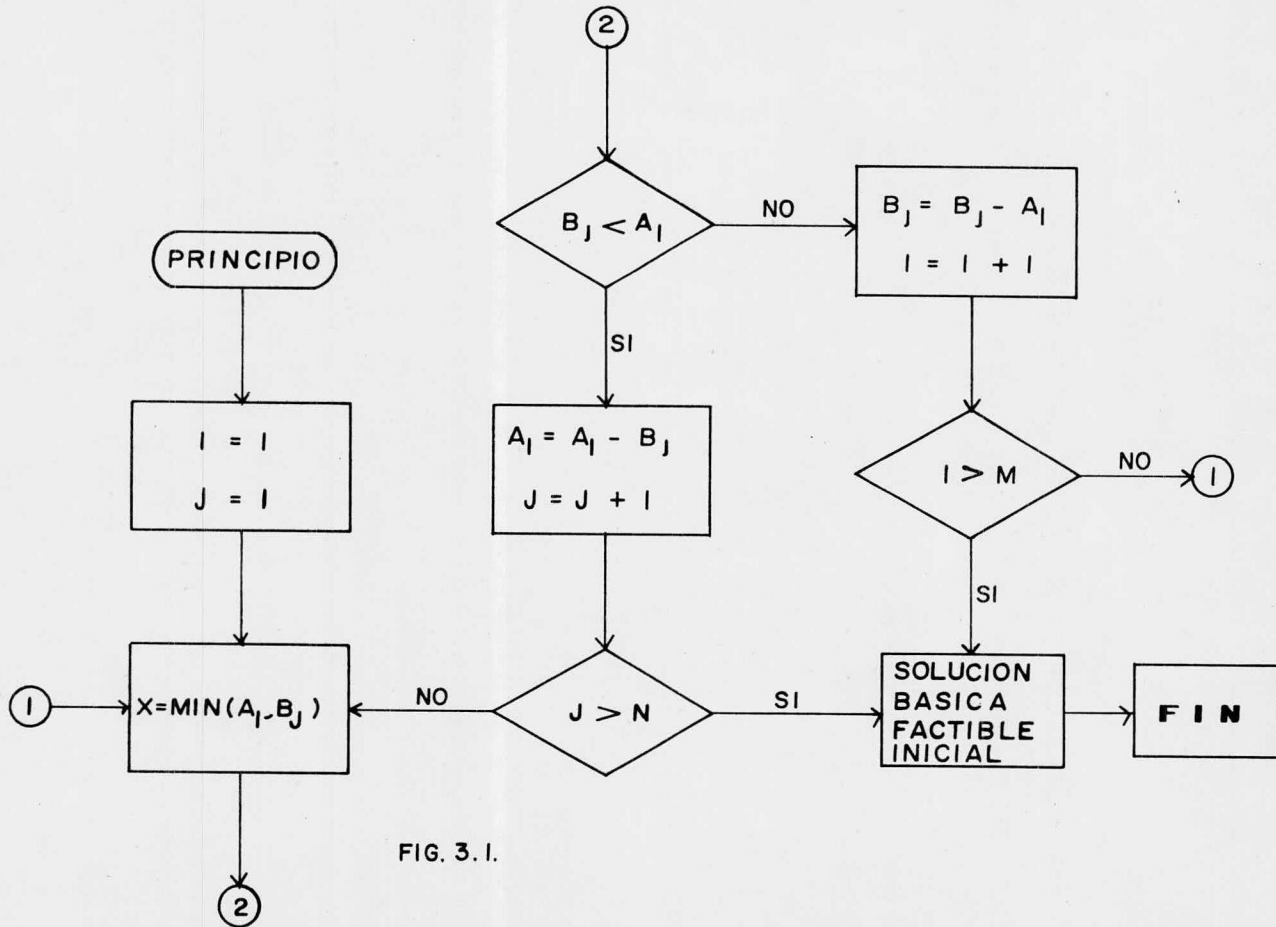


FIG. 3.1.

LA MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS  $C_{IJ}$  CORRESPONDIENTE A LA MATRIZ DE ASIGNACIONES  $X_{IJ}$  ES :

	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	
$O_1$	4	2				$= C_{IJ}$
$O_2$		1	4	1		
$O_3$				2	1	
$O_4$					2	

Y EL COSTO DE ESTA SOLUCIÓN ES :

$$C = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^5 C_{IJ} X_{IJ} = 6 \times 4 + 4 \times 2 + 3 \times 4 + 5 \times 1 + 4 \times 2 + 1 \times 1 + 10 \times 2 + 4 \times 1 = 82$$

ASÍ SE HA ENCONTRADO LA PRIMERA SOLUCIÓN BÁSICA FACTIBLE QUE DETERMINA UN PROGRAMA DE TRANSPORTE CON UN COSTO TOTAL DE 82 UNIDADES EN DINERO.

AHORA SE ENCUENTRA LA SIGUIENTE SOLUCIÓN, ES DECIR, SE DETERMINA OTRO PROGRAMA DE TRANSPORTE A PARTIR DE LA SOLUCIÓN BÁSICA FACTIBLE DONDE SE REDUZCA EL COSTO.

#### 6.- PROCEDIMIENTO DE CALCULO UTILIZANDO EL ALGORITMO DE TRANSPORTE.

1.- SE ESTABLECE UNA MATRIZ  $[C_{IJ}]$  QUE CORRESPONDA A LA MA

TRIZ DE ASIGNACIÓN  $X_{IJ}$ .

2.- SE DETERMINAN LOS VALORES DE LOS COSTOS INDIRECTOS QUE NO APARECEN EN  $\overline{C}_{IJ}$  DE LA SIGUIENTE FORMA :

- A) SE SELECCIONA EL MENOR COSTO INDIRECTO QUE APARECE EN  $C_{IJ}$ , Y SE COLOCA EN EL MARGEN DERECHO DE CUALQUIER  $A_I$ .
- B) SE ENCUENTRAN LAS DEMÁS CIFRAS DE LOS MÁRGENES DERECHO E INFERIOR DE TAL MANERA QUE SU SUMA -- SEA IGUAL AL COSTO DE LA INTERSECCIÓN DE LA I-ÉSIMA  $A_I$  Y J-ÉSIMA  $B_J$  A QUE PERTENECEN ( ESTOS VALORES CORRESPONDEN A LAS VARIABLES DUALES ).- LA MATRIZ  $[ C_{IJ} ]$  ES :

$C_{IJ} =$

4	2				1
	1	4	1		0
			2	1	1
				2	2
3	1	4	1	0	

- C) SE SUMAN LOS ELEMENTOS MARGINALES DERECHOS E INFERIORES DE LOS  $A_I$  Y  $B_J$  A QUE PERTENECEN PARA FORMAR LA NUEVA MATRIZ  $\overline{C}_{IJ}$ .



$$\overline{C}_{IJ} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 4 & 2 & 5 & 2 & 1 & 1 \\ \hline 3 & 1 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 4 & 2 & 5 & 2 & 1 & 1 \\ \hline 5 & 3 & 6 & 3 & 2 & 2 \\ \hline \end{array}$$

3   1   4   1   0

3.- SE CALCULAN LAS DIFERENCIAS DE CADA COSTO INDIRECTO, - MENOS SU CORRESPONDIENTE COSTO ORIGINAL.

$$\overline{C}_{IJ} - C_{IJ} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 4 & 2 & 5 & 2 & 1 \\ \hline 3 & 1 & 4 & 1 & 0 \\ \hline 4 & 2 & 5 & 2 & 1 \\ \hline 5 & 3 & 6 & 3 & 2 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 4 & 2 & 5 & 5 & 1 \\ \hline 2 & 1 & 4 & 1 & 4 \\ \hline 3 & 4 & 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 2 & 3 & 4 & 2 \\ \hline \end{array}$$

$$= \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 & -3 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & -4 \\ \hline 1 & -2 & 4 & 0 & 0 \\ \hline 3 & 1 & 3 & -1 & 0 \\ \hline \end{array} = \overline{C}_{IJ} - C_{IJ}$$

DE LA MATRIZ  $\overline{C}_{IJ} - C_{IJ}$  SOLAMENTE INTERESAN LAS CIFRAS POSITIVAS PUÉS, ÉSTO NOS INDICA LA POSIBILIDAD DE MEJORAR NUESTRO PROGRAMA DE TRANSPORTE. SI TODOS LOS ELE

MENTOS DE  $\overline{C}_{IJ} - C_{IJ}$  SON MENORES O IGUALES QUE CERO IMPLICA QUE SE HA ALCANZADO LA SOLUCIÓN ÓPTIMA, ES DECIR, QUE LA MATRIZ ANTERIOR  $X_{IJ}$  REPRESENTA EL MEJOR PROGRAMA

- 4.- EN LA MATRIZ  $\overline{C}_{IJ} - C_{IJ}$  SE SELECCIONA EL MAYOR ELEMENTO POSITIVO, Y EN NUESTRO CASO POR LA POSICIÓN QUE OCUPA -- ESTE ELEMENTO INDICA QUE LA VARIABLE  $X_{33}$  VA A ENTRAR A LA NUEVA SOLUCIÓN.

ESTO QUIERE DECIR, QUE SE DEBE TRANSPORTAR CIERTA CANTIDAD DEL ORIGEN  $A_3$  AL DESTINO  $B_3$ . SI SE DESIGNA ESTA -- CANTIDAD POR THETA (  $\theta$  ) Y SE SUMA LA MATRIZ  $X_{IJ}$  SE OBTIENE UNA NUEVA  $X_{IJ}$  QUE CORRESPONDE A OTRO PROGRAMA DE TRANSPORTE ( NOTE QUE  $X_{33}$  NO PERTENECE A LA SOLUCIÓN BÁSICA INICIAL ).

