

621.7191
N273
C-3

PLANIFICACION Y DISEÑO
DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION
PARA UNA ZONA INDUSTRIAL

Luiz 6/3/03



TESIS

MANUEL NUÑEZ



BIBLIOTECA



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

1973

PLANIFICACION Y DISEÑO
DE UN
SISTEMA DE DISTRIBUCION
PARA UNA ZONA INDUSTRIAL

T E S I S



BIBLIOTECA

Tesis para optar el Título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Por

Manuel Núñez Borja

Director: Ingeniero Marcelo Jaramillo

Guayaquil, Ecuador

1-973

PLANIFICACION Y DISEÑO
DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION
PARA UNA ZONA INDUSTRIAL

Por


Manuel Núñez Borja.


Director de Tesis.



BIBLIOTECA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis corresponden exclusivamente al autor".



BIBLIOTECA

El Patrimonio Intelectual de esta Tesis
de Grado corresponde a la Escuela Supe-
rior Politécnica del Litoral. (Reglamen-
to de Graduación).



BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer al Sr. Ing. Dn. Marcelo Jaramillo, Profesor de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por sus valiosos consejos, sin los cuales - este trabajo no hubiera sido posible.



BIBLIOTECA

EXTRACTO DE LA TESIS

El presente trabajo tratará sobre el abastecimiento de energía eléctrica a una zona industrial; en él se hará una planificación eléctrica completa y un diseño del sistema de distribución desde la entrada al emplazamiento industrial hasta el transformador de bajada a cada una de las industrias.



BIBLIOTECA

TABLA DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTO	V
EXTRACTO DE LA TESIS	VI
LISTA DE FIGURAS	Viii
LISTA DE SIMBOLOS	x
CAPITULOS	
I. INTRODUCCION	1
II. DISEÑO DE UN MODELO DEL PROYECTO	3
A.- Formulación	3
B.- Construcción	4
III. ESTUDIO DE CARGA DE LAS INDUSTRIAS	11
A.- Cálculo de los valores eléctricos en una etapa inicial.	11
B.- Cálculo de los valores eléctricos en una etapa final.	13
C.- Estudio de demanda.	14
IV. SELECCION DE VOLTAJE DEL SISTEMA	24
V. RED DE DISTRIBUCION	29
A.- Restricciones del sistema	29
B.- Tipo de línea	29
C.- Características de la línea	30
VI. DISEÑO DE LA SUBESTACION DE DISTRIBUCION	39
A.- Modelo	39
B.- Capacidad	41
VII. ESTUDIO DE PROTECCION	54
VIII. ILUMINACION DE LA ZONA INDUSTRIAL	61
IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
APENDICES	67
BIBLIOGRAFIA	124

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
2 - 1	Ubicación de las industrias considerando la <u>polu</u> ción ambiental.	7
2 - 2	Ubicación de las industrias considerando la in- existencia de interferencia eléctrica.	8
2 - 3	Ubicación de las industrias considerando la con- fiabilidad eléctrica.	9
2 - 4	Ubicación resultante de las industrias.	10
3 - 1	Curvas de crecimiento de demanda industrial.	20
5 - 1	Circuitos de energía industrial.	37
5 - 2	Dimensiones y separación de cables.	38
6 - 1	Esquema general del sistema	45
6 - 2	Subestaciones de alimentación alternativa.	46
6 - 3	Subestaciones de subtransmisión y transforma- ción duplicada.	47
6 - 4	Subestaciones con restauración de servicio au- tomático.	48
6 - 5	Subestaciones con servicio duplicado sin inte- rrupción por fallas de subtransmisión.	49
6 - 6	Subestaciones de tipo malla concentrada	50
6 - 7	Subestaciones con arreglos especiales en las - barras.	51
6 - 8	Subestación seleccionada.	52
6 - 9	Subestación de tipo malla concentrada.	53
7 - 1	Esquema de protección del sistema.	58
7 - 2	Puntos seleccionados para cálculos de fallas.	59
7 - 3	Diagrama unifilar del sistema.	60
7 - 4	Diagrama de impedancia del sistema	60
8 - 1	Circuito de iluminación externa (baja tensión)	64
1 - 1	Diagrama de impedancia del sistema.	60
1 - 2	Circuito de Thevenin para una falla 3ϕ en B-1	121

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolos	Definición
t_1	Tiempo de funcionamiento de la industria (años)
t_2	tiempo de funcionamiento del parque (años)
t_3	tiempo en que se alcanza máxima demanda (años)
t_4	tiempo durante el cual pasa I_c (horas/año)
n	número de períodos (años)
ρ	resistividad del cable (ohmio-cm)
R	resistencia de la línea (ohmio/fase-m)
r_c	resistencia del cable (ohmio/fase-milla, ohmio/fase-m)
r_s	resistencia del blindaje (ohmio/fase-milla o ohmio/fase-m)
X	reactancia de la línea (ohmio/fase-milla o ohmio/fase-m)
X_{ds}	reactancia de separación (ohmio/milla o ohmio/m)
X_c	reactancia del cable (ohmio/fase-milla o ohmio/fase-m)
X_s	reactancia del blindaje (ohmio/fase-milla o ohmio/fase-m)
X_{Tr}	reactancia del transformador (% o p.u.)
X''_d	reactancia subtransiente del motor (% o p.u.)
X'_d	reactancia transiente del motor síncrono (% o p.u.)
Z_1	impedancia de secuencia positiva de línea (ohmio/fase-milla o ohmio/fase-m)
Z_2	impedancia de secuencia negativa de la línea (ohmio/fase-milla o ohmio/fase-m)
Z_0	impedancia de secuencia cero de la línea (ohmio/fase-milla o ohmio/fase-m)
Z''_{Th}	impedancia subtransiente de Thevenin (p.u.)
Z'_{Th}	impedancia transiente de Thevenin (p.u.)
I	corriente nominal (amperios)
I_c	corriente promedio constante en un año (amperios)
I''_f	corriente subtransiente de falla (amperios)
I''_{f-brk}	corriente subtransiente de falla por el disyuntor (amperios)
I'_f	corriente transiente de falla (amperios)
I'_{f-brk}	corriente transiente de falla por el disyuntor
I_i	corriente instantánea (amperios)

$\int e$	densidad de corriente más económica ($\frac{\text{amperios}}{\text{cm}^2}$)
S	potencia aparente (kVA)
P	potencia activa (kW)
I_n	carga después de n períodos de año (por unidad de carga inicial) (sin dimensiones)
r	razón de crecimiento de demanda anual (%)
η	rendimiento (%)
θ	ángulo entre corriente y voltaje (grados)
ϕ	fases
f.p.	factor de potencia
Tr	transformador de potencia
Ct	transformador de corriente
Pt	transformador potencial
Brk	interruptor automático
Sw	interruptor de cuchillas
f	fusible
D	distancia entre conductores de distintas fases (pulgadas)
Sa	espesor de aislamiento (pulgadas)
l	espesor de blindaje del cable (pulgadas)
Se	sección más económica
Np	precio del conductor por unidad de longitud y por unidad de sección.
a.	anualidad necesaria para amortizar el capital invertido en el número de años dados, más sus intereses (\$)
p.	valor de cada vatio-hora perdidos (\$)
v	voltios
kVA	kilovoltio - amperio
kW	kilovatio
p.u.	por unidad
P	potencia efectiva (kW)
S	potencia aparente (kVA)
X_e	reactancia equivalente(p.u.)

A MIS PADRES

INTRODUCCION

La planificación industrial es uno de los puntos que todo país, deseoso de entrar en la etapa de industrialización, debe considerar como de importancia fundamental y de primera instancia.

Entre los elementos integrantes de esta programación y para efectos de este estudio, se distingue aquél que dispone que la naciente industria obtenga un terreno apropiado y con la suficiente energía eléctrica y agua potable, a bajo precio. Este incentivo ha logrado una mejor efectivización con la creación de Parques Industriales, los que podríamos definir como terrenos industriales planificados en los que se ha combinado una serie de facilidades y servicios para las instalaciones industriales.

De las ventajas que se logran con un emplazamiento industrial de este tipo están las de disponer de: (1)

- a) Lotes de terreno urbanizados para construir y con carreteras de acceso.
- b) Edificios industriales estandarizados para la venta o alquiler.
- c) Servicios generales de carácter público.
- d) Servicios personales y sociales.
- e) Servicios industriales.
- f) Servicios comerciales.
- g) Seguridad en el suministro de servicios indispensables.

En el presente trabajo se tratará el emplazamiento industrial desde el punto de vista de abastecimiento de energía eléctrica; en él se planificará y diseñará el sistema de distribución eléctrica desde la entrada al Parque hasta el transformador de bajada a cada una de las industrias.

(1) Proyectos Industriales de Fernando Caldas y Félix Pando. Primera edición; pág. 61.

La parte de Planificación se caracterizará porque todos sus elementos y características serán el resultado de un análisis basado en datos obtenidos del Centro de Desarrollo (C.E.N.D.E.S.), de conversaciones con industriales y de las publicaciones "Industrial Power System Handbook" de Donald Beeman y Bases para una Política de Fomento Industrial en el Ecuador de E. J. Waygard.

Con respecto a la parte de Diseño Eléctrico, éste será el resultado de aplicar, en la forma más adecuada, los conceptos, fórmulas y datos que aparecen en los libros y folletines enlistados bajo el título de Bibliografía (pág 124).

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO DEL PROYECTO

Como se dijo anteriormente, el objeto de esta tesis es, elaborar un método de estudio eléctrico para un Parque Industrial; siendo este método de carácter ilustrativo, se lo desarrolla por medio de un modelo en el cual se distinguen dos aspectos:

- A.- Formulación
 - B.- Construcción
- } Modelo

A.- Formulación del modelo.-

En esta primera parte se exponen ciertas características que el diseño debe tener, como son:

- 1.- Reflejar la tendencia industrial del Ecuador, imagen que se logra seleccionando las industrias en base a:
 - a) Prioridad de la agroindustria.
 - b) Industrias actuales cuya producción es insuficiente para un mercado local, seguro y siempre creciente.
 - c) Industria de promisorio mercado subregional (Mercado Andino y Latinoamericano).
- 2.- Adaptar su alimentación de energía eléctrica al Programa de Desarrollo Eléctrico Nacional.

En vista de ser una provincia de la Costa y de tratar de lograr que el Parque Industrial cuente con doble alimentación surgen dos formas de abastecimiento de energía:

- a.- Alimentación del sistema por medio de un ramal de sub-transmisión proveniente de una central hidroeléctrica lejana y de un ramal de un anillo de energía que une dos centrales termoeléctricas locales.
- b.- Alimentación del sistema por medio de dos ramales provenientes de dos puntos del anillo de energía que une las dos centrales termoeléctricas locales.

Seleccionar una de las dos alternativas es un paso prematuro ya que la mayor o menor factibilidad de cualesquiera de las dos alternativas depende del lugar exacto donde va a ir ubicada la zona industrial. En esta tesis se trabajará con la alternativa a.-) y en caso de presentarse, posteriormente, una mayor posibilidad de la alternativa b.-), se podrá adaptar fácilmente el estudio a esta posibilidad, realizando cambios

en ciertos párrafos que no alteran en absoluto el estudio eléctrico realizado.

B.- Construcción del modelo.-

En esta segunda parte se encara el problema de la localización de las industrias. En su desarrollo se podrá ir observando que el patrón urbanístico utilizado tiene un carácter simplista, que a veces raya en lo superficial, pero que es el que mejor se presta para nuestra finalidad de presentar un estudio eléctrico conciso de una zona industrial. Para la construcción del modelo se ha necesitado realizar la numeración, definición, clasificación y ubicación de las distintas industrias participantes.

En la numeración y definición siguiente se enlistan los nombres, símbolos y el área correspondiente a cada una de las industrias y de las zonas no fabriles inherentes a toda zona industrial, las mismas que se caracterizan por una enorme extensión de terrenos en previsión a futuras expansiones.

A.- Beneficios comerciales y sociales de una zona industrial.

$$A-1. = 200 \times 150 = 30.000 \text{ m}^2$$

$$A-2. = 100 \times 100 = 10.000 \text{ m}^2$$

B.- Beneficios industriales.

$$B-1. = 100 \times 150 = 15.000 \text{ m}^2$$

$$B-2. = 100 \times 150 = 15.000 \text{ m}^2$$

$$B-3. = 200 \times 150 = 30.000 \text{ m}^2$$

C.- Industrias de alimentos.

$$C-1. = 100 \times 150 = 15.000 \text{ m}^2$$

$$C-2. = 100 \times 100 = 10.000 \text{ m}^2$$

$$C-3. = 100 \times 150 = 15.000 \text{ m}^2$$

$$C-4. = 200 \times 150 = 30.000 \text{ m}^2$$

D.- Industrias de aceites y grasas.

$$D-1. = 100 \times 150 = 15.000 \text{ m}^2$$

E.- Industrias varias.

$$E-1. = 100 \times 50 = 5.000 \text{ m}^2$$

$$E-2. = 150 \times 100 = 15.000 \text{ m}^2$$

$$E-3. = 200 \times 100 = 20.000 \text{ m}^2$$

F.- Industrias metal mecánica.

$$F-1. = 150 \times 100 = 15.000 \text{ m}^2$$

$$F-2. = 150 \times 200 = 30.000 \text{ m}^2$$

G.- Industrias madereras.

$$G-1. = 150 \times 300 = 45.000 \text{ m}^2$$

$$G-2. = 150 \times 100 = 15.000 \text{ m}^2$$

H.- Industrias textiles.

$$H-1. = 150 \times 100 = 15.000 \text{ m}^2$$

$$H-2. = 150 \times 300 = 45.000 \text{ m}^2$$

I.- Industrias de alimentos balanceados.

$$I-1. = 150 \times 200 = 30.000 \text{ m}^2$$

Una definición más completa de las industrias y zonas de fábricas arriba enlistadas se tiene en el apéndice A. (Pág. 67)

Para lograr la clasificación y ubicación de las industrias en el terreno, se ha tomado en cuenta los tres factores siguientes:

- a.- La contaminación ambiental
- b.- La interferencia eléctrica
- c.- La confiabilidad de servicio

a.- Contaminación ambiental.-

Considerando que la contaminación ambiental producida por una fábrica no afecte al producto elaborado por una entidad vecina, se tienen dos grupos de industrias:

i.- El primer grupo, compuesto por industrias que producen poca contaminación ambiental, incluye a:

A-1, A-2, B-1, B-2, B-3, C-1, C-2, C-3, C-4, D-1, E-1, E-2, E-3, H-1.

ii.- El segundo grupo que incluye industrias de gran contaminación ambiental, pero cuyos efectos recíprocos les son indiferentes, está compuesto por:

F-1, F-2, G-1, G-2, H-2, I-1.

b.- Interferencia eléctrica.-

Si se toma en cuenta que existen fábricas cuyos procesos pueden o no producir alteraciones eléctricas en industrias vecinas y en el sistema en general, se obtienen dos grupos de industrias:

i .- Industrias de cargas eléctricas estables:

A-1, A-2, B-1, B-2, C-1, C-2, C-3, D-1, E-1, E-2, E-3,
H-1, H-2, G-1, I-1.

ii.- Industrias con efectos eléctricos sobre otras industria
y el sistema, debido a que tienen grandes motores de in
ducción, fundidoras, soldadoras, etc.:

B-3, C-4, F-1, F-2.

c.- Confiabilidad de servicios.-

Considerando el tercer criterio, el de confiabilidad eléctri
ca, aparecen dos tipos de industrias:

i .- Industrias que sufren un gran trastorno al faltarles -
electricidad.

A-1, A-2, B-1, B-3, D-1, E-3.

ii.- Industrias en las que una desenergización del sistema -
no les produce una perturbación crítica.

B-1, C-1, C-2, C-3, C-4, E-2, H-1, G-1, G-2, I-1.

Una vez lograda estas tres clasificaciones, se las esquema
tizan en las figuras 2-1 (Pág. 7), 2-2 (Pág. 8) y 2-3 (Pág.
9) respectivamente. En cada una de estas figuras se ob
serva dos bloques que son los que representan los dos gru
pos de cada clasificación.

En los bloques de cada una de las figuras se observa un or
denamiento interno que resulta: de tratar de lograr una ma
yor proximidad entre las industrias de productos semejantes
y de querer obtener, con la superficie ya establecida para
cada industria, el menor area global posible.

De las tres figuras existentes se desea obtener un esquema
final en que estén considerados la contaminación ambiental,
la interferencia eléctrica y la confiabilidad eléctrica. Pa
ra obtener la figura resultante, se trabaja con los tres es
quemas parciales y en los casos en que se presenten superpo
sición de industrias, se considera la contaminación ambien
tal como el factor preponderante.

El resultado de este trabajo es la figura 3-4 (Pág. 10) que
representa la ubicación final de las industrias y una area
global igual a $700 \times 800 \text{ m}^2$.

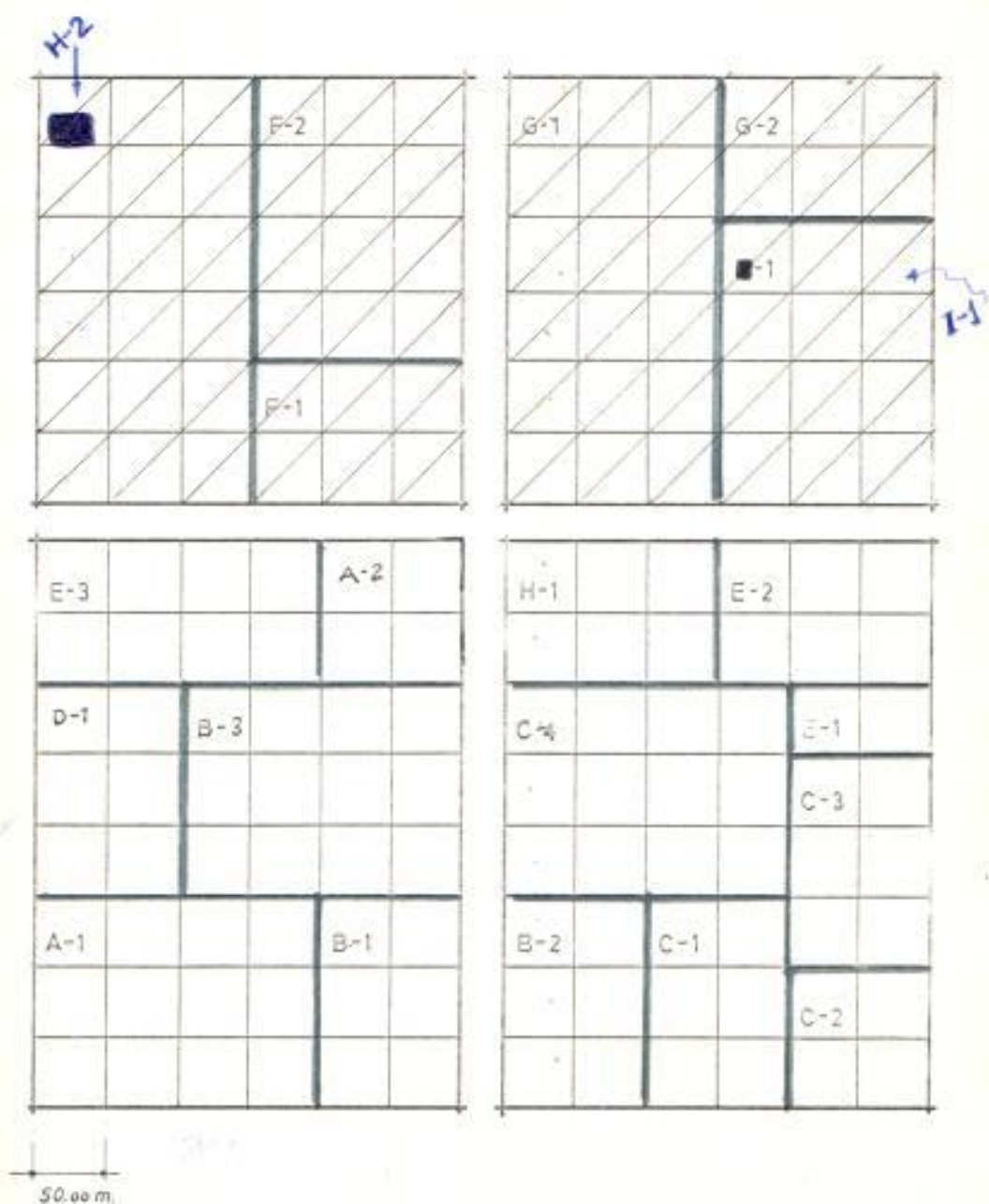


fig. 2-1 Ubicación de las industrias considerando la polución ambiental.

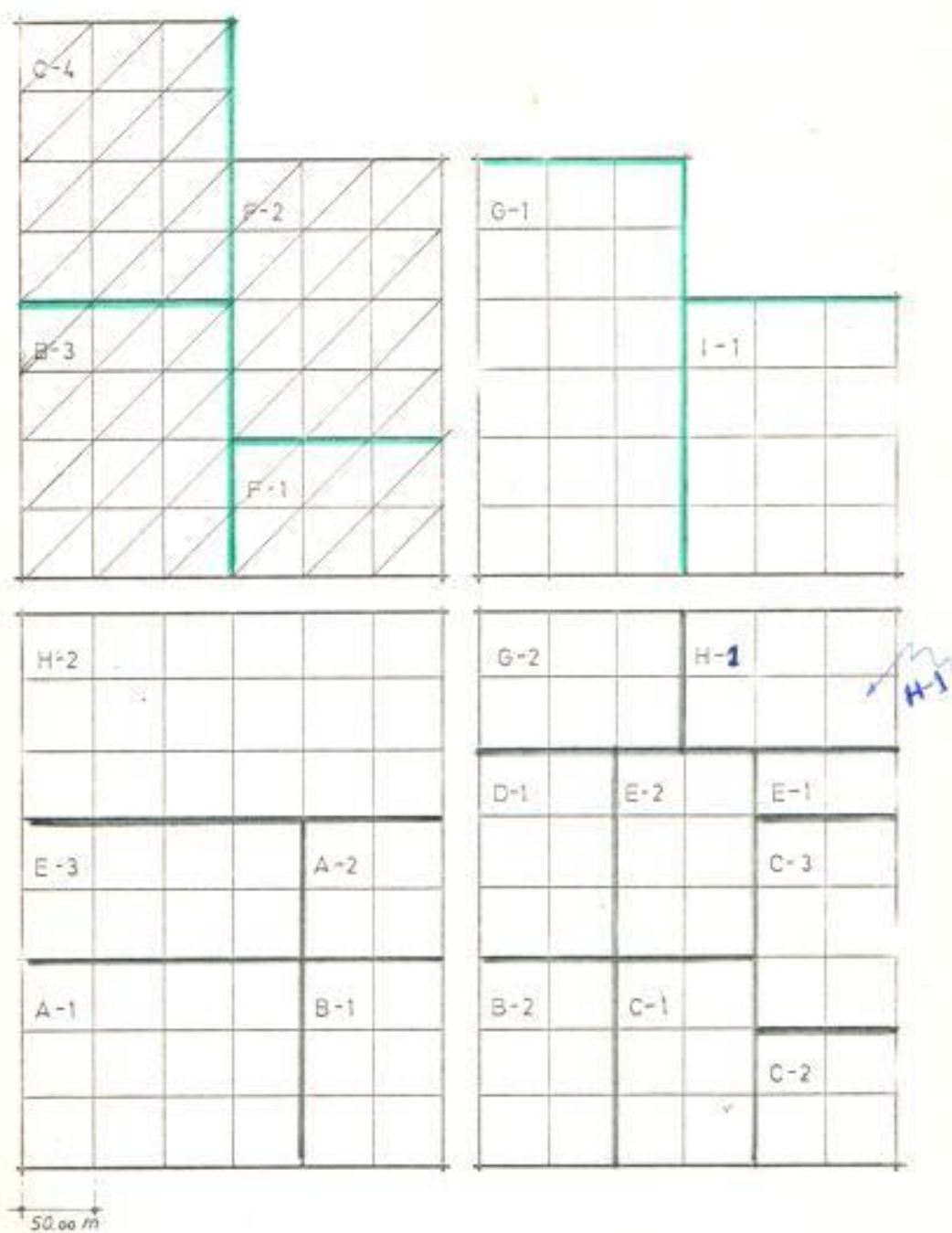


fig. 2-2 Ubicación de las Industrias considerando la inexistencia de interferencia eléctrica.

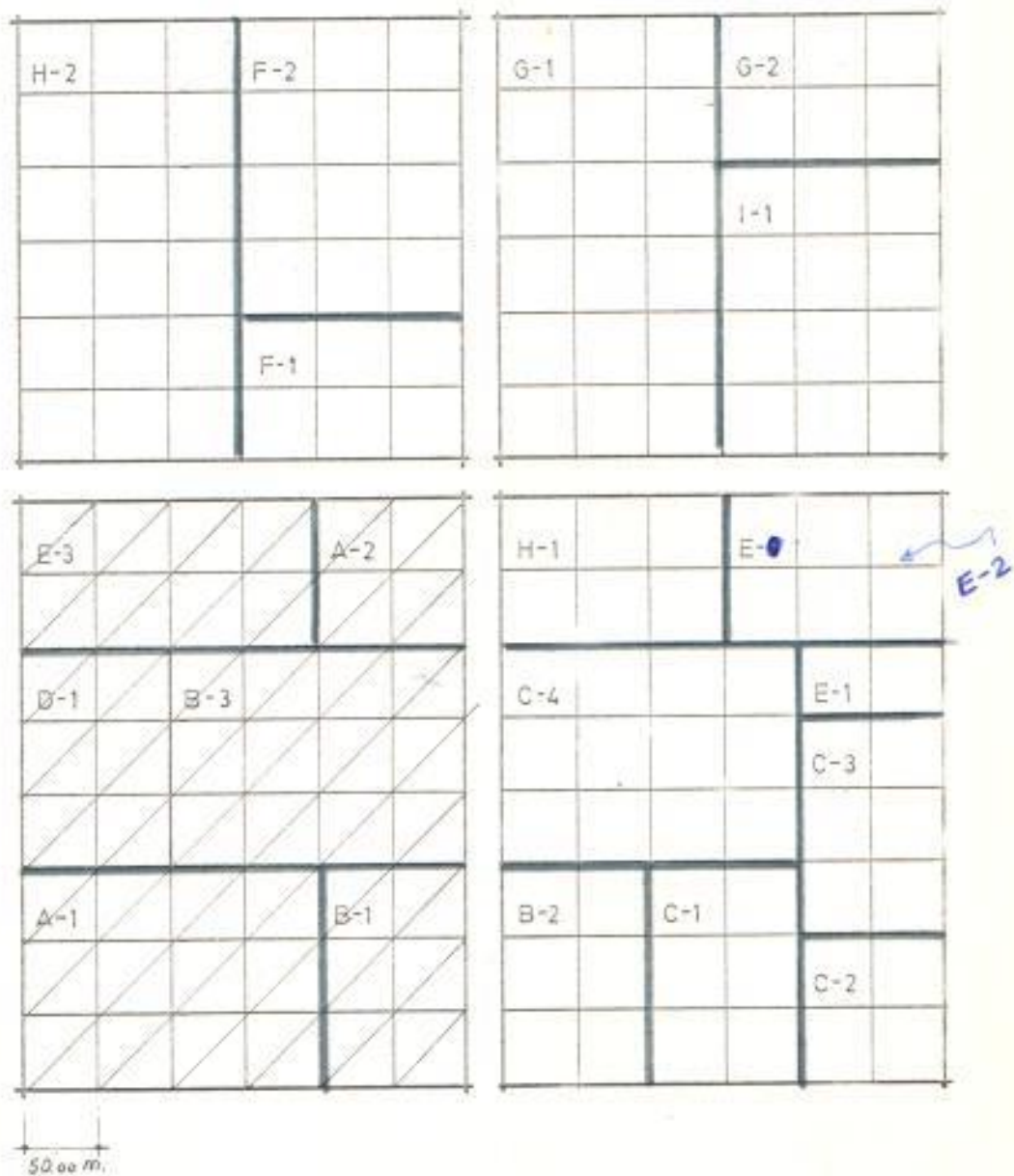


fig. 2-3 Ubicación de las industrias considerando la confiabilidad eléctrica.

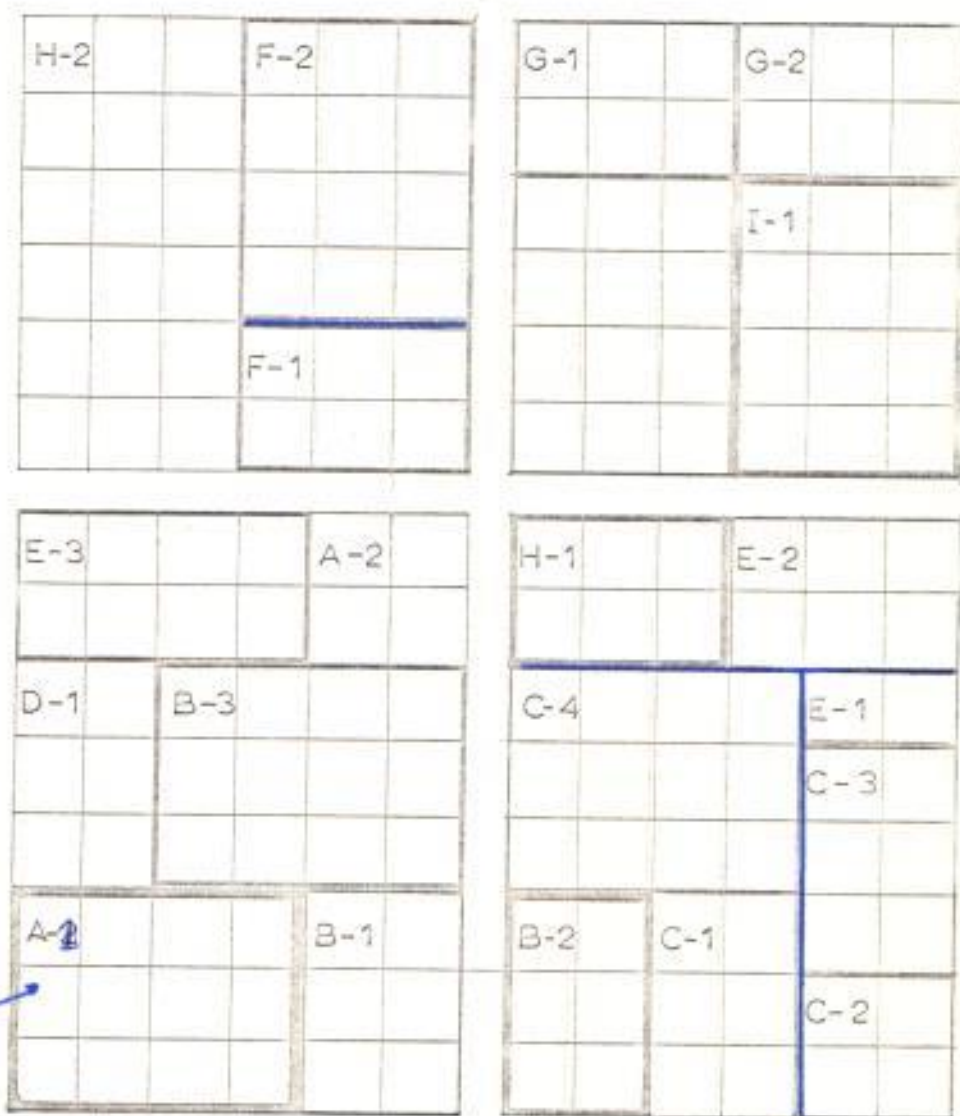


fig. 2-4 Ubicación resultante de las industrias.

ESTUDIO DE CARGA DE LAS INDUSTRIAS

Para poder realizar un diseño eléctrico se necesita conocer la magnitud, tipo y crecimiento de la carga que se va alimentar. Como nuestra finalidad es diseñar un sistema de distribución eléctrico para un Parque Industrial, en este capítulo realizamos un estudio de las características de carga de cada una de las industrias que consiste en:

- A.- Calcular los valores o características eléctricas en una etapa inicial.
- B.- Calcular los valores eléctricos en una etapa final.
- C.- Realizar un estudio del crecimiento de demanda anual.

A continuación se expone el desarrollo de cada una de las tres partes que componen este estudio de las características eléctricas.

A.- Cálculo de los valores eléctricos en una etapa inicial.-

Se ha escogido el octavo año de creado el Parque como la fecha más indicada para realizar el cálculo de las características eléctricas en una etapa inicial, por suponerse que para esta época el parque estará copado por las industrias que paulatinamente se irán estableciendo.

El desarrollo mismo, de esta primera parte del estudio de las características de carga, se inicia definiendo los llamados valores eléctricos cuyas magnitudes se van a calcular o obtener directamente de tablas existentes:

* Cantidad preestablecida =

Valor obtenido de algunas tablas que contienen valores eléctricos promedio para cierto tipo de industria (2)

- 1 Carga conectada = la potencia que suma los motores instalados.
- 2 Voltaje = el valor de baja tensión de los transformadores de alimentación (voltios)
- 3 Factor de potencia = factor de potencia de toda la planta cuando se tiene la potencia promedio de utilización.

(2) "Industrial Power System Handbook" de Donald Beeman, Cap. XVII; tablas 17-1, 17-2, 17-3, 17-4, 17-5, 17-6.