$X_{IJ} =$

6	4				10
	4	3	5		12
		$\theta$	4	1	$5 + \theta$
				10	10
6	8	$3 + \theta$	9	11	

SE PUEDE NOTAR QUE SE HA MODIFICADO LA DISPONIBILIDAD -- DE  $A_3$  Y LOS REQUERIMIENTOS DE  $B_3$ . PARA RESOLVER ÉSTO, SE FORMA UN CIRCUITO DIRIGIDO SIMPLE CON EL ELEMENTO -- QUE ENTRA A LA NUEVA SOLUCIÓN Y LOS ELEMENTOS DE LA SO-- LUCIÓN BÁSICA INICIAL ( CIRCUITO DIRIGIDO SIMPLE ES UN CIRCUITO DIRIGIDO, EL CUAL NO TIENE MÁ--S DE DOS ELEMEN--TOS EN CUALQUIER RENGLÓN O COLUMNA ), LOS ELEMENTOS AD-- YACENTES A  $\theta$  , EN EL EJEMPLO EL CIRCUITO ESTÁ FORMADO --

POR  $X_{33}$ ,  $X_{23}$ ,  $X_{24}$ ,  $X_{34}$ ,  $X_{33}$ . POR TANTO SE OBTIENE --

$X_{IJ} =$	6	4				10
		4	$3-\theta$	$5+\theta$		12
			$\theta$	$4-\theta$	1	5
					10	10
	6	8	3	9	11	

5.- SE DETERMINA EL VALOR DE  $\theta$  PARA UNA NUEVA SOLUCIÓN. EL VALOR QUE TOMA  $\theta$  ES EL VALOR DEL ELEMENTO QUE ABANDONA LA SOLUCIÓN BÁSICA INICIAL, PARA LOGRAR ÉSTO SE TOMA EL MENOR VALOR DE LOS ELEMENTOS ADYACENTES A  $\theta$ . DE OTRA MANERA EXISTIRÍAN VALORES MENORES QUE CERO EN  $X_{IJ}$  LO QUE CARECE DE SENTIDO. DE LO ANTERIOR SE DEDUCE QUE  $\theta = 3$ , OBTENIÉNDOSE LA NUEVA  $X_{IJ}$

	6	4				10
		4		8		12
			3	1	1	5
					10	10
	6	8	3	9	11	

Y LA NUEVA MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS  $C_{IJ}$  ES :

$$C_{IJ} =$$

4	2			
	1		1	
		1	2	1
				2

ES DECIR, EL COSTO TOTAL PARA ESTA NUEVA SOLUCIÓN ES :

$$C_{IJ} = 6x4 + 4x2 + 4x1 + 8x1 + 3x1 + 2x1 + 1x1 + \dots - 2x10 = 70$$

PUEDE NOTARSE QUE PARA ESTA NUEVA SOLUCIÓN, EL COSTO TOTAL SE HA REDUCIDO Y ADMEÁS SE CUMPLEN LAS -- CONDICIONES (6) Y (7).

DE LA MISMA MANERA SE SIGUE EL PROCEDIMIENTO DE -- CÁLCULO HASTA ENCONTRAR EN  $\overline{C}_{IJ} - C_{IJ}$  TODOS LOS VALORES MENORES O IGUALES A CERO.

EL ALGORITMO DE TRANSPORTE AQUÍ DESCRITO ES IMPLEMENTADO EN UN PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE LA LOCALIZACIÓN DE SUBESTACIONES DADO EN EL CAPÍTULO IV.

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

### EJEMPLO DE APLICACION

#### 1.- DESCRIPCION DEL EJEMPLO.

EN EL CAPÍTULO III SE DESCRIBIÓ EL ALGORITMO DE LAS DISTANCIAS MÍNIMAS FACTIBLES Y EL ALGORITMO DE TRANSPORTE, LOS CUALES AHORA, HAN SIDO IMPLEMENTADOS EN UN PROGRAMA DE COMPUTADORA Y APLICADOS A UNA ZONA DE LA CIUDAD DE MÉXICO, DEFINIDA EN LA FIG. 4.1.

SUPONIENDO QUE UNA PARTE DE LA ZONA ESTÉ COMPUESTA POR ÁREAS FUTURAS Y LA OTRA POR ÁREAS EXISTENTES, ENTÓNCESE DESEA EFECTUAR UN ANÁLISIS DE EXPANSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EXISTENTE. ES POSIBLE QUE EN UN FUTURO, ALGUNAS SUBESTACIONES EXISTENTES CEDAN PARTE DE SU CARGA A LAS SUBESTACIONES FUTURAS Y ESTAS LAS RECIBAN, ADEMÁS DE MANTENER SU PROPIA CARGA . POR LO TANTO SE HACE NECESARIO SABER EN QUE CENTROS DE DEMANDA SE LLEVA A CABO LA TRANSFERENCIA DE CARGA Y CUAL ES SU COSTO. LOS CENTROS DE DEMANDA Y SU INTERCONEXIÓN CON LAS SUBESTACIONES FUTURAS Y EXISTENTES SE MUESTRA EN LA FIG. 4.2.

HACIENDO REFERENCIA A LA FIG. 4.2. SE OBSERVAN 27 SECTORES, SE SUPONE QUE EXISTEN 4 SUBESTACIONES LOCALIZADAS EN LOS SECTORES 23, 24, 25, 27 Y QUE DADO EL AUMENTO DE CARGA, ES NECESARIO INSTALAR 4 NUEVAS SUBESTACIONES. ENTONCES SE TRATA DE BUSCAR SU LOCALIZACIÓN ÓPTIMA Y CONOCER A QUE SECTORES DEBEN ALIMENTAR, USANDO EL PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE SUBESTACIONES.

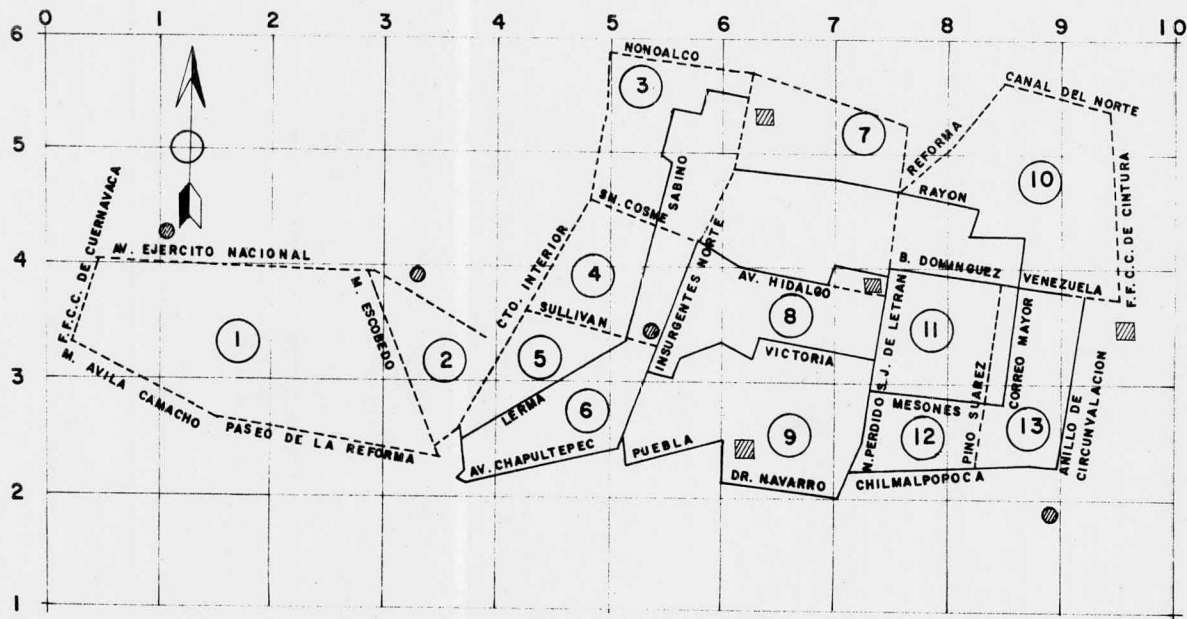


FIG. 4.1. ZONA DE LA RED DE DISTRIBUCION

S I M B O L O G I A

----- ZONA PARA RED FUTURA

———— ZONA PARA RED EXISTENTE

▨ SUBESTACION EXISTENTE



● SUBESTACION FUTURA

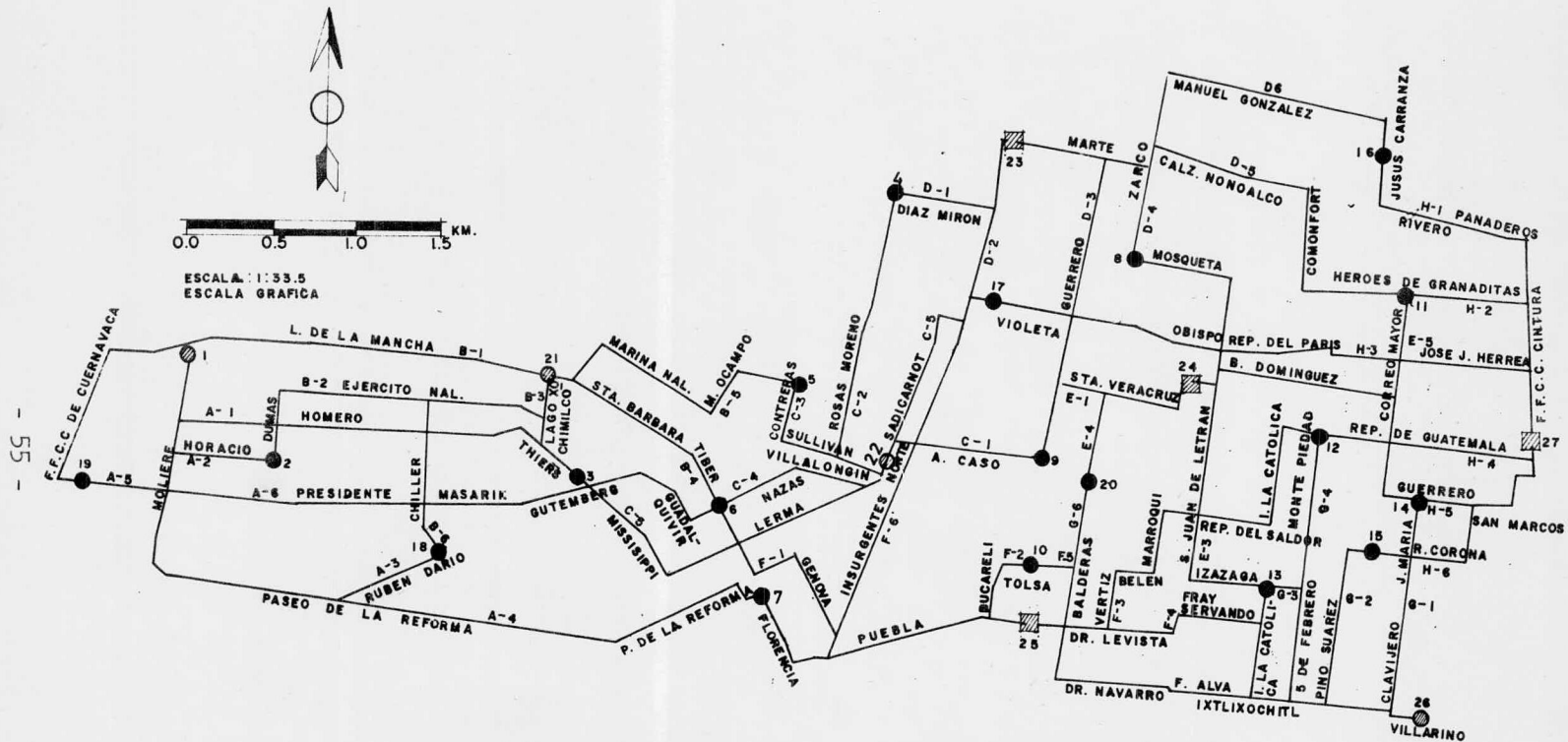


FIG. A.2. INTERCONEXION DE SUBESTACIONES Y CENTROS DE DEMANDA

LA ZONA GEOGRÁFICA SE PUEDE REPRESENTAR POR LA RED MOSTRADA EN LA FIG. 4.3., EN LA CUAL, LAS DISTANCIAS ( EN KILÓMETROS ) ENTRE LOS SECTORES ES ANOTADA SOBRE LOS ARCOS, LOS NÚMEROS DE LOS SECTORES CORRESPONDEN A LOS NODOS Y SU DEMANDA SE ANOTA ENCIMA DE ESTOS.

## 2.- APLICACION DEL PROGRAMA DE LAS DISTANCIAS MINIMAS FACTIBLES.

APLICANDO EL PROGRAMA PARA ENCONTRAR LAS DISTANCIAS MÍNIMAS FACTIBLES SE OBTIENEN LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN LA TABLA I. ESTOS RESULTADOS CORRESPONDEN A LAS DISTANCIAS MÍNIMAS DE LOS SECTORES 23, 24, 25, Y 27 DONDE SE ENCUENTRAN LOCALIZADAS LAS SUBESTACIONES EXISTENTES A TODOS LOS DEMÁS SECTORES. - LA COLUMNA DE LA DERECHA CORRESPONDE A LOS NÚMEROS DE LOS SECTORES QUE FORMAN LA TRAYECTORIA MÍNIMA PARA LLEGAR AL SECTOR QUE APARECE A LA IZQUIERDA DE LA TABLA, LAS DISTANCIAS MÍNIMAS SON ANOTADAS ENTRE LA COLUMNA " NODO " Y LA COLUMNA " RUTA ".

LA INTERPRETACIÓN DE LA TABLA I ES COMO SIGUE :

EN EL INCISO A DE LA TABLA SE QUIERE SABER POR EJEMPLO, CUAL ES LA DISTANCIA MÍNIMA Y CUALES SON LOS NODOS QUE DEFINEN LA TRAYECTORIA DEL NODO 23 ( SUBESTACIÓN ) AL NODO 10 ( CENTRO DE DEMANDA ). ENTONCES, EN LA COLUMNA NODO SE BUSCA EL NÚMERO 10 AL CUAL LE CORRESPONDE UNA DISTANCIA MÍNIMA DE 5.4 KILÓMETROS POR LA RUTA QUE CONTIENE EL NODO 25, ÉSTE SE BUSCA EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA, ENCONTRÁNDOSE AL NODO 17 EN LA COLUMNA " RUTA ", NUEVAMENTE ESTE SE BUSCA EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA, ENCONTRÁNDOSE AL NODO 23 QUE ES EL NODO DE LA SUBESTACIÓN, POR TANTO, LA TRAYECTORIA DEFINIDA, ESTÁ FORMADA POR LOS NODOS 10, 25, 17 Y 23. ESTOS NODOS EN LA FIG. 4.3, FORMAN LOS ARCOS ( 10,25 ), ( 25,17 ) Y ( 17,23 ), LOS CUALES TIENEN UNA DISTAN



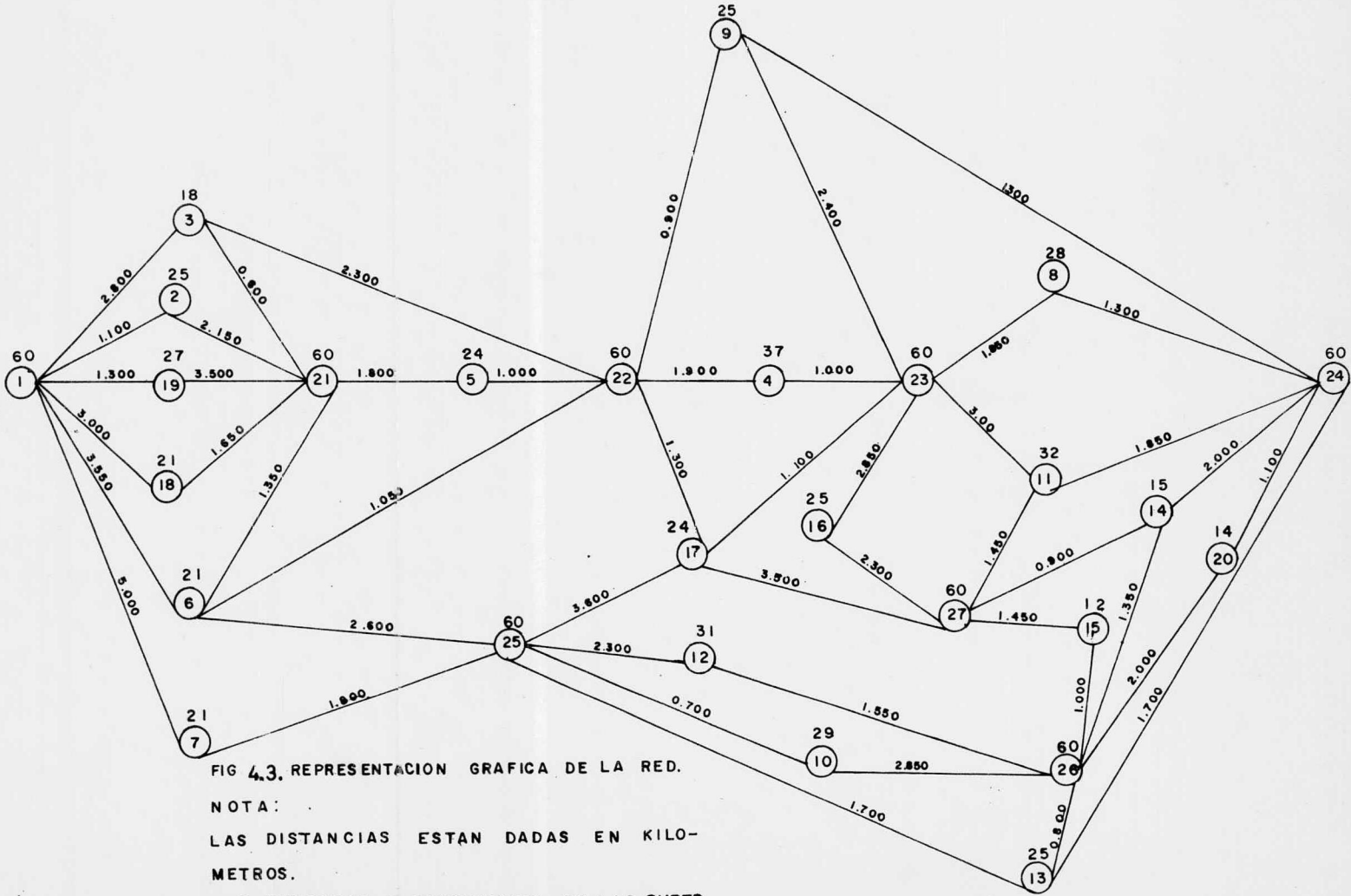


FIG 4.3. REPRESENTACION GRAFICA DE LA RED.