- 4 Demanda diversificada = demanda de todas las cargas de la planta como un todo. Este valor es el que se lee en los medidores. (kVA)
- 5 Capacidad instalada = la potencia de placa de los transformadores de alimentación. (kVA)
- 6 Demanda no coincidente = la suma de las demandas individuales de las máquinas. (kVA)
- 7 Potencia promedio = el valor generalmente presente en el proceso de la planta industrial (kVA o kw)
- 8 Densidad de capacidad instalada = $\frac{\text{potencia instalada}}{\text{area}}$ ($\frac{\text{kVA}}{\text{m}^2}$)
- 9 Densidad de demanda = $\frac{\text{demanda diversificada}}{\text{area}}$ ($\frac{\text{kVA}}{\text{m}^2}$)
- 10 Factor de demanda = $\frac{\text{demanda diversificada}}{\text{carga conectada}}$
- 11 Factor de utilización = $\frac{\text{demanda diversificada}}{\text{potencia instalada}}$
- 12 Factor de carga = $\frac{\text{kVA promedio en 24 horas}}{\text{demanda máxima}} \times 100\%$
- 13 Energía anual = potencia promedio \times $\frac{\text{horas}}{\text{año}}$ ($\frac{\text{kw} \cdot \text{hr}}{\text{año}}$)
- 14 Crecimiento de demanda = razón de crecimiento anual de la demanda diversificada $\times 100\%$

En el estudio que se realiza, junto con los valores eléctricos, aparecen ciertas características no eléctricas pero necesarias para el diseño que se quiere realizar. A continuación definiremos estas características:

Descripción.- definición y enumeración de ciertas características propias de cada industria.

Area total = los m^2 que ocupa la industria

Area activa = el área excluido las calles y espacios verdes

t_1 = tiempo de funcionamiento de la industria (años)

t_2 = tiempo de funcionamiento del parque (años)

$\frac{\text{horas}}{\text{año}}$ = el tiempo de trabajo anual

Una vez que se han definido las características eléctricas se procede con los cálculos correspondientes a cada una de las industrias y se obtienen los resultados que aparecen reunidos en la tabla 3-1 de la página 16 .

En vista que en la tesis solo aparecen los resultados de los cálculos realizados, se ha creído necesario, para una mejor comprensión, exponer todos los cálculos en el Apéndice B (Pág. 17) y en el Apéndice C (Pág. 73).

B.- Cálculo de los valores eléctricos en una etapa final.-

Se ha escogido el vigésimo tercer año de fundado el Parque como la fecha más indicada para realizar el cálculo de las características eléctricas en una etapa final, porque se supone que para esta época todas las industrias habrán alcanzado su máxima producción y por tanto su máxima demanda que es un valor bastante importante para nuestro trabajo.

Las definiciones y los cálculos de esta parte son semejantes a los del período inicial. Las únicas diferencias que se observan son:

- 1.- Los cálculos se hacen con los valores correspondientes a los 23 años de creado el Parque.
- 2.- Aparece en estos cálculos un valor t_3 que corresponde a la fecha en que cada industria alcanza su máxima demanda.
- 3.- Desaparece el valor correspondiente al crecimiento de demanda en vista que las industrias para esta fecha se supone -- han alcanzado su máxima demanda y no habrá un crecimiento posterior de la misma.
- 4.- Los resultados, aparecen reunidos en la tabla 3-2 de la página 17.
- 5.- Los cálculos de las características eléctricas de cada una de las industrias en la etapa final, aparecen expuestos en el Apéndice D (Pág. 95).

Si se revisan los resultados que aparecen en la tabla 3-2, se observará un exceso de capacidad de transformación instalada en relación con la demanda diversificada máxima de cada una de las industrias; este exceso de capacidad instalada no es más que el grado de seguridad que este proyecto debe tener.

C.-Estudio de la demanda eléctrica anual.-

Una de las facetas más importantes del estudio de las características de carga es el conocimiento del crecimiento de demanda anual de cada una de las industrias y de todo el Parque Industrial. Se dice que esta parte es importante porque nos indica la carga máxima que año a año se tendrá en el sistema, factor éste sin el cual no se puede diseñar el sistema de distribución eléctrica apropiado.

El estudio de demanda que se va a realizar comprende un período de quince años o sea el lapso comprendido entre el octavo y el vigésimo tercer año de fundado el Parque. Se escogió este período de 15 años porque:

- 1.- Si se realiza un estudio de demanda en un período mayor, éste resultaría incierto.
- 2.- El estudio de demanda en este lapso, incluye los datos necesarios para diseñar el sistema eléctrico del Parque Industrial. Esto no sucede con un estudio en un período menor.

El método de estudio es de carácter gráfico y para su desarrollo nos valemos de los datos de la tabla 3-3 (Pág. 18), formada con valores de las tablas 3-1 (Pág. 16) y 3-2 (pág. 17) de la fórmula de crecimiento de demanda siguiente:

$$L_n = (1 + r)^n \quad (3)$$

L_n = carga después de n años (p.u.)

r = razón de crecimiento anual (p.u.)

n = número de años

Procediendo se obtienen las curvas de la Fig. 3-1 (Págs 20; 21; 22; 23).

(3) "Distribution System" Volumen 3 de la Westinghouse Tercera Edición; Capítulo 2, página 52.

Como se podrá ver las curvas resultantes de este método gráfico no sólo nos indican la carga que soportará el sistema año a año sino que también nos dan una idea de la forma de crecimiento de las industrias.

Una vez que se ha obtenido los valores eléctricos y las curvas de demanda se puede decir que se conoce la magnitud, tipo y crecimiento de la carga correspondiente a cada una de las industrias y al Parque Industrial; por tanto, con este conocimiento adquirido, se procede a diseñar el sistema eléctrico que alimentará el Parque Industrial, para lo cual se comienza con la selección del voltaje más adecuado.

INDUSTRIA	AREA TOTAL	FUNCIÓN- MATERIO M	CARGA CONEC- TADA. KW	VOLTAGE VOLT.	F.P.	C.P.C.M. INSTALA- DA. KVA	POTENCIA PROMEDIO KW	DEMANDA DIVERSI- FICADA.	DEMANDA NO. COMUN- TE	DENSID DE CA- PACI- TALADA	DENSID DE DE- MANDA KVA/MT	FACTOR DE DE- MANDA %	FACTOR DE DE- MANDA VERSIC	FACTOR DE UTILID.	FACTOR DE CARGA	ENERGIA KW-PP /HR	CRECIM EN %		
A-1	30000	5	10x250	300	220	0.8	300	120	91	200	250	10	6.66	0.66	1.25	0.60	2.66	228000	2.65
A-2	10000	7	2x350	310	220	0.8	112.5	35	28	50	75	11.25	5	0.455	1.5	0.4	73.6	242000	
B-1	15555	5	8x250	180	440	0.8	225	60	64	120	150	15	8	0.667	1.25	0.527	23.6	128000	5.34
B-2	15000	5	8x250	200	440	0.8	225	85	68	130	160	15	8.7	0.65	1.23	0.58	24.0	136000	3.5
B-3	30000	6	2x350	140	440	0.8	180	50	42.5	70	100	62.5	2.3	0.5	1.425	0.388	75	367000	6
C-1	15500	7	15x250	350	440	0.8	330	171	140	195	230	25	13	0.558	1.18	0.576	52	560000	4
C-2	15000	4	8x250	80	440	0.8	75	27	21	40	50	25	4	0.5	1.25	0.66	23.8	42000	2
C-3	15000	3	6x250	200	440	0.8	187.5	67	54	100	124	12.5	6.67	0.5	1.24	0.56	23.7	109000	6
C-4	35050	3	2x350	450	440	0.9	600	216	194	282	340	20	9.4	0.627	1.24	0.47	79.5	1680000	45
D-1	15500	3	10x250	240	440	0.8	300	100	82	126	180	20	8.4	0.525	1.323	0.42	34	215000	7
E-1	5000	3	6x250	60	440	0.9	75	18	20	25	45	15	5	0.617	1.8	0.33	25.2	30000	9
E-2	15000	7	15x250	120	440	0.8	150	36	45	55	70	10	3.66	0.458	1.27	0.367	46.5	173000	3
E-3	5000	4	6x250	200	440	0.8	300	120	98	140	160	15	7	0.7	1.15	0.457	32.5	192000	5
F-1	15500	7	15x250	300	440	0.8	300	151	121	180	240	20	12.6	0.54	1.27	0.63	55	484000	4
F-2	30000	3	10x300	650	440	0.8	725	300	240	300	500	241	12	0.55	1.35	0.5	67	1250000	3
G-1	45000	3	2x350	600	440	0.87	725	220	176	252	340	162	5.1	0.42	1.35	0.348	68	150000	8
G-2	15000	5	8x250	170	440	0.8	187.5	80	64	100	130	12.5	6.66	0.625	1.3	0.533	27.5	128000	5
H-1	15000	5	8x250	100	440	0.8	112.5	40	32	50	75	7.3	3.34	0.5	1.5	0.417	27.4	64000	5
H-2	45000	4	2x300	600	440	0.9	1000	320	268	400	600	244	8.9	0.5	1.5	0.4	62.5	2480000	6
I-1	20000	5	6x250	310	440	0.8	500	150	120	214	250	16.7	7.13	0.69	1.21	0.43	24.7	240000	6

LINEA	AREA TOTAL m ²	FUNCIONAMIENTO		CARGA kVA	F.R.	VOLTAJE Volt	CAPACIDAD INSTALADA kVA	POTENCIA PROMEDIO kVA	DEMANDA MÁXIMA CARGA kVA	DEMANDA MÁXIMA DE CARGA INSTALADA	DEMANDA DE MÁXIMA DEMANDA kVA/m ²	FACTOR DE DEMANDA	FACTOR DE UTILIZACION	FACTOR DE CARGA	RENTA \$/m ²
		T ₁	T ₂												
A-1	30000	20	15	400	0.81	220	300	180	144	280	320	1.14	0.934	23	266000
A-2	50000	22	20	140	0.8	220	112.5	50	40	75	100	1.35	0.66	71.4	345000
B-1	15000	21	18	270	0.82	440 220	225	150	120	180	220	1.22	0.8	31.6	300000
B-2	15000	20	17	275	0.82	440 220	225	104	135	150	230	1.21	0.84	35.6	338000
B-3	30000	21	18	250	0.83	440 220	187.5	100	83	140	180	1.29	0.745	75	725000
C-1	15000	22	16	400	0.85	440 220	337.5	208	294	290	350	1.21	0.88	82.8	200000
C-2	10000	19	15	160	0.8	440 220	75	50	40	70	90	1.28	0.935	53	360000
C-3	15000	18	13	220	0.85	440 220	187.5	106	90	145	200	1.36	0.743	50	300000
C-4	10000	20	18	700	0.87	440 220	600	452	382	500	630	1.26	0.895	92	243000
D-1	15000	18	11	360	0.85	440 220	300	220	187	260	360	1.23	0.865	54.4	248000
E-1	5000	18	10	90	0.9	440 220	75	50	45	60	75	1.25	0.8	57	180000
E-2	15000	22	20	210	0.85	440 220	150	115	98	130	170	1.3	0.867	89	840000
E-3	20000	19	16	400	0.84	440 220	300	210	177	250	340	1.41	0.835	57.5	705000
F-1	15000	22	16	370	0.85	440 220	300	212	180	280	330	1.28	0.914	78.6	1300000
F-2	16000	18	16	800	0.8	440 220	925	500	400	600	750	1.25	0.83	85.2	3450000
G-1	45000	16	13	650	0.87	440 220	725	500	435	595	750	1.26	0.80	86	2700000
G-2	15000	21	16	230	0.82	440 220	187.5	120	98	166	200	1.25	0.845	80	380000
H-1	15000	20	15	170	0.82	440 220	112.5	80	65	90	130	1.45	0.72	60.4	280000
H-2	45000	19	15	1400	0.9	440 220	1100	950	855	1050	1250	1.19	0.955	91.4	700000
I-1	30000	20	16	600	0.8	440 220	600	360	304	420	520	1.23	0.84	67	126000

INDUSTRIA	DEMANDA kVA		t_1	DEMANDA MÁXIMA kVA			t_3	t_5	RAZÓN DE CRECIMIENTO	CRECIMIENTO PROYECTO		
	kV	kV		kV	t_2	t_4				t_6	t_7	t_8
A-1	200	280	5	15	18	285						
A-2	50	75	7	20	21							
B-1	120	180	6	16	20	534						
B-2	130	190	5	17	20	3.8						
B-3	70	140	6	18	20	6						
C-1	195	290	7	16	17	4						
C-2	40	70	4	16	20	5						
C-3	100	145	3	13	18	6						
C-4	262	500	5	16	21	4.5						
D-1	125	260	3	11	16	7			40	7	12	

Tabla 3-3

INDUSTRIA	DEMANDA $t_2 = t_3$		DEMANDA MAXIMA			RAZÓN DE CRECIMIENTO %	CRECIMIENTO BRUSCO		
	kVA	t_1	kVA	t_3	t_4		kVA	t_1	t_2
E-1	25	3	60	15	21	7			
E-2	55	2	130	20	21	3-5	32	10	11
E-3	140	4	250	16	20	5			
F-1	189	7	280	16	17	4			
F-2	350	3	600	16	21	3	70	10	15
G-1	252	3	595	13	18	8	60	7	12
G-2	100	6	166	16	18	5			
H-1	50	5	90	15	18	5	10	5	8
H-2	400	4	1050	19	23	6			
I-1	214	5	450	16	19	8			

Tabla 3-3

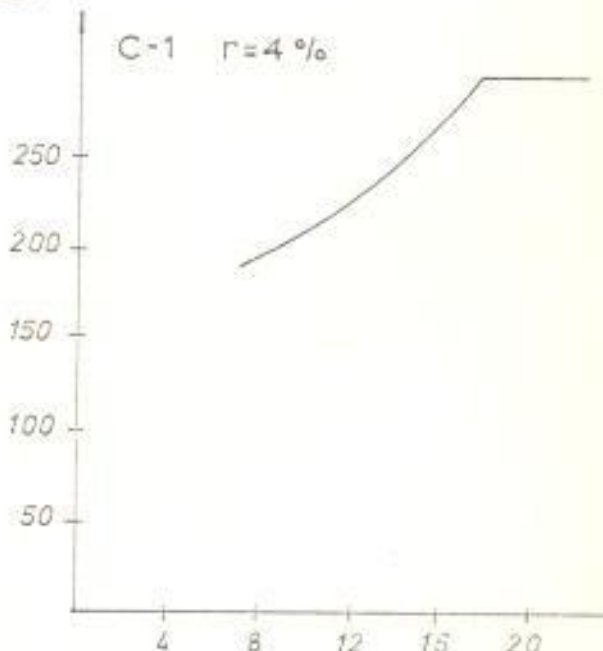
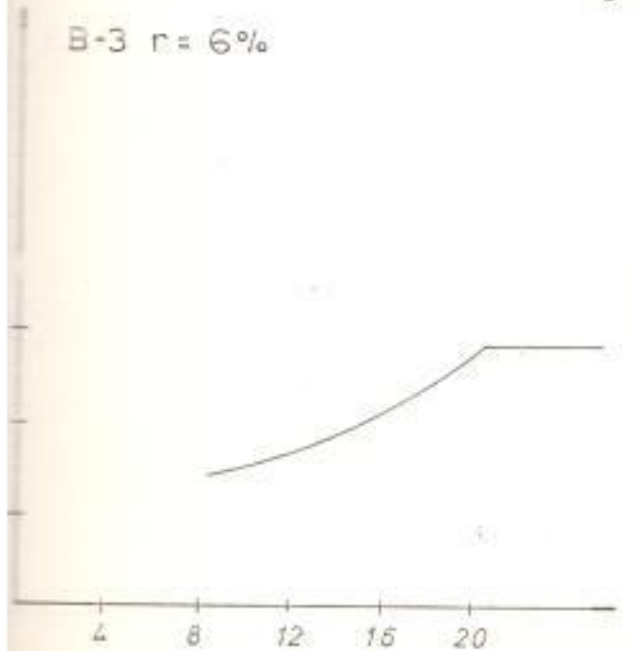
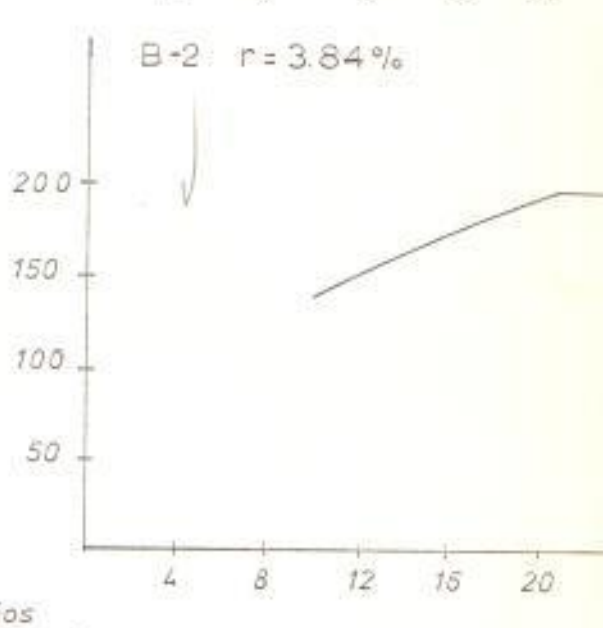
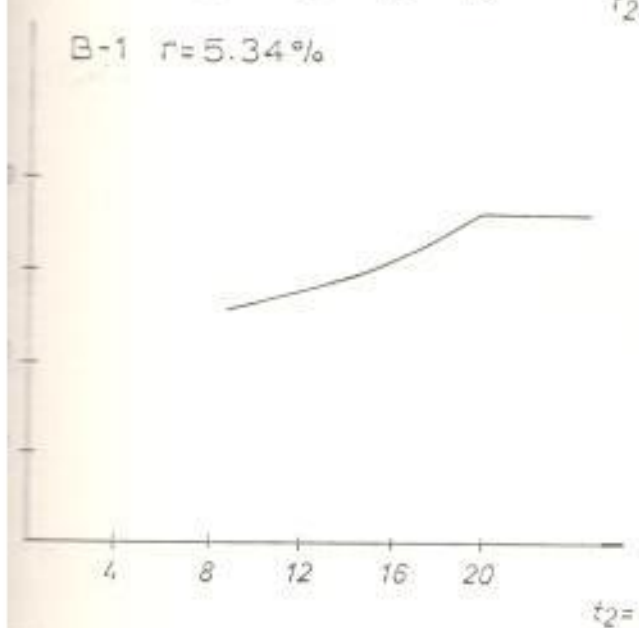
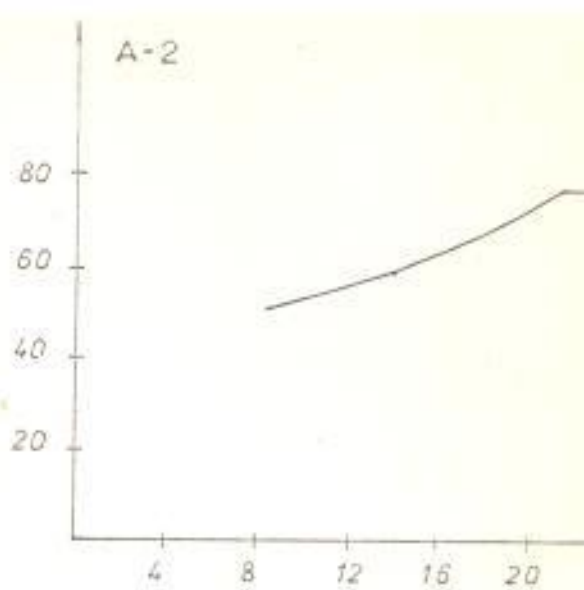
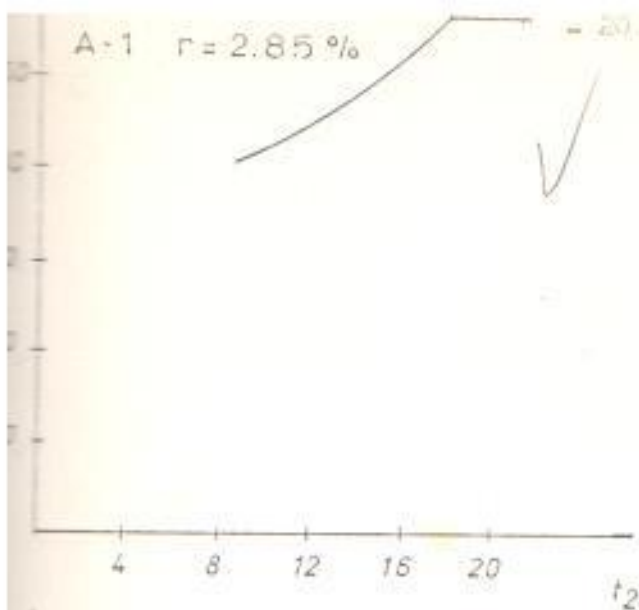
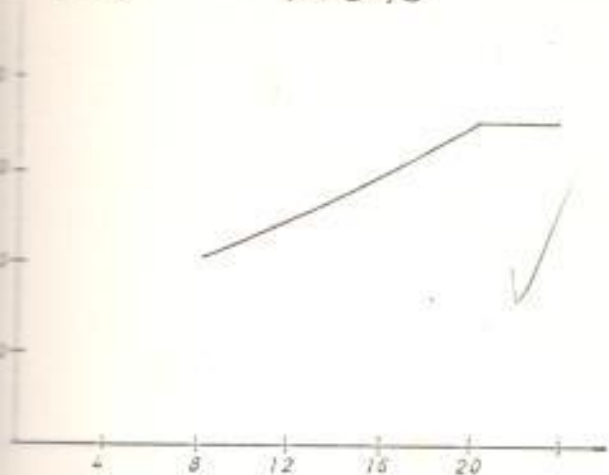


fig. 3-1 Curvas de crecimiento de demanda

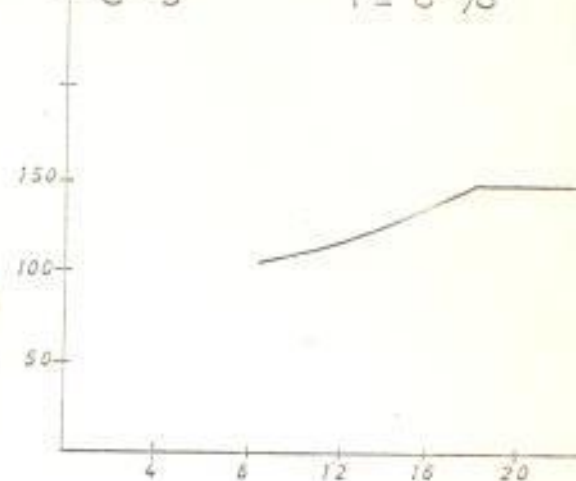
C-2

$r = 5\%$



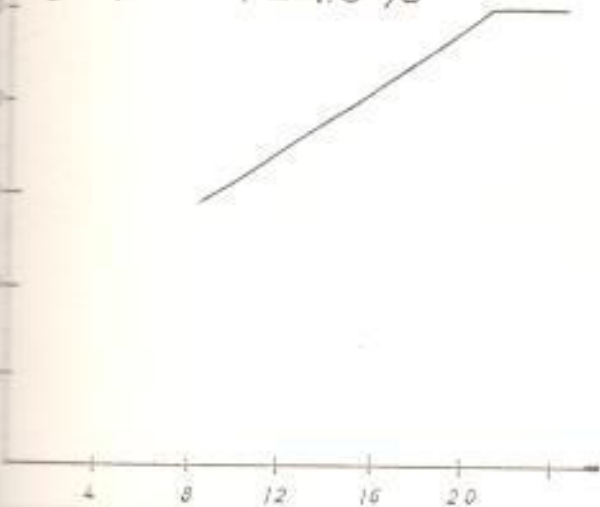
C-3

$r = 6\%$



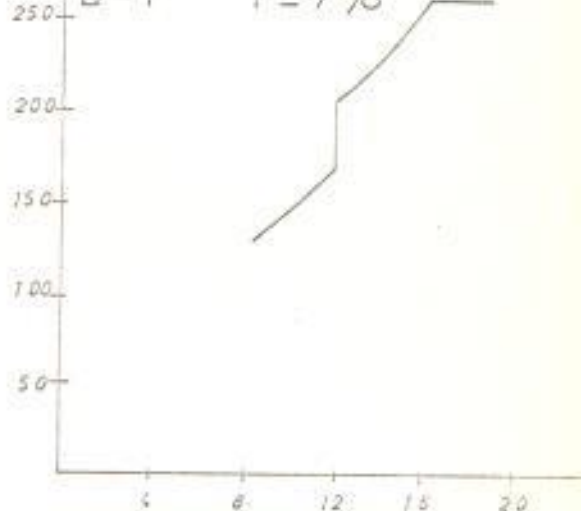
C-4

$r = 4.5\%$



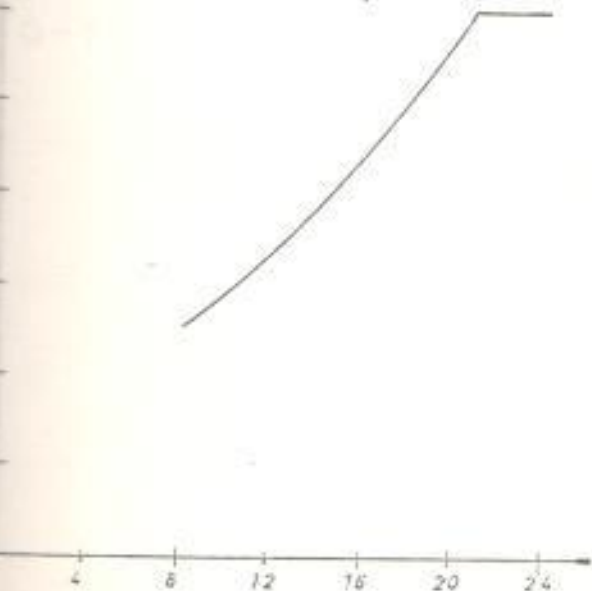
D-1

$r = 7\%$



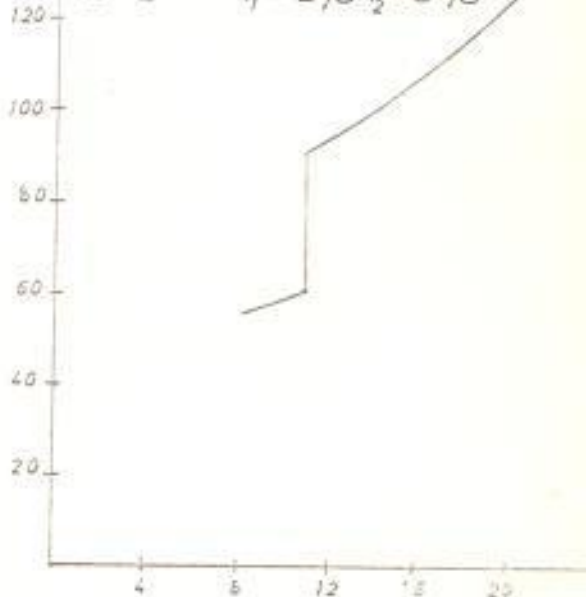
E-1

$r = 7\%$



E-2

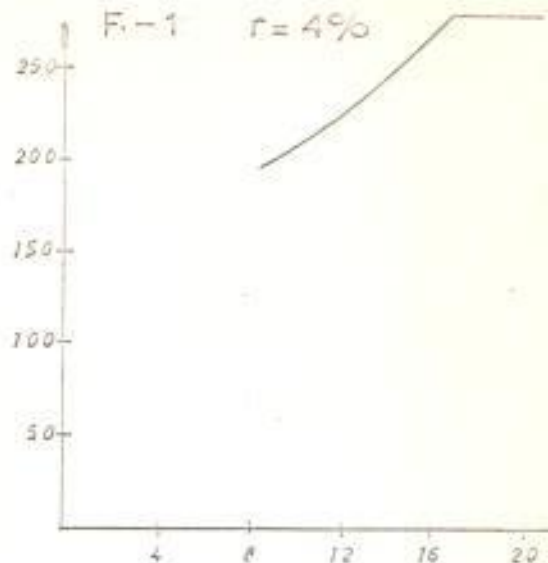
$r_1 = 2\%$ $r_2 = 3\%$



E-3 $r = 4,95\%$



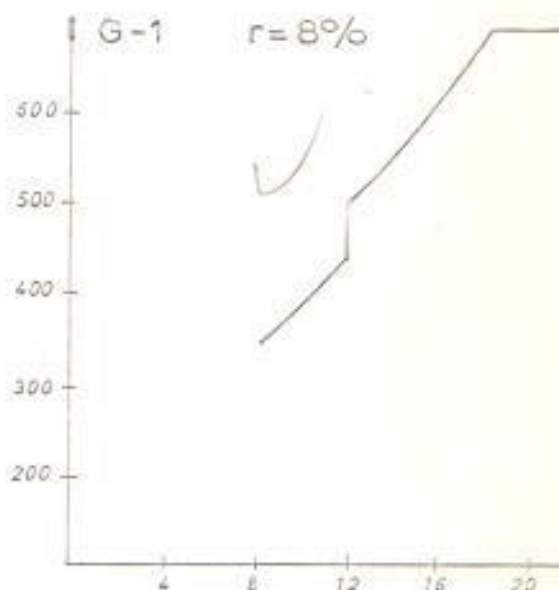
F-1 $r = 4\%$



F-2 $r = 3\%$



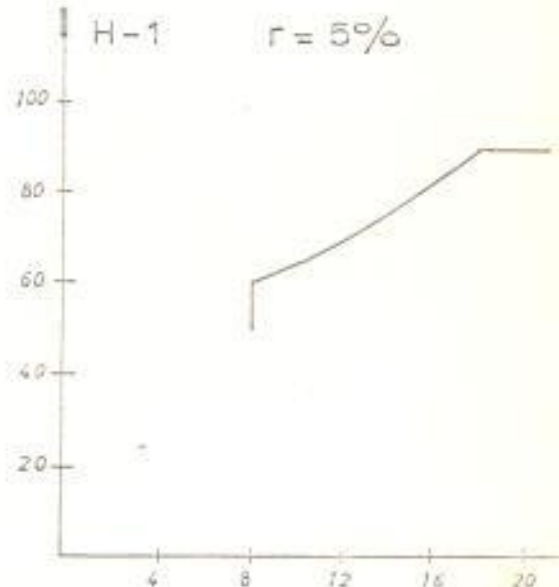
G-1 $r = 8\%$



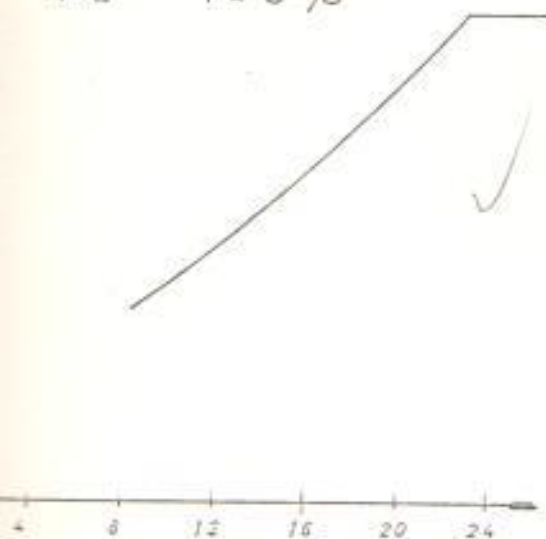
G-2 $r = 5\%$



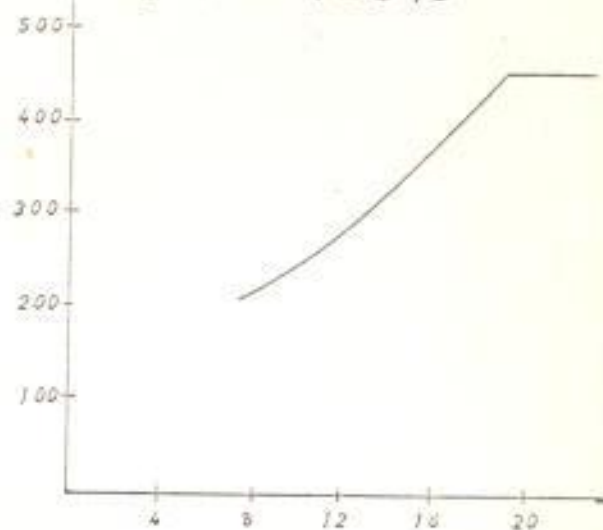
H-1 $r = 5\%$



H-2 $r = 6\%$



I-1 $r = 8\%$



Crecimiento de demanda de todo el sistema.