NOTA:  
LAS DISTANCIAS ESTAN DADAS EN KILOMETROS.  
LAS DEMANDAS Y CAPACIDADES DE LAS SUBESTACIONES EN MVA'S.

CIA ASOCIADA. LA SUMA DE ESTAS DISTANCIAS  $0.700 + 3.600 + 1.100 = 5.400$  ES IGUAL AL VALOR DE LA DISTANCIA MÍNIMA QUE SE ENCONTRÓ EN EL INCISO A DE LA TABLA I. DE LA MISMA MANERA SE INTERPRETA PARA CUALQUIER NODO Y CUALQUIER INCISO DE LA TABLA. AHORA SE CONSIDERA, QUE LAS SUBESTACIONES QUE SE DESEA LOCALIZAR PODRÍAN QUEDAR EN LOS SECTORES 1,21,22 Y 26, POR LO TANTO ES NECESARIO CALCULAR LAS DISTANCIAS MÍNIMAS FACTIBLES DE LOS SECTORES QUE PERTENECEN A LAS SUBESTACIONES QUE SE ESTÁN LOCALIZANDO A TODOS LOS DEMÁS SECTORES. ESTOS RESULTADOS APARECEN EN LA TABLA II. EL LISTADO DEL PROGRAMA SE DA ENSEGUIDA DE LA TABLA II.



NODO DISTANCIA RUTA

27	4.4500	11
26	5.6500	13
25	4.7000	17
24	3.1500	8
23	0.0	17
22	2.4000	17
21	4.7000	6
20	4.2500	24
19	8.2000	21
18	6.3500	21
17	1.1000	23
16	2.8500	23
15	5.9000	27
14	5.1500	24
13	4.8500	24
12	7.0000	25
11	3.0000	23
10	5.4000	25
9	2.4000	23
8	1.8500	23
7	6.5000	25
6	3.4500	22
5	3.4000	22
4	1.0000	23
3	4.7000	22
2	6.8500	21
1	7.0000	6

( A )

NODO DISTANCIA RUTA

27	2.9000	14
26	2.5000	13
25	3.4000	13
24	0.0	0
23	3.1500	6
22	2.2000	9
21	4.5000	6
20	1.1000	24
19	8.0000	21
18	6.1500	21
17	3.5000	22
16	5.2000	27
15	3.5000	26
14	2.0000	24
13	1.7000	24
12	4.0500	26
11	1.8500	24
10	4.1000	25
9	1.3000	24
8	1.3000	24
7	5.2000	25
6	3.2500	22
5	3.2000	22
4	4.1000	22
3	4.5000	22
2	6.6500	21
1	6.8000	6

( B )

TABLA I



NODO DISTANCIA RUTA

27	4.7500	14
26	2.5000	13
25	0.0	17
24	3.4000	13
23	4.7000	17
22	3.6500	6
21	3.8500	6
20	4.5000	24 26
19	7.3500	21
18	5.5000	21
17	3.6000	25
16	7.0500	27
15	3.5000	26
14	3.8500	26
13	1.7000	25
12	2.3000	25
11	5.2500	24
10	0.7000	25
9	4.5500	22
8	4.7000	24
7	1.8000	25
6	2.6000	25
5	4.6500	22
4	5.5500	22
3	4.4500	21
2	6.0000	21
1	6.1500	6

( C )

NODO DISTANCIA RUTA

27	0.0	14
26	2.2500	14
25	4.7500	13
24	2.9000	14
23	4.4500	11
22	4.8000	17
21	7.1000	6
20	4.0000	24
19	10.6000	21
18	8.7500	21
17	3.5000	27
16	2.3000	27
15	1.4500	27
14	0.9000	27
13	3.0500	26
12	3.8000	26
11	1.4500	27
10	5.1000	26
9	4.2000	24
8	4.2000	24
7	6.5500	25
6	5.8500	22
5	5.8000	22
4	5.4500	23
3	7.1000	22
2	9.2500	21
1	9.4000	6

( D )

CONT.  
TABLA I



NODO DISTANCIA RUTA

27	9.4000	17
26	8.6500	13
25	6.1500	6
24	6.8000	9
23	7.0000	17
22	4.6000	6
21	3.2500	2
20	7.9000	24
19	1.3000	1
18	3.0000	1
17	5.9000	22
16	9.8500	23
15	9.6500	26
14	8.8000	24
13	7.8500	25
12	8.4500	25
11	8.6500	24
10	6.8500	25
9	5.5000	22
8	8.1000	24
7	5.0000	1
6	3.5500	1
5	5.0500	21
4	6.5000	22
3	2.8000	1
2	1.1000	1
1	0.0	0

( E )

TABLA II

NODO DISTANCIA RUTA

27	7.1000	17
26	6.3500	13
25	3.8500	6
24	4.5000	9
23	4.7000	17
22	2.3000	6
21	0.0	2
20	5.6000	24
19	3.5000	21
18	1.6500	21
17	3.6000	22
16	7.5500	23
15	7.3500	26
14	6.5000	24
13	5.5500	25
12	6.1500	25
11	6.3500	24
10	4.5500	25
9	3.2000	22
8	5.8000	24
7	5.6500	25
6	1.2500	21
5	1.8000	21
4	4.2000	22
3	0.6000	21
2	2.1500	21
1	3.2500	2

( F )



NODO DISTANCIA RUTA

27	4.8000	17
26	4.7000	13
25	3.6500	6
24	2.2000	9
23	2.4000	17
22	0.0	6
21	2.3000	6
20	3.3000	24
19	5.8000	21
18	3.9500	21
17	1.3000	22
16	5.2500	23
15	5.7000	26
14	4.2000	24
13	3.9000	24
12	5.9500	25
11	4.0500	24
10	4.3500	25
9	0.9000	22
8	3.5000	24
7	5.4500	25
6	1.0500	22
5	1.0000	22
4	1.9000	22
3	2.3000	22
2	4.4500	21
1	4.6000	6

( G )

NODO DISTANCIA RUTA

27	2.2500	14
26	0.0	13
25	2.5000	13
24	2.5000	13
23	5.6500	8
22	4.7000	9
21	6.3500	6
20	2.0000	26
19	9.8500	21
18	8.0000	21
17	5.7500	27
16	4.5500	27
15	1.0000	26
14	1.3500	26
13	0.8000	26
12	1.5500	26
11	3.7000	27
10	2.8500	26
9	3.8000	24
8	3.8000	24
7	4.3000	25
6	5.1000	25
5	5.7000	22
4	6.6000	22
3	6.9500	21
2	8.5000	21
1	8.6500	6

( H )

CONT.  
TABLA II

```

C ALGORITMO DE DIKSTRA PARA ENCONTRAR LA RUTA MAS CORTA, APLICADO A UN
C PROGRAMA DE PLANEACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION
C COMPA=VALOR DE COMPARACION PARA ENCONTRAR EL MINIMO
C DISTA=MATRIZ DE DISTANCIAS ENTRE NODOS
C FEAS1=VERIFICA SI LA RUTA OPTIMA ES MENOR O IGUAL QUE INFINITO
C FROM=NODO AL CUAL ES MEDIDA LA DISTANCIA
C LEREL = ETIQUETA DE CADA NODO
C LABNU=NUMERO DE NODOS ASIGNADOS CON ETIQUETAS PERMANENTES
C LASLA=ULTIMO NODO ETIQUETADO
C NODSE=CONJUNTO DE NODOS INDICE
C NUMNO=NUMERO DE NODOS EN LA RED
C TEMPO=VALOR TEMPORAL DE ETIQUETA
C INTEGER READE,PRINI,FROM,POLIC(50,5),OPTIO,FEAS1
REAL LABEL(50)
DIMENSION DISTA(50,50),NODSE(50)
READ(5,1) NOCON
READ(5,1) NUMNO
KK=0

C
C DISTANCIAS DE LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ A INFINITO
C
DO 100 I=1,NUMNO
DO 100 J=1,NUMNO
100 DISTA(I,J)=1.0E 30

C
C LEE DISTANCIAS PARA LOS NODOS CONECTADOS
C
DO 125 II=1,NOCON
READ(5,1) I,J,DISTA(I,J)
DISTA(J,I)=DISTA(I,J)
125 CONTINUE

C
C USA EL MINIMO ENTRE 19 Y NUMO
MAXNUM=MINO(19,NUMNO)
IF (KK)127,128,127
128 WRITE( 6,8) (I,I=1,MAXNUM)
8 FORMAT(1H1,10X,'MATRIZ DE DISTANCIAS',//,
+14,19I6,/)
DO 130 I=1,NUMNO
WRITE( 6,7) I,(DISTA(I,J),J=1,MAXNUM)
7 FORMAT(/,1X,13,16,19(1X,F5.1))
130 CONTINUE
WRITE(6,8) (I,I=20,NUMNO)
DO 131 I=1,NUMNO
WRITE(6,7) I,(DISTA(I,J),J=20,NUMNO)
131 CONTINUE
10 READ(5,101) L
IF(L.EQ.0) GO TO 999
101 FORMAT(12)
C
C INICIALIZANDO
LASLA=L
LABNU=1
127 WRITE(6,21)
DO 110 I=1,NUMNO
NODSE(I)=I
110 LABEL(I)=1.0E 30
21 FORMAT(1H1,10X,'ETIQUETADO DE NODOS',//)