(8 años) A = 3 000 kVA

(23 ") B = 5 200 "

% crecimiento = 3

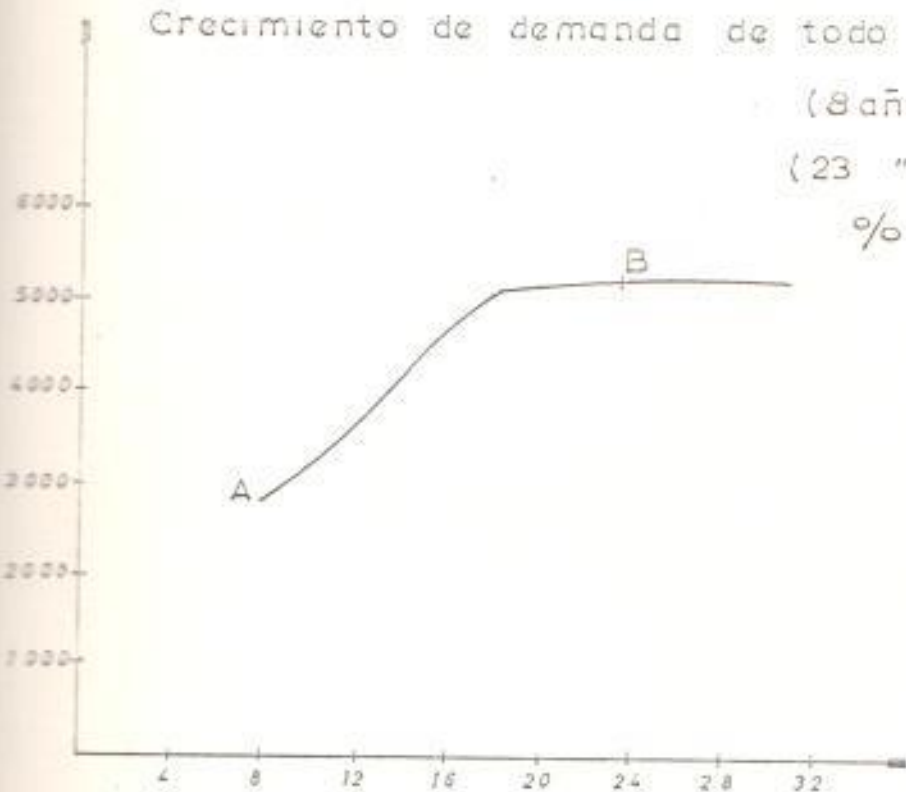


Fig. 3-1 Curva de crecimiento

SELECCION DE VOLTAGE DEL SISTEMA

En términos de fundamentos, el voltaje de la zona industrial puede escogerse entre los llamados voltajes de distribución. Se observa que debido al número existente de estos voltajes y la cantidad de combinaciones que con ellos se puede armar, esto sería un trabajo muy laborioso por lo que nos acogemos a ciertas limitaciones impuestas por los voltajes disponibles en el lugar, por el un lado, y por los valores aconsejados para utilización, por el otro extremo y así realizamos una buena selección con un menor esfuerzo.

Con la gama de voltajes disponibles se procederá, en forma "sal generis," a eliminar los valores antitécnicos y antieconómicos para posteriormente con los voltajes preseleccionados realizar un estudio más profundo y obtener uno o más voltajes finales.

Concretando se tiene, que los voltajes que se utilizan en la práctica de distribución industrial son 115 kv.- 69 kv.- 46 kv.- 34,5 kv.- 23 kv.- 15,8 kv.- 13,2 kv.- 12 kv.- 6,9 kv.- 4,8 kv.- 4,16 kv.- 2,4 kv.- 600 v.- 330 v.- 240 v.- 208 y/ 120 v.- (4)

De estos valores solo se puede utilizar aquellos que van desde 69 kv. hasta 600 v., siendo las causas de esta restricción las siguientes:

- 1.- Una alimentación de 69 kv., de una central termoeléctrica cercana y conectada a la red urbana, que es valor inamovible, ya que un cambio del mismo implicaría grandes modificaciones en el anillo o porque una elevación individual (en el parque) traería consigo ventajas técnicas que no balancean el costo de construcción de una subestación de este tipo.
- 2.- Alimentación de un ramal de subtransmisión de 69 kv. proveniente de un gran sistema de transmisión de energía de origen hidráulico.
- 3.- Un valor máximo de 600 v. en la red interna de la planta industrial que es característico de los sistemas de distribución

(4) Industrial Power System Handbook" de Donald Beeman, Primera Edición.- Capítulo IV; página 195.

tipo "centro de carga" que es el que se supone van a utilizar en las mismas.

En vista de tener dos voltajes establecidos, 69 kv. en la alimentación y 600 v. en la utilización, el paso siguiente es investigar si se utilizan directamente estos voltajes o es necesario intercalar un tercer voltaje.



Analizando la primera alternativa se tiene:

Ventajas.-

- 1.- Eliminación de la subestación de distribución, hecho que nos evita un gran gasto.
- 2.- La distribución a 69 kv. trae consigo menores caídas de voltajes y menores pérdidas de potencia.
- 3.- El cable en su parte metálica tiene menores dimensiones, por tanto es de menor precio.

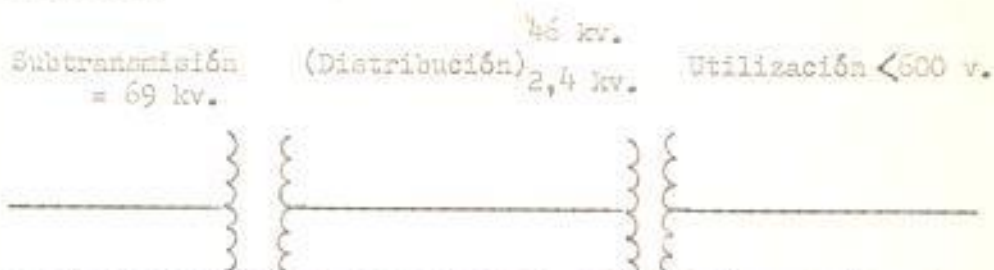
Desventajas.-

- 1.- Elevado precio de los aparatos a utilizarse a 69 kv.
- 2.- En razón de su mejor calidad de aislamiento, recobra el precio que había disminuido por su menor diámetro.
- 3.- No existen transformadores de 69 kv./ 600 v. menores de 500 kVA. en los estándares de las casas manufactureras.
- 4.- La técnica eléctrica aconseja no realizar este tipo de transformación.

Evaluable los pros y contras de realizar una sola transformación se concluye que este sistema no es conveniente ni económico ni técnicamente, y aún más, para potencias menores de 500 kVA. (que es la potencia de la mayoría de las industrias)

solo es posible obtener estos transformadores con pedidos especiales.

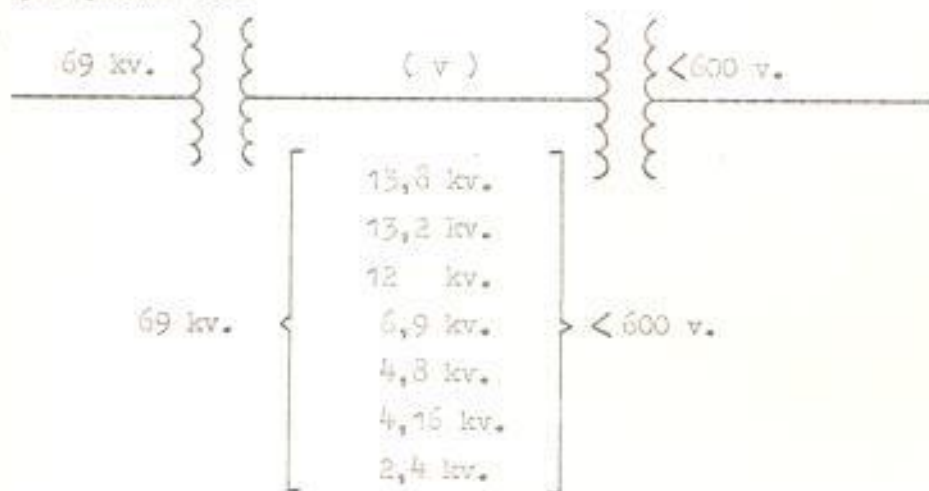
Se resume entonces que se deberá tener tres términos en la combinación representativa del sistema de distribución cuyos extremos son constantes, variando el término central en un rango de 46 kv. a 2,4 kv.



En la continuación de este trabajo, se procede a revisar las normas de estandarizaciones eléctricas entre las cuales utilizamos la tabla de la "National Electrical Manufacturing Association" (NEMA) para subestaciones unitarias obtenido de la referencia (5) - que nos permite eliminar las combinaciones



por ser transformadores no estandarizados. Las ternas posibles - que quedan son:



(5) Distribution System. Volumen 3 de la Westinghouse. Capitulo III, página 61, tabla 4.

Con motivo de esta discusión los valores centrales se los puede dividir en dos clases: 13 kv. y 4 kv.

La clase 13 kv. incluye 11,8 - 13,2 - 12 kv.

La clase 4 kv. incluye 6,9 - 4,8 - 4,16 y 2,4 kv.

El estudio lo haremos a nivel de estas dos clases de tensión y en él aparecerán conjuntamente factores eléctricos y económicos. Procediendo, se tiene:

- 1.- Para una potencia y sección de conductor dadas existen mayores caídas de voltaje a mayores voltajes de distribución y por esto se necesitarán reguladores de voltaje si se desea un nivel de tensión constante y elevado; se colige entonces, que debido a la adición de reguladores se encarece el sistema.
- 2.- A menor voltaje, con una potencia y sección de conductor dadas se tendrá mayores pérdidas de energía que se traduce en pérdidas económicas.
- 3.- Los cables a utilizarse en todo el sistema de 13 kv. son de menor peso y sus elementos de sujeción, de menor magnitud. Estos factores disminuyen en un gran porcentaje el capital a emplearse en la construcción de la línea.
- 4.- Los aparatos de medición, protección y seccionalización en el sistema de 13 kv. son más caros que el de 4 kv.
- 5.- Trasladando el estudio a la parte de la subestación de distribución y considerando en ella la interrupción en alta tensión transformación e interrupción en baja tensión se tiene que: - para una carga conectada de 7.000 kvA y una demanda de 6.000 kvA., las subestaciones de 69 kv./13kv. resultan mucho más económicas que las de 69 kv./4kv.

Por tanto, obedeciendo al criterio que se forma de este análisis, se tiene que el sistema más económico es el de 13 kv.; ahora bien, ¿cuál de los tres voltajes incluidos en esta clase será el voltaje final?

Para contestar esta pregunta nos fijamos en los voltajes existentes en los subsistemas circundantes y acogiéndonos a la idea de tener unidad de valores en una zona, el voltaje más indicado es el de 13,8 kv.



La combinación 69 kv. - 13,8 kv. - 4600 v. del sistema pasa entonces a convertirse en una premisa para el estudio que encara el di seño de la red de distribución y de la subestación de distribución.

SELECCION DE LA RED DE DISTRIBUCION

El diseño de una red de distribución de alta confiabilidad y de menor costo juega un papel fundamental en nuestro trabajo de lograr un modelo que refleje el funcionamiento técnico - económico del sistema de distribución para una zona industrial.

A.- Restricciones del Sistema .-

Antes de entrar en materia se enumeran tres restricciones que el sistema debe tener:

- 1.- Un valor de 13,8 kv. en la red.
- 2.- La división en una zona crítica y una zona no crítica en lo referente a continuidad de servicio.
- 3.- División en una zona de carga estable y en una zona de carga perturbadora.

Estos tres puntos a pesar de su carácter restrictivo, no limitan grandemente el campo de acción para la selección de la red. Con respecto al voltaje se puede decir que éste es un factor que se lo considerará durante todo el diseño; en cuanto a la segunda y tercera restricción, solo se las tomará en cuenta en la parte final por considerárelas como especificaciones adicionales.

B.- Tipo de línea

El primer punto a dilucidar en este subtema es ver si la red es aérea o subterránea y con esta finalidad se realiza un estudio comparativo entre los dos tipos de distribución.

Desde un punto de vista general se tiene:

- 1.- La red subterránea tiene un grado mayor de confiabilidad.
- 2.- La red aérea tiene un costo inferior a la red subterránea.
- 3.- La red externa presenta mayores facilidades en ampliaciones del sistema.
- 4.- La red aérea es menos estética que la subterránea y puede darse el caso de prohibirse en ciertas zonas.

Desde el punto de vista de este proyecto en particular:

- 1.- El factor de confiabilidad debe primar sobre el económico.
- 2.- Al ser ésta una zona de gran densidad eléctrica (poca extensión y gran carga), el porcentaje presupuestario de los

cables se reduce y aumenta el de transformación e interrupción. Este factor disminuye grandemente el sobreprecio de la línea subterránea.

- 3.- En vista de planificarse a largo plazo, no se producirán cambios en la línea principal, hecho que favorecerá a la instalación subterránea.
- 4.- La calidad de carga a alimentarse justifica el mayor gasto de una línea subterránea.
- 5.- Al ser una zona de gran carga eléctrica, a pesar de transmitirse a alto voltaje, se usaría líneas de gran peso.
- 6.- Se debe seguir la tendencia moderna de utilizar redes subterráneas especialmente en zonas de gran densidad de carga.

En vista del análisis realizado se llega a la conclusión que se debe utilizar una red subterránea en el sistema eléctrico de la zona industrial, pero, ¿qué características tendrá esta red ?

C.- Características de la red .-

La contestación a la interrogativa planteada, con respecto a las características que debe tener la red, la desarrollamos en los siguientes puntos:

1.- Esquema del sistema (Fig. 5 - 1, pag 37).-

Toda red subterránea para ser económica debe ser trazada con un sentido de simplicidad y por esto se descarta el sistema mallado. En la selección entre un sistema radial y uno de tipo bucle, se prefiere el sistema radial porque:

- a) Es un sistema más económico
- b) Es un sistema más sencillo de operar y proteger
- c) La pobreza de confiabilidad propia del sistema radial se lo tiene en pequeña proporción debido a la corta distancia de transmisión y, aún más, se reduce este valor a un mínimo, utilizando un sistema de cuatro alimentadoras independientes. Esta característica del sistema radial nos ayuda a alcanzar el nivel de confiabilidad deseado, que es el de que la máxima paralización del sistema sea una interrupción parcial.

2.- Capacidad del sistema.-

En razón de lo dificultoso y lo caro de un cambio en la red subterránea, el diseño debe ser de carácter conservativo y su capacidad debe ser la de la carga final, que es de 6000 kvl.

Características de la Red

3.- Instalación

Considerando las normas del "National Electric Safety Code" (NESC) para instalaciones subterráneas, la profundidad a la que deben estar los cables es de 36" y se los colocará en ductos de concreto 4" de diámetro o de plástico y cuyas dimensiones sean apropiados para los cables seleccionados.

4.- Selección del conductor

La selección del conductor viene determinada por tres factores (6)

- a) Calentamiento
- b) Caída de tensión
- c) Economía comparada entre instalación y explotación.

Estos tres criterios son independientes y el más desfavorable será el que fije la sección del conductor. Observando la pequeña longitud de las alimentadoras, se tiene que el criterio de calentamiento será el dominante para la selección del tamaño del conductor, ya que este factor no depende de la longitud, hecho que no ocurre con el factor de caída de tensión.

Con respecto al criterio de economía comparada entre instalación y explotación, transcribimos el siguiente párrafo: (7)

"La energía perdida por Efecto Joule en un conductor es tanto menor cuanto mayor sea su sección, y como el producir esta energía nos cuesta una cierta cantidad y el dejar de venderla proporciona un menor ingreso, desde este punto de vista nos conviene una sección lo más grande posible, por el contrario, cuanto mayor es la sección, más elevado el costo de los conductores, por lo tanto, más importa el de interés y amortización del capital empleado en adquirirlos. Para sumar estas dos tendencias opuestas, debemos hacer el cálculo, teniendo ambas en cuenta, de modo que la suma de gastos anuales originados por

(6), (7). Apuntes de líneas aéreas de transportes de Energía Eléctrica del Dr. Elías Sánchez. 2da. edición, capítulo 4; páginas 142 - 144 - 145.

uno y otro concepto sea lo menor posible",

Según lo anteriormente expuesto nos resulta que la sección más económica viene dada por la fórmulas:

$$S_e = \frac{I_c}{d_e} \quad d_e = \sqrt{\frac{n \cdot a}{t_4 \cdot p \cdot R}}$$

S_e = sección más económica.

I_c = corriente constante prevista para conductor.

d_e = densidad de corriente más económica.

n = precio del conductor por unidad de longitud y por unidad de sección.

a = anualidad necesaria para amortizar el capital invertido en el número de años dado con el respectivo interés.

R = resistibilidad del cable.

t_4 = el número de horas al año durante las cuales pasa esta corriente promedio.

p = el valor de cada vatio - hora perdido

En razón de la variabilidad de algunos de estos factores - por depender de la época, localidad y condiciones de mercado y de la incertidumbre que reviste un cálculo apriorístico de los valores I_c , p y t_4 , en este proyecto no se tomará en cuenta este tercer criterio.

Para el cálculo de la capacidad máxima de los conductores se tienen ciertas condiciones básicas.

- i.- Los cálculos en cada circuito se harán con los valores de demanda futura y con un factor de carga de 100%.
- ii.- A pesar de ser el cable con aislamiento de cloruro de polivinil (P.V.C.) el de más futuro para líneas subterráneas, especialmente en medios húmedos como el metro, en este trabajo se utilizará cable de cobre con recubrimiento de papel por carecer de las tablas correspondientes a cables con aislamiento de P.V.C.
- iii.- Considerar la norma que nos dice que el cable más pequeño que se usa en distribución primaria es #2 A.W.G., condición basada en el esfuerzo eléctrico que el cable debe soportar antes que en su condición de corriente.