```

```
C
C  CONDICION INICIAL
C  EL NODO 1 TIENE ETIQUETA PERMANENTE 0 PARA ARREANCAR LA COMPUTACION
C  LABEL(1)=0.0
C  NODE 1 IS DELETED FROM THE SET OF NODE INDICES
C
C  NODSE(L)=0
C
C  INICIA ITERACIONES
C
C 200 LABND=LABND+1
C  PRINT 9, LABND,LASLA
C 9  FORMAT(1X,19F6)
C
C  HACE IGUAL A INFINITO EL VALOR POR COMPARAR PARA ENCONTRAR EL MIN
C
C  COMPA=1.0E 30
C
C  ASIGNA ETIQUETAS TEMPORALES
C
C  DO 220 K=1,NUMNO
C
C  FROM GENERA EL NODO INIDICE
C
C  FROM=NODSE(K)
C
C  IF THE NODE HAS A PERMANENT LABEL, SKIP IT
C
C  IF(FROM.EQ.0) GO TO 220
C
C  COMPUTA NUEVA DISTANCIA POR COMPARACION CON NODO ETIQUETA
C
C  TEMPO=DISTA(LASLA,FROM) + LABEL(LASLA)
C
C  SI ESTA DISTANCIA ES MAS GRANDE QUE EL ETIQUETA VIEJA, SIGUE AL
C  PROXIMO NODO
C
C  IF(TEMPO.GE.LABEL(FROM)) GO TO 220
C  SI ESTA DISTANCIA ES MENOR QUE ETIQUETA VIEJA HACE ESTA LA NJEVA
C  ETIQUETA
C
C 210 LABEL(FROM)=TEMPO
C 220 CONTINUE
C  PRINT 11, (LABEL(I),I=1,NUMNO)
C 11  FORMAT(1X,19F6.1)
C
C  ASIGNA ETIQUETAS PERMANENTES
C
C  FEAS=0
C  DO 310 K=1,NUMNO
C  FROM=NODSE(K)
C
C  SI EL NODO TIENE ETIQUETA PERMANENTE , SIGUE ADLANTE
C
C  IF(FROM.EQ.0) GO TO 310
C
```



```

C      SI LA ETIQUETA ES INFINITO, SIGUE ADELANTE
C
C      IF(LABEL(FROM).GE.1.0E 30) GO TO 309
C      COMPARA ELL NIVEL O ETIQUETA CON EL MENOR VALOR ENCONTRADO
C
C      IF(COMPA.LE.LABEL(FROM)) GO TO 310
C
C      RETIENE EL MENOR VALOR DE COMPAR
C
C      COMPA=LABEL(FROM)
C
C      ALMACENA EL NUMERO DE NODO DE MINIMO VALOR ENCONTRADO
C
C      LASLA=K
C      GO TO 310
C
C      VERIFICA SI EXISTE UNA TRAYECTORIA FACTIBLE
C
309 FEASI=FEASI+1
   IF(FEASI.LT.(NUMNO-LASNO)) GO TO 310
   WRITE(6,4) LASLA
   CALL EXIT
310 CONTINUE
C
C      ASIGNA ETIQUETAS PERMANENTES
C
C      LABEL(LASLA)=COMPA
C
C      DELETE THE NODE FROM THE 'NODES'
C
C      NODES(LASLA)=0.0
C
C      SI EL NUMERO DE NODOS ETIQUETADOS ES MENOR QUE EL NUMERO TOTAL DE
C      NODOS , CONTINUA
C
C      PRINT 11,(LABEL(I),I=1,NUMNO)
C      PRINT 9,(NODES(I),I=1,NUMNO)
C      IF(LASNO.LT.NUMNO) GO TO 200
C
C      TRAZANDO TRAYECTORIA OPTIMA
C
C      WRITE(6,2)
C      NM=NUMNO+1
C      DO 420 I=2,NM
C      J=NUMNO-I+2
C      OPTIO=1
C      FROM=0
C
C
C      400 FROM=FROM+1
C      IF(FROM.EQ.J) GO TO 410
C      IF(ABS((LABEL(J)-DISTA(FROM,J))-LABEL(FROM)) .GT. .0001) GO TO 410
C      OPTIO=OPTIO+1
C
C      VERIFICA MAXIMO 4 ROTAS OPTIMAS A CADA NODO
C

```

```
IF(OPTIO.GT.5) GO TO 410
C
C   NUMERO DE RUTAS OPTIMAS ES ALMACENADA EN POLIC(J,1)
C   POLIC(J,1)=OPTIO-1
C
POLIC(J,OPTIO)=FRDM
410 IF(FROM.LT.NUMNO) GO TO 400
OPTIO=POLIC(J,1)+1
420 WRITE( 6,3) J,LABEL(J),(POLIC(J,K),K=2,OPTIO)
    KK=KK+1
    GO TO 10
1  FORMAT(2I5,F10.0)
2  FORMAT(1H1,5X,'NODO',2X,'DISTANCIA',2X,'RUTA',/)
3  FORMAT(/1H ,4X,I3,2X,F10.4,1X,I3,4(1H ,I3))
4  FORMAT(1H1,22HINFEASIBLE BEYOND NODE,1X,I3,/)
999 CALL EXIT
END
```

### 3.- APLICACION DEL PROGRAMA DE TRANSPORTE.

AHORA BIEN, CON LAS DISTANCIAS MÍNIMAS CALCULADAS DEL PUNTO ANTERIOR SE FORMA LA MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS (TABLA III), LA CUAL SE COMBINA CON LAS CAPACIDADES ( $S_I$ ) DE LAS SUBESTACIONES Y LAS DEMANDAS ( $D_J$ ) DE LOS SECTORES (TABLA IV), PARA FORMULAR EL PROBLEMA DE TRANSPORTE EN UN PRÓGRAMA DE COMPUTADORA, OBTENIÉNDOSE LOS RESULTADOS DE LA TABLA V. LA CAPACIDAD DE LAS SUBESTACIONES FUTURAS, DE ACUERDO CON LA DEMANDA TOTAL DE LA ZONA (454 MVA<sup>^</sup>S) Y LA CAPACIDAD TOTAL DE LAS SUBESTACIONES EXISTENTES (240 MVA<sup>^</sup>S) SE PUEDE ESTABLECER EN (240 MVA<sup>^</sup>S).

COMO SE MENCIONÓ EN LA PARTE REFERENTE A LA DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO EN EL CAPÍTULO III, ES NECESARIO CONSIDERAR UN SECTOR ARTIFICIAL (28), CUYA DEMANDA ES LA DIFERENCIA ENTRE LA SUMA DE LAS CAPACIDADES DE LAS SUBESTACIONES FUTURAS Y EXISTENTES Y LA DEMANDA TOTAL DE LA ZONA. LA DISTANCIA DE ESTE SECTOR ARTIFICIAL -- A TODOS LOS DEMÁS SECTORES ES CONSIDERADA IGUAL A CERO. EL LISTADO DEL PROGRAMA PARA EL PROBLEMA DE TRANSPORTE SE MUESTRA A CONTINUACIÓN.

MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS

		CENTROS DE DEMANDA													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SUBESTACIONES	1	0	110	280	650	505	355	500	810	550	685	865	845	785	880
	2	325	215	60	420	180	125	565	580	320	455	635	615	555	650
	3	460	445	230	190	100	105	545	350	90	435	405	595	390	420
	4	700	685	470	100	340	345	650	185	240	540	300	700	485	515
	5	680	665	450	410	320	325	520	130	130	410	185	405	170	200
	6	615	600	445	555	465	260	180	470	455	70	525	230	170	385
	7	865	850	695	660	570	510	430	380	380	285	370	155	80	135
	8	940	925	710	545	580	585	655	420	420	510	145	380	305	90

MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS (CONT)

		CENTROS DE DEMANDA													
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
SUBESTACIONES	1	965	985	590	300	130	790	325	460	700	680	615	865	940	0
	2	735	755	360	165	315	560	0	230	470	450	385	635	710	0
	3	570	525	130	395	580	330	230	0	240	220	365	470	480	0
	4	590	285	110	635	820	425	470	240	0	315	470	565	445	0
	5	350	520	350	615	800	110	450	220	315	0	340	250	290	0
	6	350	705	360	550	735	450	385	365	470	340	0	250	475	0
	7	100	455	575	800	985	200	635	470	565	250	250	0	225	0
	8	145	230	350	875	1060	400	710	480	445	290	475	225	0	0

## CAPACIDADES

SUB 1= 60 MVA  
 SUB 2= 60 MVA  
 SUB 3= 60 MVA  
 SUB 4= 60 MVA  
 SUB 5= 60 MVA  
 SUB 6= 60 MVA  
 SUB 7= 60 MVA  
 SUB 8= 60 MVA

## DEMANDAS

CENTRO DE DEMANDA 1= 0 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 2= 25 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 3= 18 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 4= 37 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 5= 24 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 6= 21 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 7= 21 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 8= 28 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 9= 25 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 10= 29 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 11= 32 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 12= 31 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 13= 25 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 14= 15 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 15= 12 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 16= 25 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 17= 24 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 18= 21 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 19= 27 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 20= 14 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 21= 0 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 22= 0 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 23= 0 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 24= 0 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 25= 0 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 26= 0 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 27= 0 MVA  
 CENTRO DE DEMANDA 28= 26 MVA