Calculando se tiene:

Circuito #2

$$S = 1343 \text{ kVA}$$

$$kv = 13,8$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} kv} = 77 \text{ amp.}$$

Circuito #3

$$S = 1275 \text{ kVA}$$

$$kv = 13,8$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} kv} = 53,4 \text{ amp.}$$

Circuito #4

$$kVA = 1375$$

$$kv = 13,8$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} kv} = 57,5 \text{ amp.}$$

Circuito #5

$$S = 1281 \text{ KVA}$$

$$kv = 13,8$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} kv} = 53,6 \text{ amp}$$

Para los cálculos numéricos ver apéndice E. (pág. 115).
 Usando las tablas del Código Eléctrico Nacional el cable adecuado para estos valores de corriente sería el cable #6 A.W.G. o el cable #4 A.W.G., pero considerando la tercera condición básica (arriba expuesta) el cable a usarse es el cable #2 A.W.G.

Ahora bien, con el fin de ahorrarnos tiempo y trabajo vamos si este cable reúne las condiciones mínimas de caída de voltaje y, de ser así aprovechamos inmediatamente para obtener el rendimiento y el % de caída de voltaje de la línea.

Para realizar estos cálculos se necesita conocer la impedancia de la línea.

En vista que la capacitancia de una línea subterránea solo se considera a partir de líneas de 30.000 pies (8), - valor que excede a los de aquí presente, no se considerará la capacitancia de la línea.

(8) "Underground Rural Distribution" de la "Rural Electrical Association" (R.E.A.) Bulletin 61-3 pág. 31.

Los valores y fórmulas siguientes se los obtiene de la referencia (9). Las operaciones verlos en Apéndice H (Pág. 119).

$$D = a + 2Sa + 2t = 0,592 \text{ (dibujos P-2) (Pág. 38)}$$

$$X_{ds} = 0,32$$

$$X_a = 0,573 \text{ ohmio/fase-milla}$$

$$X_s = 0,406 \text{ ohmio/fase-milla}$$

$$r_c = 0,987 \text{ ohmio/fase-milla}$$

$$r_s = 2,74 \text{ ohmio/fase-milla}$$

$$Z = Z_2 = r_c + \frac{X_m^2 r_s}{X_m^2 + r_s} = j(X_a + X_{ds} - \frac{X_m^3}{X_m^2 + r_s})$$

$$X_m = X_s + X_d = 0,086$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{0,617}{10^3} + j\frac{0,1157}{10^3} \text{ ohmio/fase-m}$$

$$Z_0 = r_c + r_s + j(X_a - X_s)$$

$$Z_0 = \frac{2,3}{10^3} + j\frac{0,104}{10^3} \text{ ohmio/fase-m}$$

cos θ = Fp línea

La caída de voltaje del circuito 2 es:

$$v/m - amp = \sqrt{I^2} (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (10)$$

$$v/m - amp = \frac{1,05}{10^3} v/m - amp$$

$$\text{Caída de voltaje} = 0,427 \%$$

$$\eta = \frac{P}{P + I^2 R} \times 100 \approx 99 \%$$

$$\text{Caída Volt \%} = \frac{\sum \text{Caídas VOLT}}{\text{Volt nom.}} \times 100\%$$

Los resultados obtenidos en estos primeros cálculos nos permiten generalizar que los demás circuitos al tener características semejantes (tipo de conductor, longitud del circuito, separación de fases y factor de potencia, etc.) tendrán una caída de voltaje y un rendimiento semejante y que para cuestión de exposición son 1 % y 99 % - que son valores indicativos de un buen funcionamiento de una línea de distribución.

(9) "Transmission and Distribution" de la Westinghouse, Cuarta Edición Capítulo 4 tablas 10 y 12.

(10) "Distribution Data Book" de la General Electric, Cap. V Pág. 19

5.- Seccionalización*.

En este sistema no se utilizarán dispositivos con reconexión automática, ya que su uso más bien puede ser perjudicial en vista que las fallas que se presentan en una línea subterránea muy rara vez son de carácter transitorio.

6.- Puesta a tierra.-

Los neutros concéntricos de cada línea deben estar entrelazados y colocados a tierra en todos los puntos de unión. Estos neutros deben conectarse a la barra de tierra, a la que también se coge la carcasa de los transformadores y los neutros de los secundarios.

7.- Protección contra descargas atmosféricas y corrosión.-

Para protección contra descargas atmosféricas se puede utilizar pararrayos del tipo estación o del tipo válvula de 10 kv. (11)

En lo que respecta a corrosión, es aconsejable no tener cobre en contacto con la tierra, (empates, derivaciones, etc.) excepto la conexión de los neutros a tierra.

Verificando lo expuesto en la primera parte de este capítulo, respecto a la especificaciones adicionales se tiene:

- 1.- En vista de existir una zona crítica se sugiere que si se desea mayor seguridad en esta zona, se utiliza el mismo cable # 2, pero con un aislamiento para 25 kv.
- 2.- Con respecto a la existencia de cargas perturbadoras se observa que los mismos se encuentran alimentadas por dos circuitos 3 y 4, por lo que se sugiere la utilización de estabilizadores de voltaje en estos dos circuitos.

Resumiendo este capítulo se observa que la red diseñada tiene las siguientes características:

- 1.- Es un sistema de líneas subterráneas de tipo Radial.

2- calibre cable utilizado # 2 A.W.G.

*NOTA: Para un mejor desarrollo del tema, la continuación del estudio de seccionalización se la ha ubicado en el capítulo de protección.

(11) "Underground Rural Distribution" de la Rural Electrical Association (R.E.A.) Bulletin 61-3; pág. 11.

2.- El sistema de distribución está compuesto por cuatro alimentadoras.

3.- El calibre del cable utilizado es #2 A.W.G.

Por tanto podemos decir que se ha conseguido el objetivo de esta parte de la tesis, cual es el de seleccionar la red de distribución para el Parque Industrial.

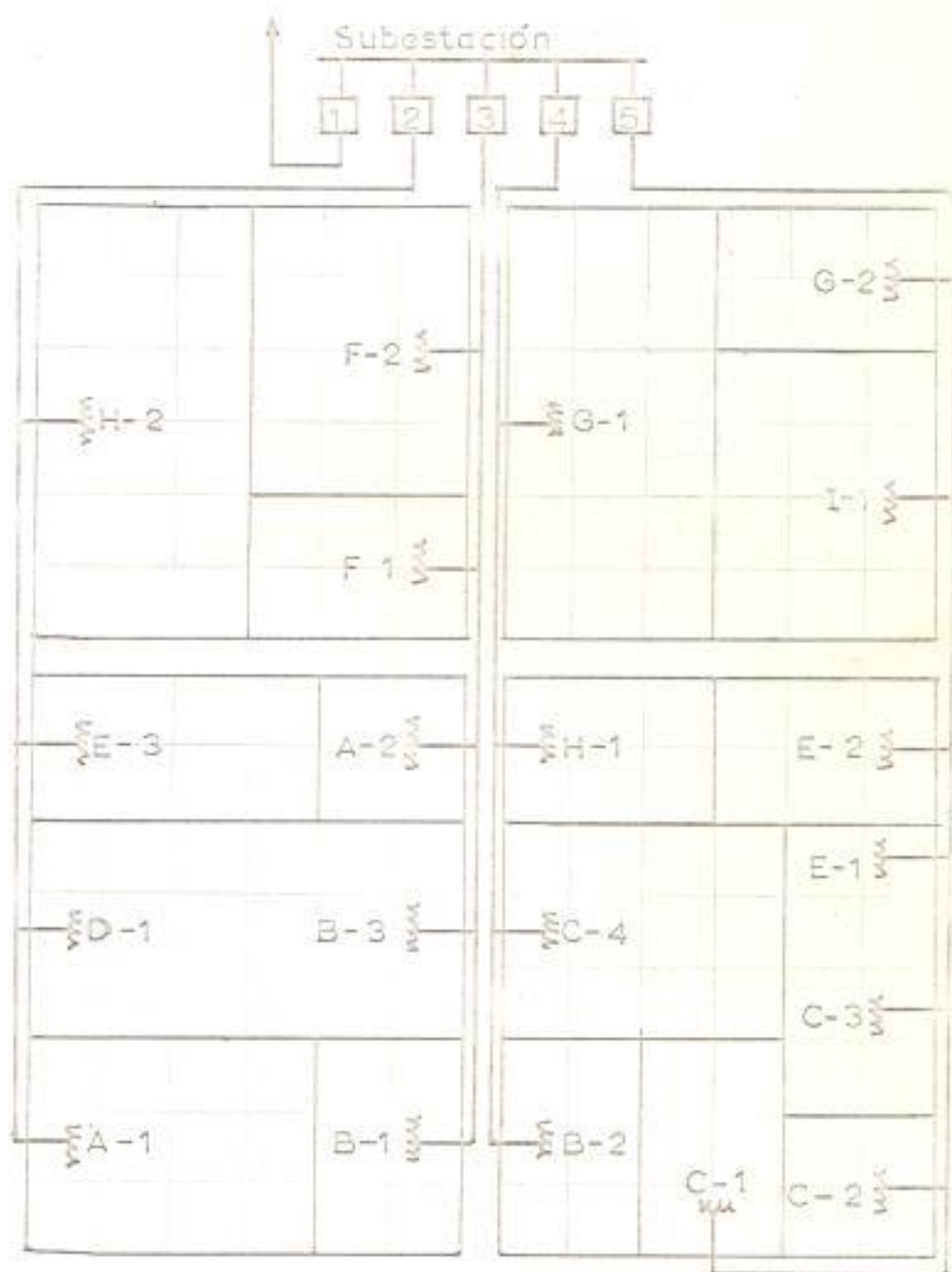
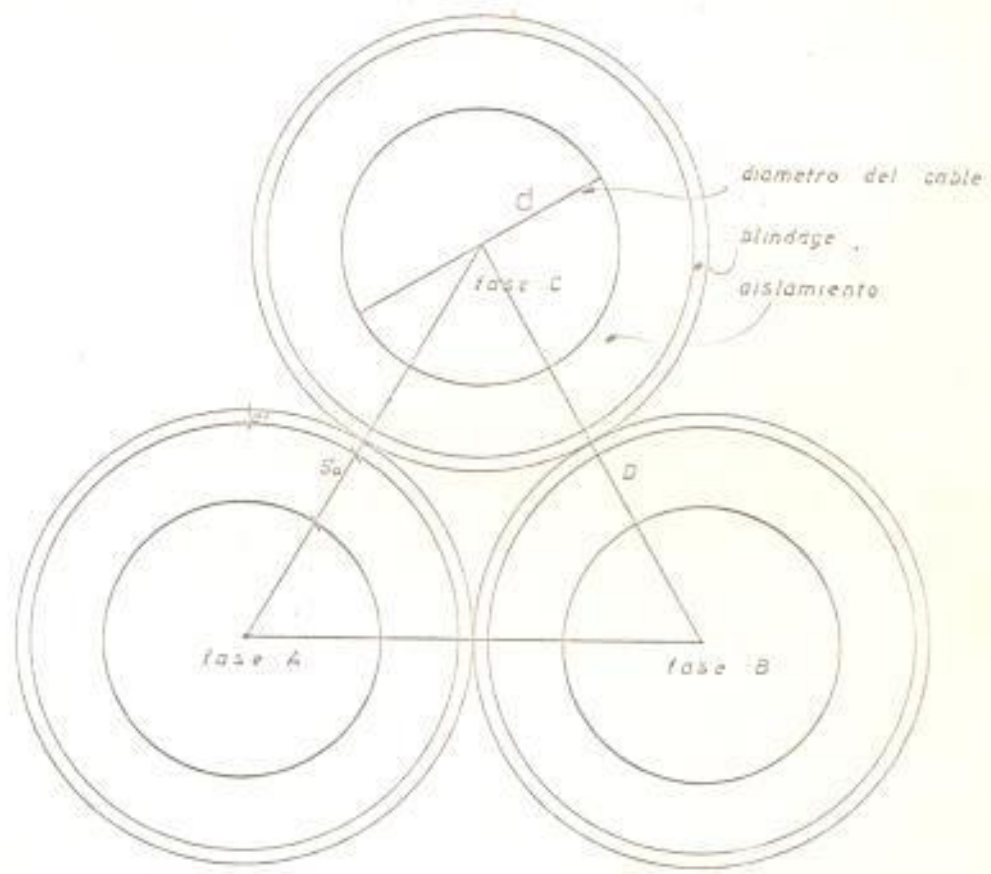


Fig. 5-1 Circuitos de energia industrial.

B.R.K. (1) para zona residencial

B.R.K. (2)(3)(4)(5) para circuitos de industrias.



$$D = d + 2s_d + 2l$$

Fig. 3-2 dimensiones y separación de los cables

DISEÑO DE LA SUBESTACION DE DISTRIBUCION

La subestación de distribución del sistema eléctrico para una zona industrial es la piedra angular del mismo, ya que es el centro de donde diverge la energía que moviliza las industrias. Por esta razón, el nivel de confiabilidad de la subestación de distribución debe ser superior al de los casales de distribución interna; una paralización parcial y de corto tiempo debe ser la máxima perturbación que este centro puede tener.

En el proceso de diseño de la subestación con el nivel de confiabilidad establecido se distinguen dos partes:

- A.- Selección del modelo de la subestación.
- B.- Cálculo de la capacidad de la subestación.

A.- Selección del modelo de la subestación de distribución.-

Considerando normas generales de diseño eléctrico, se tiene que para modelar una subestación se necesita tomar en cuenta sus fuentes de energía y el sistema que va a dinamizar.

La primera fuente de energía es un ramal de subtransmisión proveniente de un gran sistema de transmisión, que a su vez nace en una central hidroeléctrica lejana. La otra fuente es una línea perteneciente a un anillo de energía de origen termoelectrico de una central local.

Los dos bloques están a 69kv. y se reducen 13,8 kv. para su distribución en la zona industrial. El sistema tendrá un solo centro de distribución de energía y con él se puede alcanzar el suficiente nivel de confiabilidad sin incurrir en el gasto, excesivo por cierto, que dos o más subestaciones acarrearían. (Fig. 6-1; Pág. 45).

Considerando la subestación en sí, las distintas variaciones de un sistema con doble acometida puede representarse por cualquiera de los prototipos siguientes: (11 a)

(11 a) "Distribution System" Volumen 3 de la Westinghouse; tercera edición, Capítulo 3 Pág. 50

- 1.- Subestaciones con subtransmisión y transformación duplicada. (Fig. 6-2; Pág. 46)
- 2.- Subestaciones con alimentación alternativa (Fig. 6-3; Pág. 47)
- 3.- Subestaciones con restauración de servicio automático (Fig. 6-4; Pág. 48)
- 4.- Subestaciones con servicio duplicado y sin interrupción por fallas de subtransmisión (Fig. 6-5; Pág. 49)
- 5.- Subestaciones de tipo malla - concentrada (Fig. 6-6; Pág. 50)
- 6.- Subestaciones con arreglos especiales (Fig. 6-7; Pág. 51)

De estos tipos de subestaciones se ve que las representadas por las figuras 2a; 2b; 4a; 5a y 5b están lejos de cumplir con las condiciones mínimas de confiabilidad, ya que al presentarse un daño del transformador único, quedaría sin energía toda la zona.

Las subestaciones 3a; 4b y 6a no las considero convenientes por el excesivo número de fallas y horas de no funcionamiento al año de cada transformador al estar sujeto su funcionamiento a sus propios daños y a cualquier problema en las líneas de subtransmisión.

Analizando las subestaciones de las figuras 2a y 7b, se ve que estas solo permiten una interrupción momentánea al presentarse problemas en la barra de baja tensión y aún más la última de las configuradas permite solo una pasajera discontinuidad, en caso de problemas en las barras de alta tensión. En lo económico, estas dos subestaciones tienen un sobreprecio de 40 a 50 % con relación a las demás, ¿Se justificará este 50 % más para el caso presente?

La respuesta es negativa y la razón es que si se diseña, construye y ubica con buen criterio la subestación, la probabilidad de suceder irregularidades en las barras es muy remota. Con respecto a las subestaciones representadas por la figuras 6b y 6c, estas tienen un costo de 15 a 25 % más que la subestación 3b y se observa también lo complicado de su protección, hecho que se opone al criterio de lograr un sistema confiable pero de accionamiento y protección simple.

Seguindo con el proceso se tiene que la subestación representada por la figura 5b es la que mejor cumple los requisitos técnicos y económicos impuestos, por lo que con unas pequeñas variantes (con objeto de elevar su confiabilidad), se la adoptará como la subestación indicada para este sistema. (Fig. 5-3; Pág. 52)

Para la disposición física se escogerá una subestación primaria unitaria del tipo de "malla concentrada" (Fig. 6a; Pág. 53)

B.- Capacidad de la subestación de distribución

Para obtener la capacidad de los elementos integrantes de la subestación se debe conocer la demanda del sistema y el factor de diversificación, considerado éste, desde las distintas acometidas hasta la subestación.

Circuitos industriales (ver Apéndice G; pág. 113)

Demanda no coincidente	}	Actual (8 años) = 3498 Kva
		Final (23 años) = 5771 Kva
Factor de coincidencia = 0,9		
Demanda diversificada	}	Actual = 3498 x 0,9 = 2990 Kva
		Final = 5771 x 0,9 = 5200 Kva

Circuito de zona residencial

Demanda diversificada en el instante de máxima demanda del sistema	}	Actual (8 años) = 200 Kva
		Final (23 años) = 400 Kva
Carga total de la subestación	}	Actual (8 años) = 3.000 Kva
		Final (23 años) = 5.600 Kva

Una vez que se conocen los valores de carga eléctrica se procede a revisar las especificaciones de "National Electrical Manufacturing Association" (NEMA) y trabajando con ellas se obtienen los siguientes resultados:

1.- Sector de baja tensión.-

Los interruptores que se localizan en esta zona tienen las siguientes características:

Fases: = 3

Voltaje de trabajo = 13,8 kv.

Máximo voltaje de trabajo, = 15 kv.

Corriente de funcionamiento = 105 amperios

Los valores de potencia de interrupción y potencia instantánea se los obtendrá posteriormente.

2.- Sección de transformación.-

Para obtener el número y la capacidad de los transformadores, se necesita realizar un estudio en el cual se consideraran los siguientes puntos:

- La demanda diversificada.
- La capacidad firme y de reserva para casos de emergencia.
- La conveniencia de instalar la capacidad final del sistema en una o dos etapas.
- El número óptimo de transformadores para la capacidad dada.

En el desarrollo mismo de este análisis, se considera en primera instancia, el funcionamiento normal del sistema en los 5 primeros años del Parque Industrial. En base a este criterio se tiene que dos bloques de transformadores de 1500 kvA. cada uno, abastecerán con suficiencia todo el sistema; pero, si se considera que existe la posibilidad de un daño en los transformadores, es necesario que los aparatos restantes estén en capacidad de absorber la carga del transformador con problema. Si se toma en cuenta esta última posibilidad, las combinaciones de transformadores que reúnen las condiciones necesarias para un buen servicio son:

- Tres transformadores en funcionamiento y uno de reserva de 1000 kvA. cada uno.
- Dos transformadores en funcionamiento y uno de reserva de 1500 kvA. cada uno.
- Dos transformadores de 2500 kvA.

En el campo de continuidad de servicio, las tres alternativas reúnen cualidades semejantes por lo que la decisión se la hace en el campo económico.

Realizando la comparación entre las alternativas a. y b. se tiene que la subestación con los transformadores de 1500 kva. es más conveniente porque:

- i.- Tiene una mayor capacidad
- ii.- Tiene un costo de instalación menor
- iii.- Tiene un costo de adquisición igual o ligeramente menor.

Si comparamos ahora las alternativas b. y c. se escoge la subestación con los dos transformadores de 2500 kva. como la subestación más conveniente para la etapa inicial, a pesar de que la alternativa b es ligeramente más confiable. Las razones para esta selección son las mismas tres razones arriba expuestas.

La selección de dos transformadores de 2500 kva. para abastecer los 3000 kva. de consumo en la etapa inicial es solo preliminar ya que para la selección definitiva se tiene que considerar la carga en la etapa final.

Si continuamos nuestro estudio en la etapa final se observa que para suplir la carga de 6000 kva. se tienen las tres alternativas siguientes:

- a.- Cinco transformadores de 1500 kva.
- b.- Tres transformadores de 2500 kva.
- c.- Dos transformadores de 2500 kva y dos transformadores de 1500 kva.

De estas tres alternativas, se elimina la primera por tener un precio demasiado elevado.

Antes de realizar la selección entre las dos alternativas restantes podemos decir que en la etapa inicial se instalarán dos transformadores de 2500 kva.

Analizando las dos alternativas se tiene que las dos reúnen las condiciones de confiabilidad necesarias para un buen abastecimiento de energía, por lo que se escoge la alternativa de menor precio.

La alternativa de menor precio es la subestación con los tres transformadores de 2500 kva. por lo que resulta la subestación escogida, a pesar de ser menos confiable que la subestación con los dos transformadores de 2500 kva. y los dos de 1500 kva.

Los transformadores seleccionados tienen las siguientes características:

Capacidad de transformación	= 2500 kvA.
Alto voltaje	= 69 kv.
Bajo voltaje	= 13,8 kv.
Fase	= $\frac{1}{2} 3 \times 2,5 \%$
Tipo	= sumergido en aceite
Conexión	= $\Delta - Y$
Impedancia	= 6 %

5.- Sección de alta tensión.-

De acuerdo a las normas existentes la separación y el aislamiento de los elementos que hay en los interruptores y en las barras de 69 kv. tienen los siguientes valores:

Número de aisladores = 2

Espacio vertical entre los polos de los interruptores o barras (soportes) = 72"

Los interruptores trabajarán a: (11-a; Pág. 39)

Voltaje = 69 kv.

Fases = 3

Corriente = 30 amperios

Frecuencia = 60 c.p.s.

En lo referente a las estructuras que se utilizarán como terminales de las dos líneas de subtransmisión, sus características están establecidas por las Empresas del suministro de energía.

Concluyendo esta parte de la Tesis, decimos que el diseño resultante es una subestación del tipo Subtransmisión y Transformación Duplicada y con tres transformadores de 2500 kvA - 69 kv/13,8 kv.

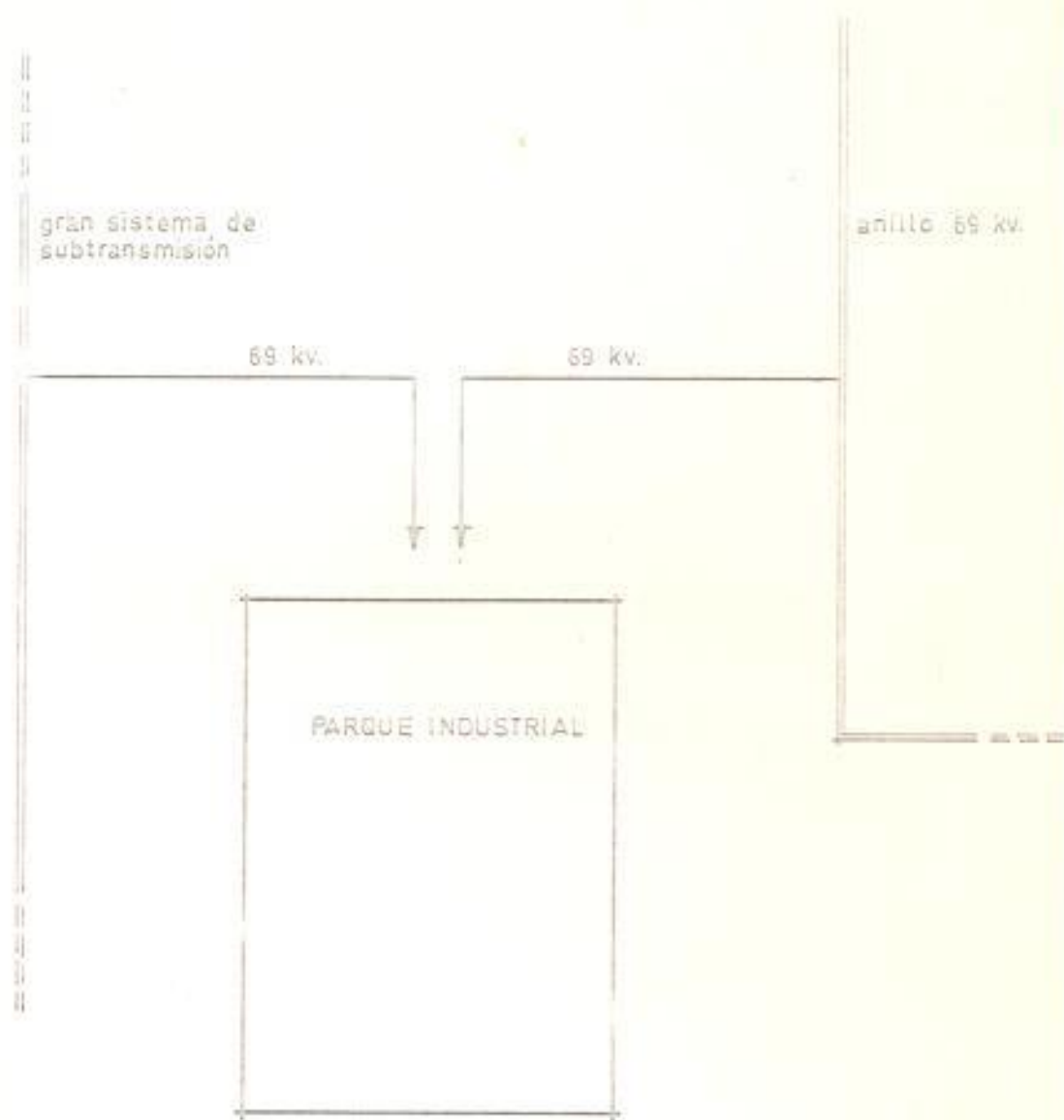


fig. 6-1 Esquema general del sistema.

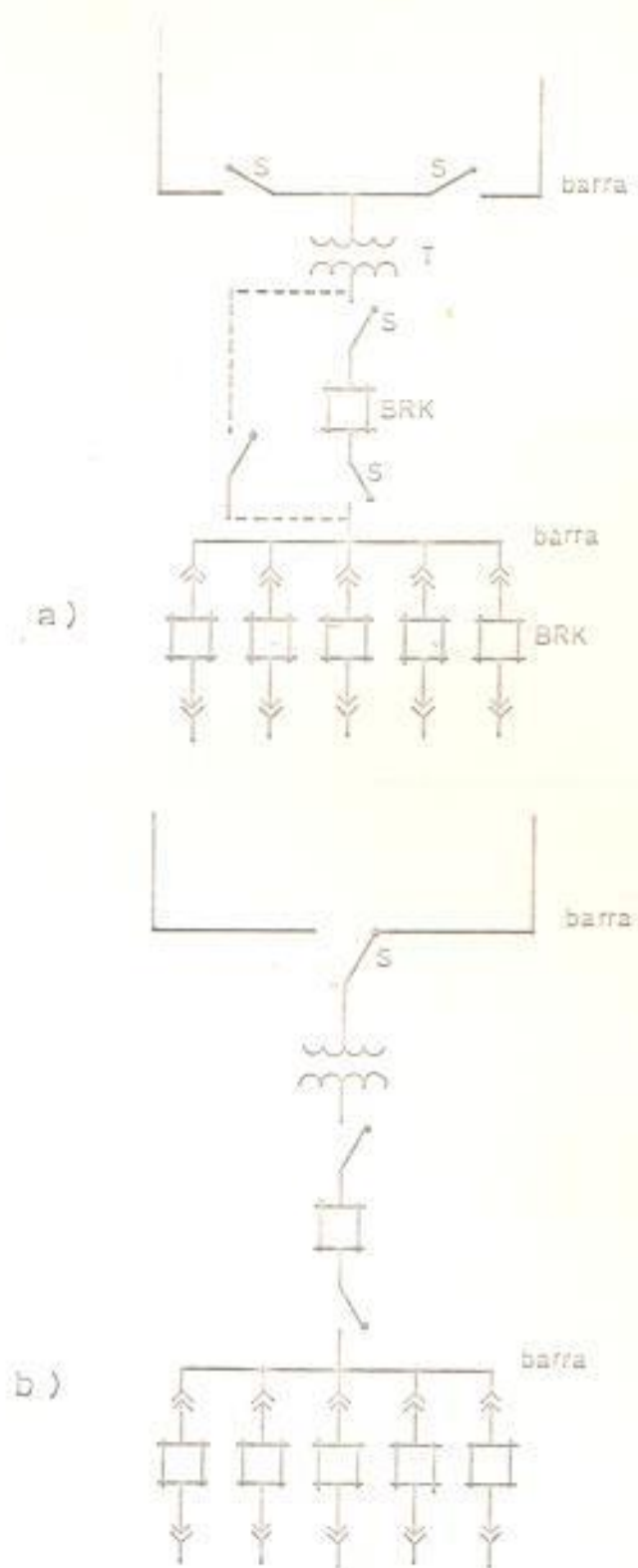


fig. 6-2 Subestación con alimentación alternativa.

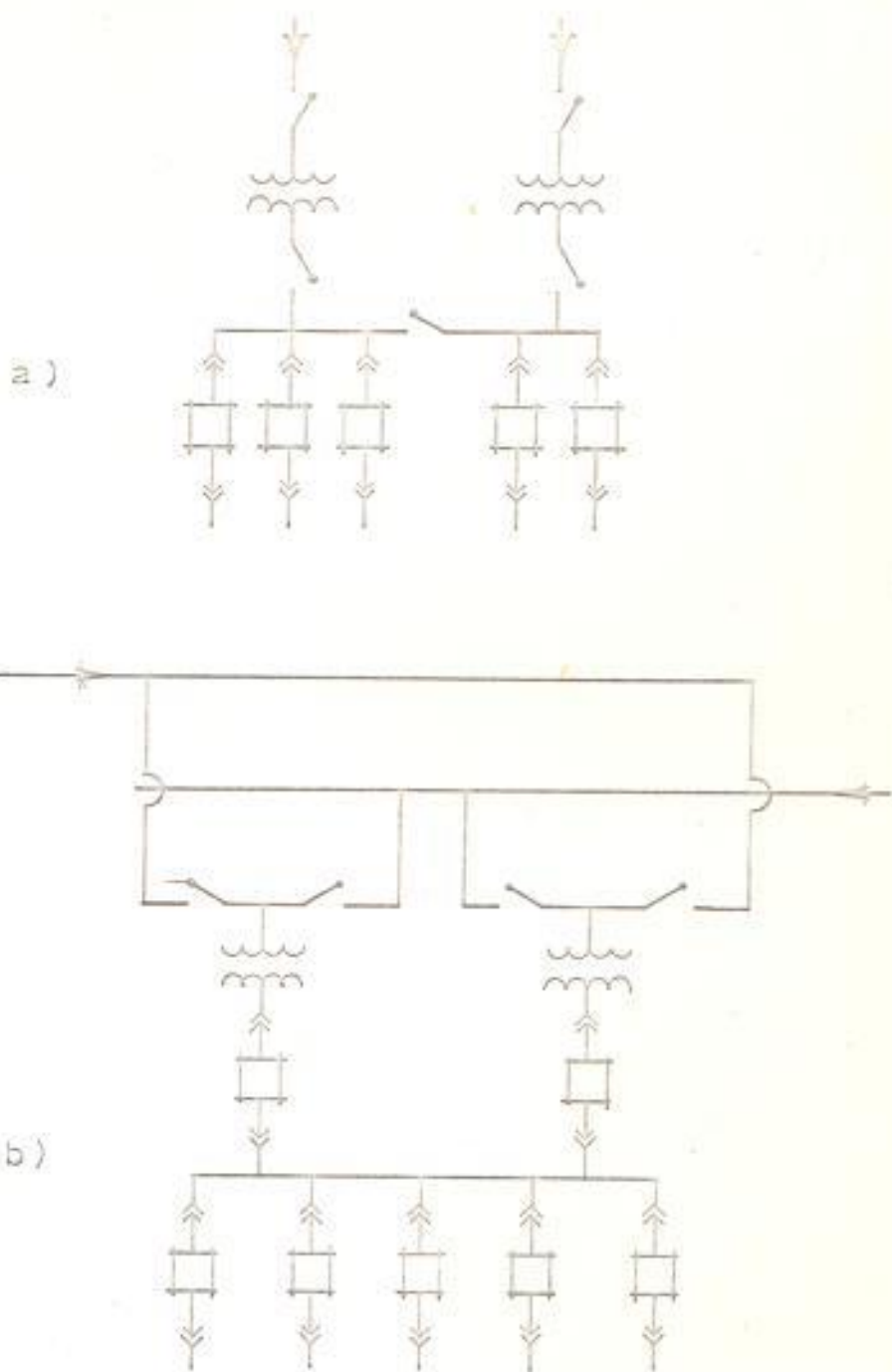


fig. 6-3 Subestación con subtransmisión y transformación duplicada.