TABLA IV

```

C PROGRAMA PARA LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE TRANSPORTE USANDO EL ALGORIT
C MO DE FORD-FULKERSON
C PARTE I--DETERMINACION DE LOS PASOS DE ARRANQUE Y LA MATRIZ CERD
C LAS CAPACIDADES DEBEN SER IGUAL A LAS DEMANDAS
C MA=MATRIZ DE CAPACIDADES--MB-DEMANDAS--MC-MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS
C MATRIZ CERD=MZ,MW=PESOS UNITARIOS,MMW=PESOS COLUMNA,L=ETIQUETA RENGLON
C MM=ETIQUETA COLUMNA
      DIMENSION MA(30),MB(30),MC(30,30),MZ(30,30),MW(30),MMW(30),L(30),
      MM(30),MR(30),MCOL(30),MMA(30),MMB(30)
      1 READ(5,101)M,N
      IF(M)999,999,1000
1000 READ(5,101)(MA(I),I=1,M)
      READ(5,101)(MB(J),J=1,N)
      101 FORMAT(16I5)
      DO 102 I=1,M
      102 READ(5,101)(MC(I,J),J=1,N)
      149 MSURP=0
      MSHRT=0
      DO 150 I=1,M
      150 MSURP=MSURP+MA(I)
      DO 151 J=1,N
      151 MSHRT=MSHRT+MB(J)
      IF(MSURP-MSHRT)152,202,201
      201 N=N+1
      MB(N)=MSURP-MSHRT
      DO 200 J=1,M
      200 MC(J,N)=0
      202 WRITE(6,103)
      103 FORMAT(1H1,46X,'ENTRADA AL PROBLEMA DE TRANSPORTE',///)
      WRITE(6,104)
      104 FORMAT(' CAPACIDADES',/)
      WRITE(6,105)(I,MA(I),I=1,M)
      105 FORMAT(2X,'SUB',I2,'=',I5,' MVA')
      WRITE(6,106)
      106 FORMAT(//,' DEMANDAS'//)
      WRITE(6,107)(J,MB(J),J=1,N)
      107 FORMAT(2X,'CENTRO DE DEMANDA ',I2,'=',I5,' MVA')
      WRITE(6,108)
      108 FORMAT(1H1,///' MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS'//)
      WRITE(6,109)(I,I=1,14)
      109 FORMAT(' ',20X,'CENTROS DE DEMANDA'//16X,20I5)
      WRITE(6,110)(MC(I,J),J=1,14)
      110 FORMAT('/' SUBESTACIONES 1',20I5)
      DO 111 I=2,M
      111 WRITE(6,117)I,(MC(I,J),J=1,14)
C CAPACIDADES IGUALES A DEMANDAS
      WRITE(6,1008)
      1008 FORMAT(////,' MATRIZ DE COSTOS UNITARIOS (CONT)'//)
      WRITE(6,1009)(I,I=15,N)
      1009 FORMAT(' ',20X,'CENTROS DE DEMANDA'//16X,20I5)
      WRITE(6,1110)(MC(I,J),J=15,N)
      1110 FORMAT('/' SUBESTACIONES 1',20I5)
      DO 1111 I=2,M
      1111 WRITE(6,117)I,(MC(I,J),J=15,N)
      GO TO 154
      152 WRITE(6,153)

```

```

153 FORMAT(// 'LA DEMANDA ES MAYOR A LA CAPACIDAD INSTALADA, TERMINA PR
      10CESO',//)
      GO TO 1
154 DO 170 I=1,M
      DO 170 J=1,N
      IF(MC(I,J))168,170,170
170 CONTINUE
      GO TO 171
168 WRITE(6,169)
169 FORMAT(// ' COSTOS DE TRANSPORTE NEGATIVOS, PROCESO ABORTADO',//)
      GO TO 1
171 DO 172 I=1,M
172 MMA(I)=MA(I)
      DO 173 J=1,N
173 MMB(J)=MB(J)
C PESOS DE RENGLON INICIALES
174 DO 3 I=1,M
      MW(I)=-MC(I,1)
      DO 3 J=2,N
      IF(MW(I)+MC(I,J))2,3,3
2 MW(I)=-MC(I,J)
3 CONTINUE
C PESOS DE COLUMNA INICIALES
DO 5 J=1,N
MMW(J)=- (MC(1,J)+MW(1))
DO 5 I=2,M
IF(MMW(J)+MC(I,J)+MW(I))4,5,5
4 MMW(J)=- (MC(I,J)+MW(I))
5 CONTINUE
C MATRIZ CERO INICIAL
DO 8 I=1,M
DO 8 J=1,N
IF (MMW(J)+MC(I,J)+MW(I))6,7,6
7 MZ(I,J)=-1
GO TO 8
6 MZ(I,J)=0
8 CONTINUE
DO 15 I=1,M
DO 14 J=1,N
IF (MZ(I,J))9,14,14
9 IF (MA(I))15,15,10
10 IF (MB(J))14,14,11
11 IF (MA(I)-MB(J))13,12,12
12 MZ(I,J)=MB(J)
MA(I)=MA(I)-MB(J)
MB(J)=0
14 CONTINUE
GO TO 15
13 MZ(I,J)=MA(I)
MB(J)=MB(J)-MA(I)
MA(I)=0
15 CONTINUE
160 DO 155 I=1,M
      IF(MA(I))16,155,16
155 CONTINUE
DO 156 J=1,N

```

```

      IF(MB(J)) 16,156,16
156 CONTINUE
      K=0
      GO TO 62
C PARTE II-PROCESO ITERATIVO
C ETIQUETADO INICIAL DE RENGLONES
      16 DO 17 I=1,M
          L(I)=MA(I)
      17 MCOL(I)=0
          DO 18 J=1,N
              MM(J)=0
      18 MR(J)=0
      19 K=0
          DO 24 I=1,M
              IF(L(I)) 24,24,20
      20 DO 23 J=1,N
              IF (MZ(I,J))21,23,21
      21 IF (MM(J)) 23,22,23
      22 MR(J)=I
              MM(J)=L(I)
              K=MR(J)
              IF(MB(J))50,23,50
      23 CONTINUE
      24 CONTINUE
          IF(K) 34,34,25
      25 DO 33 J=1,N
              IF (MM(J)) 33,33,26
      26 DO 32 I=1,M
              IF (MZ(I,J)) 32,32,27
      27 IF (L(I)) 32,26,32
      28 IF (MZ(I,J)-MM(J)) 29,30,30
      29 L(I)=MZ(I,J)
          GO TO 31
      30 L(I)=MM(J)
      31 MCOL(I)=J
      32 CONTINUE
      33 CONTINUE
          GO TO 19
      34 DO 40 I=1,M
              IF (L(I)) 40,40,35
      35 DO 39 J=1,N
              IF (MR(J)) 39,36,39
      36 IF (K) 37,38,37
      37 IF (MC(I,J)+MW(I)+MMW(J)-K) 38,39,39
      38 K=MC(I,J)+MW(I)+MMW(J)
      39 CONTINUE
      40 CONTINUE
          DO 45 I=1,M
              IF (L(I)) 45,45,41
      41 DO 44 J=1,N
              IF (MR(J)) 44,42,44
      42 IF (MC(I,J)+MW(I)+MMW(J)-K) 44,43,44
      43 MZ (I,J)=-1
      44 CONTINUE
              MW(I)=MW(I)-K
      45 CONTINUE

```



```

DO 49 J=1,N
IF (MR(J)) 49,49,46
46 DO 48 I=1,M
IF (L(I)) 48,47,48
47 MZ(I,J)=0
48 CONTINUE
MMW(J)=K+MMW(J)
49 CONTINUE
GO TO 19
50 IF (MB(J)-MM(J))51,51,52
51 K=MB(J)
GO TO 53
52 K=MM(J)
53 MB(J)=MB(J)-K
54 IF (MZ(I,J))55,55,56
55 MZ(I,J)=0
56 MZ(I,J)=MZ(I,J)+K
IF(MCOL(I)) 60,60,57
57 J=MCOL(I)
MZ(I,J)=MZ(I,J)-K
IF(MZ(I,J))59,58,59
58 MZ(I,J)=-1
59 I=MR(J)
GO TO 54
60 MA(I)=MA(I)-K
K=0
DO 61 I=1,M
61 K=MA(I)+K
IF (K) 66,62,16
C PARTE III IMPRIME LA SOLUCION
66 K=0
62 DO 64 I=1,M
DO 64 J=1,N
IF (MZ(I,J)) 65,64,63
63 K=MZ(I,J)*MC(I,J)+K
GO TO 64
65 MZ(I,J)=0
64 CONTINUE
130 DO 135 I=1,M
MZSUM=0
DO 131 J=1,N
131 MZSUM=MZ(I,J)+MZSUM
IF(MMA(I)-MZSUM) 120,135,120
135 CONTINUE
GO TO 140
120 WRITE(6,121)
121 FORMAT(// ' LA SUMA DE CANTIDADES TRANSPORTADAS ES INCORRECTA',//)
GO TO 1
140 DO 145 J=1,N
MZSUM=0
DO 141 I=1,M
141 MZSUM=MZ(I,J)+MZSUM
IF(MMB(J)-MZSUM)120,145,120
145 CONTINUE
119 WRITE(6,112)
112 FORMAT(1H1,43X, 'SOLUCION OPTIMA AL PROBLEMA DE TRANSPORTE',//)

```

```
WRITE(6,113)
113 FORMAT(/,' CANTIDADES TRANSPORTADAS',/)
WRITE(6,114)(I,I=1,14)
114 FORMAT(' ',20X,'CENTROS DE DEMANDA'//16X,20I5)
WRITE(6,115)(MZ(I,J),J=1,14)
115 FORMAT(/' SUBESTACIONES 1',20I5)
DO 116 I=2,M
116 WRITE(6,117)I,(MZ(I,J),J=1,14)
WRITE(6,113)
1113 FORMAT(///,' CANTIDADES TRANSPORTADAS (CONT)',/)
WRITE(6,1114)(I,I=15,N)
1114 FORMAT(' ',20X,'CENTROS DE DEMANDA'//17X,20I5)
WRITE(6,1115)(MZ(I,J),J=15,N)
1115 FORMAT(/' SUBESTACIONES 1',20I5)
DO 1116 I=2,M
1116 WRITE(6,117)I,(MZ(I,J),J=15,N)
117 FORMAT(15X,I2,20I5)
WRITE(6,118)K
118 FORMAT(///' COSTO TOTAL DE TRANSPORTE',//115)
GO TO 1
999 CALL EXIT
END
```

SOLUCION OPTIMA AL PROBLEMA DE TRANSPORTE

CANTIDADES TRANSPORTADAS

		CENTROS DE DEMANDA													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SUBESTACIONES	1	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	18	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	24	10	0	0	25	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	12	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	21	0	0	29	0	8	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	25	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	15

CANTIDADES TRANSPORTADAS (CONT)

		CENTROS DE DEMANDA													
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
SUBESTACIONES	1	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	2	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	6
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	7	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

COSTO TOTAL DE TRANSPORTE

56055

TABLA V

376 558-27.7 558-86.05  
 UTS - 75 -

#### 4.- RESULTADOS.

EN LOS RESULTADOS MOSTRADOS EN LA TABLA V SE OBSERVA, -- QUE CADA SUBESTACIÓN CUBRE LA CARGA REQUERIDA PARA DETERMINA-- DOS SECTORES DE DEMANDA Y EN ALGUNOS SECTORES LA DEMANDA ES CU-- BIERTA POR DOS SUBESTACIONES ASÍ, LA SUBESTACIÓN 1 CUBRE LA DE-- MANDA DEL SECTOR 2 DE 25 MVA'S Y DEL SECTOR 19 DE 27 MVA'S, -- QUEDANDO 8 MVA'S. LA SUBESTACIÓN 5 CUBRE LA DEMANDA DEL SEC-- TOR 8 DE 28 MVA'S, DEL SECTOR 20 DE 14 MVA'S Y AYUDA A LA SUB-- ESTACIÓN 8 EN EL SECTOR 11 CON 12 MVA'S, SOBRANDO 6 MVA'S. Es-- TO QUIERE DECIR, QUE LAS SUBESTACIONES 1 Y 5 MANTENDRAN UNA -- CARGA DE 52 MVA'S Y 54 MVA'S RESPECTIVAMENTE. LAS CARGAS RE-- QUERIDAS DE LOS CENTROS DE DEMANDA QUE SON ABASTECIDAS POR LAS DEMÁS SUBESTACIONES SE EXPRESAN DE IGUAL FORMA EN LA TABLA V.- A LAS SUBESTACIONES 1,2,3,4,5,6,7 Y 8 LES CORRESPONDEN LOS NO-- DOS 1,21,22,23,24,25,26 Y 27 DE LA FIG. 4.3.

LA CARGA REQUERIDA POR EL CENTRO DE DEMANDA 6 ES CUBIER-- TA CON 11 MVA'S SUMINISTRADOS POR LA SUBESTACIÓN 2 Y 10 MVA'S PROPORCIONADOS POR LA SUBESTACIÓN 3. LA DEMANDA DEL SECTOR 17 ES MANTENIDO CON LA SUBESTACIÓN 4 QUE LE SUMINISTRA 23 MVA'S Y LA SUBESTACIÓN 3 CON 1 MVA. LAS SUBESTACIONES 6 Y 7 CUBREN LA DEMANDA DEL SECTOR 12 CON 8 MVA'S RESPECTIVAMENTE.

LA TRANSFERENCIA DE CARGA ENTRE SUBESTACIONES Y CENTROS DE DEMANDA ARROJA UN COSTO TOTAL DE TRANSPORTE DE 56 055. Es-- TE VALOR NO ES EL COSTO ÓPTIMO, SIN EMBARGO SIRVE COMO REFEREN-- CIA DE COMPARACIÓN CON OTROS COSTOS TOTALES DE TRANSPORTE, HA-- CIENDO NUEVAS CORRIDAS DEL PROGRAMA, EN LAS CUALES SE CONSIDE-- RAN SECTORES DIFERENTES PARA LAS SUBESTACIONES FUTURAS HASTA -- ENCONTRAR EL COSTO ÓPTIMO DE TRANSPORTE.

## C O N C L U S I O N E S

AL DESARROLLAR LA PRESENTE TESIS HE LLEGADO A LAS SIGUIENTES CONCLUSIONES :

EL PROPÓSITO DE LA PLANEACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ES EL PROPORCIONAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN FORMA ECONÓMICA, SEGURA Y CONFIABLE A LOS USUARIOS. ESTO SE LOGRA DESPUÉS DE ANALIZAR DISTINTAS ALTERNATIVAS DE EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

EL MÉTODO DE MONTECARLO, SE USA COMO MÉTODO PREDICTIVO PARA DETERMINAR LA DEMANDA PROBABLE DE LOS CONSUMIDORES EN EL ÁREA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN. LA CARGA OBTENIDA MEDIANTE ESTE MÉTODO TIENE UNA MAYOR PROBABILIDAD DE PRESENTARSE EN EL FUTURO, QUE LAS OBTENIDAS POR MÉTODOS USUALES. UNO DE ESTOS MÉTODOS ES EL CENSO DE CARGA, EN EL CUAL SE ESTIMA LA CARGA INSTALADA PROBABLE DE CADA UNO DE LOS POSIBLES CONSUMIDORES; A CADA VALOR OBTENIDO SE LE APLICA UN FACTOR DE DIVERSIDAD Y UN FACTOR DE DEMANDA, SE ACUMULAN Y SIRVEN PARA OBTENER LA CAPACIDAD DE TRANSFORMACIÓN NECESARIA EN DICHA ÁREA.

LAS RESTRICCIONES DADAS AL PROGRAMA SON CON EL PROPÓSITO DE ESTABLECER UNA SIMULACIÓN LO MÁS APEGADA A LA REALIDAD, POR TANTO, SE DEBE ESTABLECER QUE :

- A) LA CAPACIDAD DE CADA ALIMENTADOR NO DEBE SER EXCEDIDA POR LA DEMANDA INSTALADA EN ALGUNO DE ELLOS. POR LO QUE SE HACE NECESARIA, LA TRANSFERENCIA DE CARGA ENTRE ALIMENTADORES EXISTENTES O LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS ALIMENTADORES.
- B) LA CAPACIDAD FIRME DE LA SUBESTACIÓN DE POTENCIA NO -

PUEDE SER EXCEDIDA POR LA DEMANDA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN. POR TANTO, SE PROGRAMA UN AUMENTO DE CAPACIDAD DE LA SUBESTACIÓN, SE TRANSFIERE CARGA A SUBESTACIONES VECINAS O SE CONSTRUYE UNA NUEVA SUBESTACIÓN.

EL PROGRAMA, PERMITE TOMAR DECISIONES EN LA INVERSIÓN A MEDIANO Y LARGO PLAZO. LAS INVERSIONES EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN NO DEBEN SER DESCUIDADAS A LO LARGO DE SU VIDA ÚTIL, YA QUE DE ESO DEPENDERÁ SU EXPANSIÓN. LAS DECISIONES PRESENTES DEBEN ENCAMINARSE A LAS DECISIONES FUTURAS MINIMIZANDO LOS COSTOS DE INSTALACIÓN HASTA LLEGAR A LO ÓPTIMO.

EL PROGRAMA, DA LOS DATOS SUFICIENTES PARA ESTABLECER UN PLAN ECONÓMICO DE EXPANSIÓN, PROCURANDO EL DESARROLLO DEL MODELO PARA DETERMINAR LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE SUBESTACIONES, AMPLIACIÓN ÓPTIMA DE SUBESTACIONES, CAPACIDADES ÓPTIMAS DE SUBESTACIONES Y TRANSFERENCIAS DE CARGA ENTRE SUBESTACIONES Y CENTROS DE DEMANDA.

EL USO DEL MODELO MUESTRA QUE, UNA VEZ QUE LOS DATOS HAN SIDO REUNIDOS, UN SOLO INGENIERO PUEDE COMPLETAR UN ESTUDIO EN POCO TIEMPO PARA DIFERENTES AÑOS.

LA PRESELECCIÓN DE SITIOS DE SUBESTACIÓN NO ES UN PROCEDIMIENTO ARBITRARIO. EL PRIMER LAZO EN EL DIAGRAMA DE FLUJO ( FIG. 1.1, CAPÍTULO I ), ES USADO REPETIDAMENTE PARA DETERMINAR, EL EFECTO DE VARIAS CONFIGURACIONES DE SUBESTACIÓN Y CARGAS EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO ( 10 AÑOS EN EL FUTURO ).

EL PROGRAMA DE LAS DMF ASEGURA LA MINIMIZACIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE SECTORES Y SUBESTACIONES PARA CADA PROYECTO ESTUDIADO. CON ÉSTO SE OBTIENE LA MATRIZ DE COSTOS MINIMIZADA.

LA TRANSFERENCIA DE CARGA SE ASEGURA CON EL PROGRAMA DE --  
TRANSPORTE. EL USO DEL PRONÓSTICO DE CARGA PROPORCIONA LA MA-  
TRIZ DE DEMANDA, LA CUAL SE ASOCIA A LA MATRIZ DE COSTOS PARA  
OBTENER EL COSTO MÍNIMO, LLEGANDO ASÍ, A LA SOLUCIÓN ÓPTIMA PA  
RA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN. LA EVALUACIÓN DE LOS RESULTA--  
DOS DEL PROGRAMA, PERMITE AL PROYECTISTA SELECCIONAR LOS SI---  
TIOS DE SUBESTACIÓN.

EL INGENIERO DE PLANEACIÓN ENCUENTRA UN GRAN APOYO EN EL  
USO DE LOS MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL, APLICADOS A LAS COM  
PUTADORAS. EN ESTE CASO, EL MÉTODO AYUDA EN LA SELECCIÓN DE -  
NUEVOS SITIOS DE SUBESTACIONES, DANDO LA ALTERNATIVA EN BASE -  
AL COSTO MÍNIMO DEL TRANSPORTE DE CARGA REQUERIDA POR LOS CEN-  
TROS DE CONSUMO. EL MÉTODO PUEDE SER RESUMIDO EN LOS SIGUIEN-  
TES PASOS :

- 1.- CÁLCULO DE LAS DMF DE CADA SECTOR A CADA SUBESTACIÓN.
- 2.- OPTIMIZACIÓN DE LA CARGA Y EL ÁREA DE SERVICIO POR EL  
ALGORITMO DE TRANSPORTE.
- 3.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, HACIENDO LOS CAMBIOS NECE-  
SARIOS EN EL SISTEMA, REPITIENDO LOS PASOS 1 Y 2 HAS-  
TA ENCONTRAR LA SOLUCIÓN FACTIBLE. ESTE MÉTODO NO DA  
POR SUPUESTO SOLUCIÓN EXACTA EN UNA SOLA CORRIDA PERO  
SIN EMBARGO, SI DA AL INGENIERO DE PLANEACIÓN UNA HE-  
RRAMIENTA QUE LE PERMITA EVALUAR VARIAS ALTERNATIVAS.

LA COMPUTADORA OFRECE, SIN DUDA ALGUNA, LA POSIBILIDAD DE  
MANEJAR EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON TODAS LAS ALTERNATIVAS  
DE DECISIÓN, Y GRAN CANTIDAD DE DATOS REQUERIDOS, YA QUE A ME-  
DIDA QUE CRECE DICHO SISTEMA AUMENTA LA CANTIDAD DE ALTERNATI-  
VAS EN CONJUNTO CON LA INFORMACIÓN QUE SE REQUIERE MANEJAR. --

POR LO TANTO, EL INGENIERO PROYECTISTA DEBE ENFOCAR SU ATENCIÓN A LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA, LAS CUALES PERMITEN EL USO DE LA COMPUTADORA EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE PLANEACIÓN, EN ESTE CASO, LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE SUBESTACIONES.



## B I B L I O G R A F I A

### INTRODUCCION

- 1.- ING. HUMBERTO SOLORZANO A., E ING. ROBERTO ESPINOZA L.,  
REDES DE DISTRIBUCIÓON PARA ELECTRIFICACIÓON INDUSTRIAL.  
CÍA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A., MÉXICO, D.F., AR-  
TÍCULO.
- 2.- M.J. CARSON, PH. D., C. ENG., M.I.E.E. AND G. CORNFIELD  
B. SC., A.F.I.M.A., DESIGN OF LOW-VÓLTAGE DISTRIBUTION  
NETWORKS., PROC., IEE, VOL. 120, No. 5, MAY. 1973., PA-  
PER.
- 3.- MASUD, E. AN INTERACTIVE PROCEDURE FOR SIZING AND TI---  
MING DISTRIBUTION SUBSTATIONS USING OPTIMIZACION TECHNI  
QUES. NEW YORK, JAN./FEB., 1974, PAPER T 74

### CAPITULO I

- 4.- LAWRENCE, R.F., MONTMEAT, F.E., PATTON, A.D. AND WAPPLER  
D. AUTOMATED DISTRIBUTION SYSTEMS PLANNING, IEEE TRANS.,  
1964, PP. 311-316.
- 5.- ADAMS, R.N., BEGLARI, R., LAUGHTON, M.A., AND MITRA, G.  
MATHEMATICAL PROGAMMING SYSTEMS IN ELECTRICAL POWER GENE  
RATION, TRANSMISSION AND DISTRIBUTION PLANNING. GRENO--  
BLE, SEPT. 1972, PAPER 1.1./13.
- 3.- MASUD, E. AN INTERACTIVE PROCEDURE FOR SIZING AND TIMING  
DISTRIBUTION SUBSTATIONS USING OPTIMIZATION TECHNIQUE. -  
NEW YORK, JAN./FEB., 1974, PAPER T 74.

- 6.- ADAMS, R.N. AND LAUGHTON, M.A. OPTIMAL PLANNING OF POWER NETWORKS USING MIXED-INTEGER PROGRAMMING, PROC. IEE, 1974 PP. 139-147.
- 7.- HINDI, K.S., AND BRAMELLER, A. DESIGN OF LOW-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS : A MATHEMATICAL PROGRAMMING METHOD, IBID., 1977, PP. 54-58.
- 8.- JURICEK, M.M., FUKUTOME, A., AND CHEN, M.S., TRANSPORTATION ANALYSIS OF AN ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEM.- NEW YORK, JAN. 1976, PAPER A 76 052-1.
- 9.- CRAWFORD, D.M., AND HOLT, S.B. A MATHEMATICAL OPTIMISATION TECHNIQUE FOR LOCATING AND SIZING DISTRIBUTION SUBSTATIONS AND DRIVING THEIR OPTIMAL SERVICE AREAS, IEEE TRANS., 1975, PP. 230-235.
- 10.- SHELTON, S.E., AND MAHMOUD, A.A. A DIRECT OPTIMISATION APPROACH TO DISTRIBUTION SUBSTATION EXPANSION, IEEE, -- LOS ANGELES, JULY, 1978, PPER A 78, 592-8.
- 11.- OLDFIELD, J.V., AND LANG, T. THE LONG TERM DESIGN OF - ELECTRICAL POWER DISTRIBUTION SYSTEM. IEEE, MAY, 1965, PP. 671-682.

## CAPITULO II

- 12.- ADAMS, R.N., AND LAUGHTON, M.A., A DYNAMIC PROGRAMMING NETWORK FLOW PROCEDURE FOR DISTRIBUTION SYSTEM PLANNING IBID., 1973, PP. 348-354.
- 13.- WALL, D.L., AND NORTHCOTE-GREEN, J.E.D. AN OPTIMISATION MODEL FOR PLANNING RADIAL DISTRIBUTION NETWORKS. -

- 14.- WAGNER, H., PRINCIPLES OF OPERATION RESEARCH. PRENTICE HALL, 1969.

## CAPITULO II

- 15.- DR. VICTOR GEREZ., M. AND C. MANUEL GRIJALVA., EL ENFOQUE DE SISTEMAS., LIMUSA., MÉXICO, 1978.

- 16.- ERWIN KREYSZING., INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA MATEMÁTICA PRINCIPIOS Y MÉTODO. LIMUSA., MÉXICO, 1976.

- 17.- THOMAS H. NAYLOR, JOSEPH L. BALINTFY, DONALD S. BURDICK AND KONG CHU., TÉCNICAS DE SIMULACIÓN EN COMPUTADORA., LIMUSA., MÉXICO, 1976.

- 18.- GEOFFREY GORDON., SYSTEM SIMULATION., PRENTICE HALL, -- Inc., 1978.

- 19.- JAVIER CASTRO LOPEZ. EL MÉTODO DE MONTE CARLO APLICADO A LA PREDICCIÓN DE CARGAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN -- SUBTERRÁNEA., CÍA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A. -- ( EN LIQUIDACIÓN ). ARTÍCULO.

## CAPITULO III

- 14.- WAGNER H., PRINCIPLES OF OPERATION RESEARCH., PRENTICE - HALL, 1969.

- 20.- FRANCISCO J. JAUFFRED M., ALBERTO MORENO BONETT, Y J. JESUS ACOSTA F., MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN ( PROGRAMACIÓN LINEAL-GRÁFICAS )., REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERÍA, S.A., MÉXICO, 1976.

- 21.- ADDISON., HU, T.C. INTEGER PROGRAMMING AND NETWORK FLOW. WESLEY, 1970.
- 22.- FORD AND FULKERSON., FLOW IN NETWORKS., PRINCETON UNIVERSITY PRESS, 1962.
- 23.- O.T. BOARDMAN B. AND B.W. MOGG., COMPUTER METHOD FOR DESIGN OF ELECTRICITY SUPPLY NETWORKS, PROC. IEE Vol. 119, No. 7, JULY, 1972.
- 24.- F. SUCAR S., J.G. DURAN Y C.O. SERNA., LA PLANEACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO., CÍA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A., JULIO, 1975. ARTÍCULO.

#### CAPITULO IV

- 25.- PLANO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y ÁREA METROPOLITANA, DELEGACIONES, COLONIAS Y ZONAS POSTALES., 1980., ESCALA : -- 1:33500