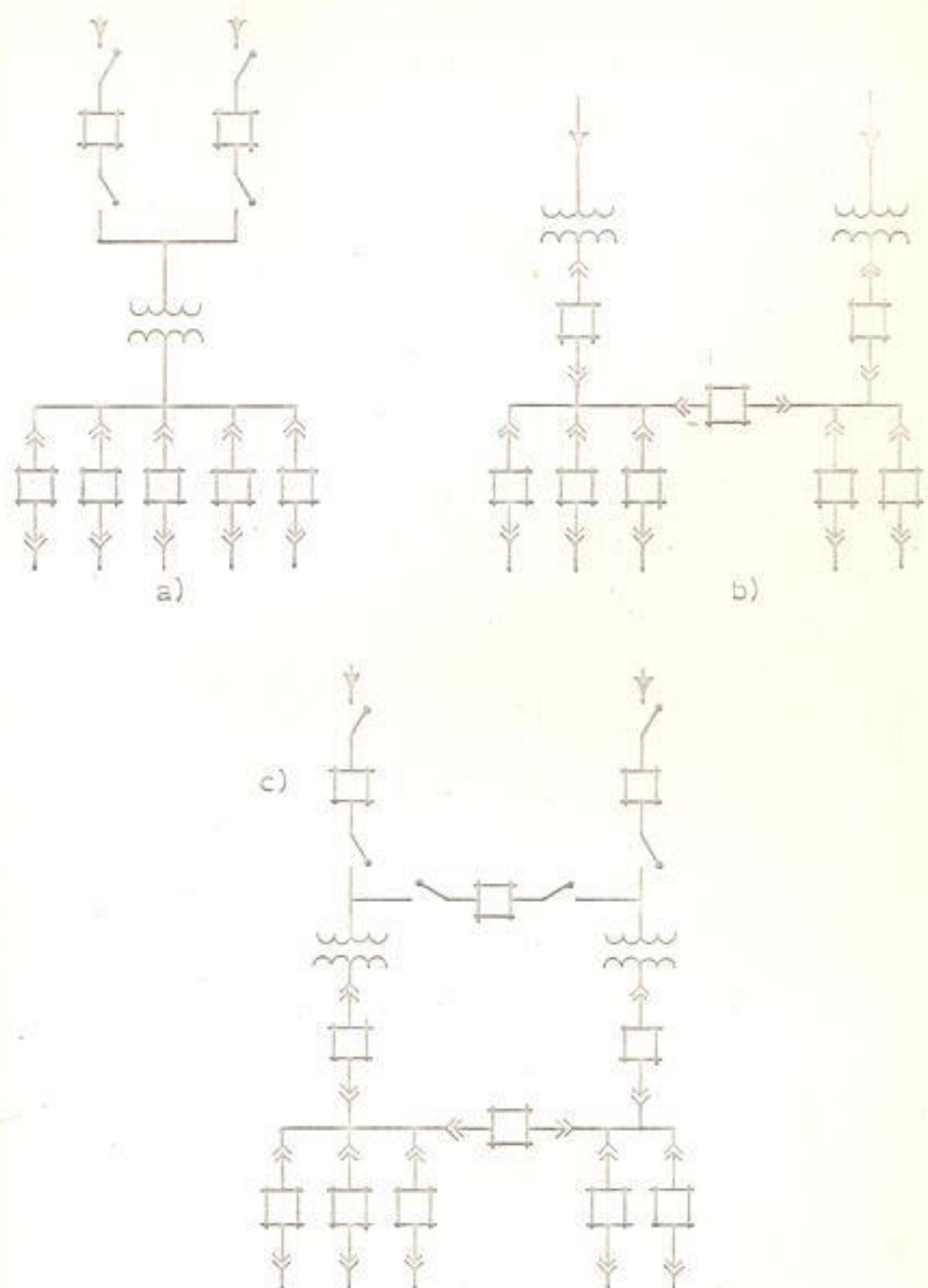
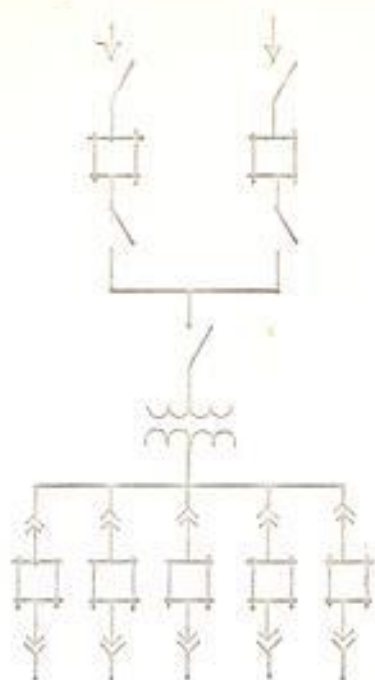


fig. 6-4 Subestación con restauración de servicio automático.

a)



b)

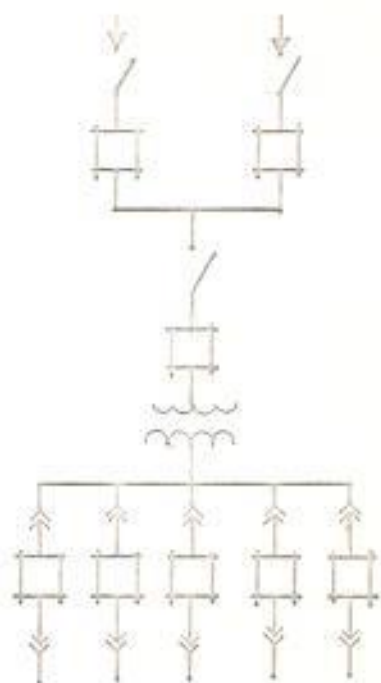


Fig. 6-5 Subestación con servicio duplicado sin interrupción por fallas de subtransmisión.

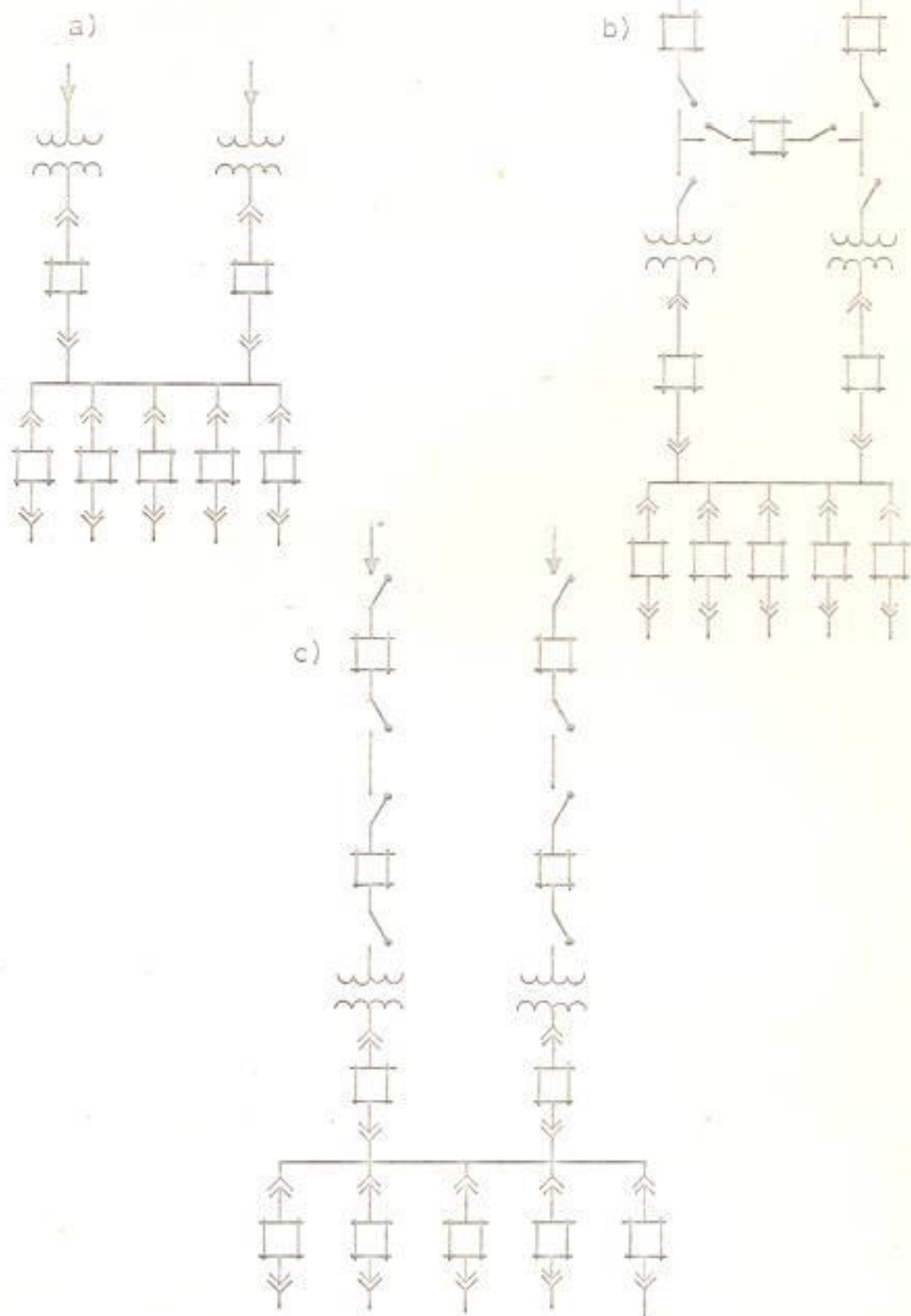


fig. B-6 Subestación de tipo malla-concentrado

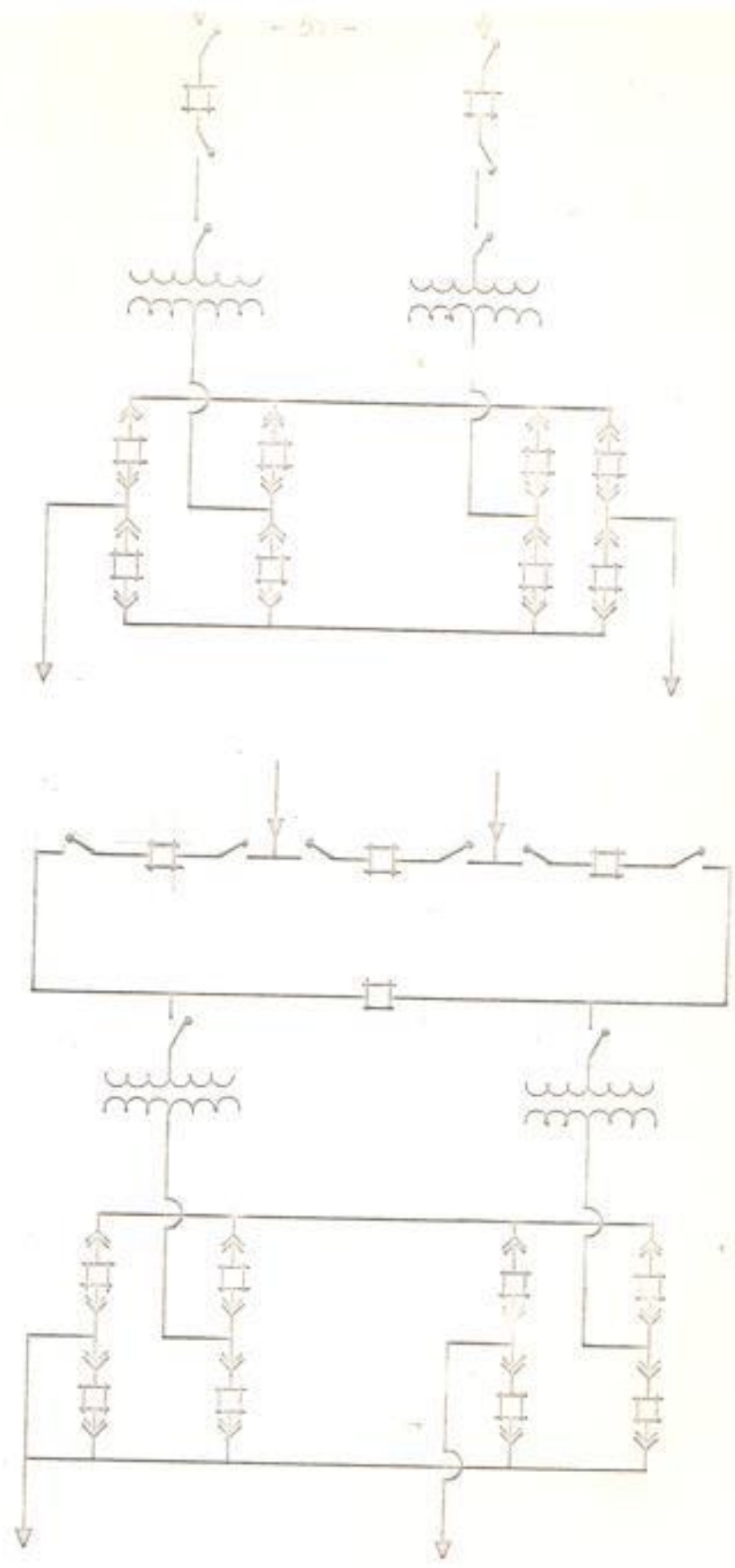


fig. 6-7 Subestaciones con arreglos especiales en las barras.

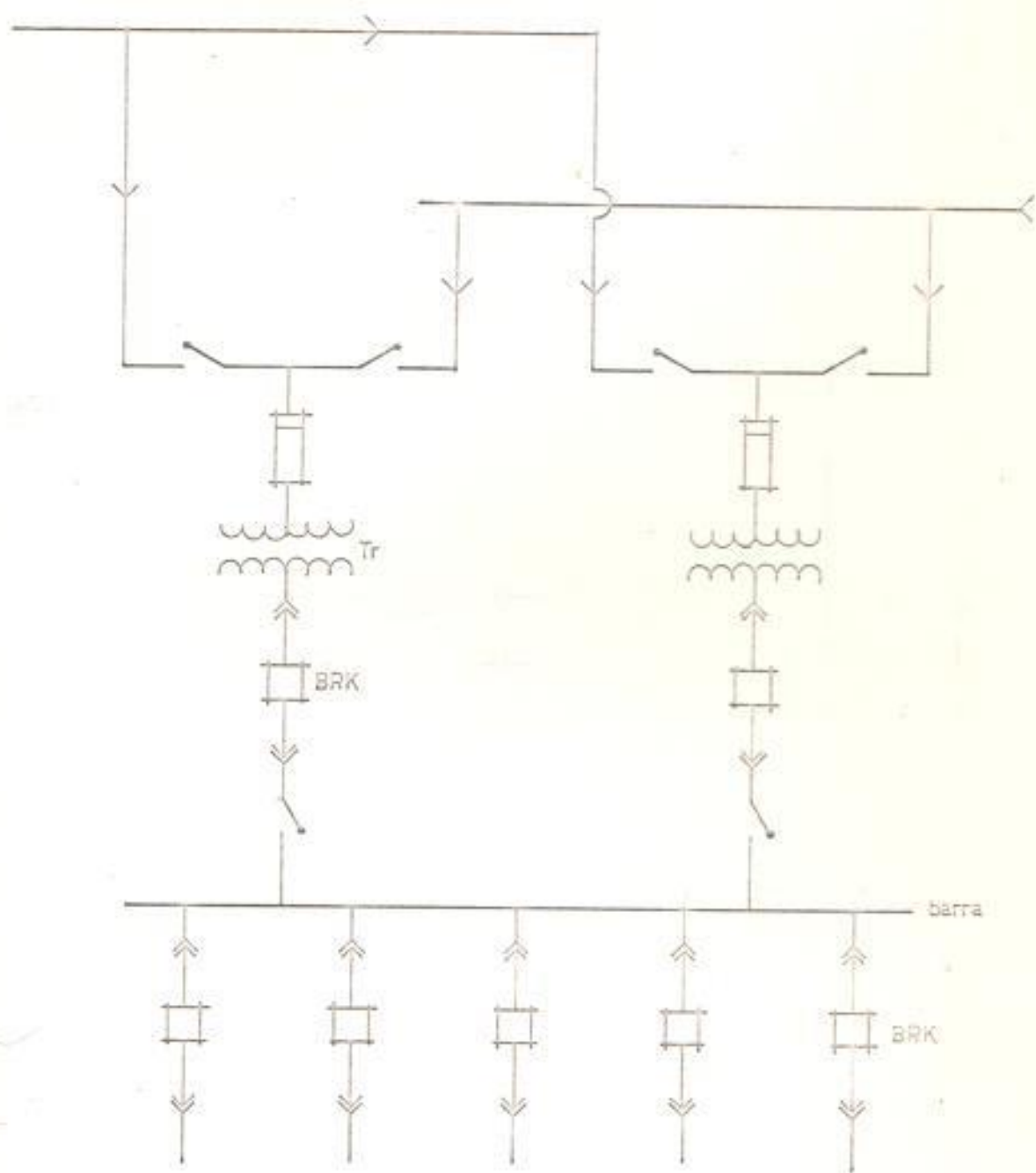


fig. 6-8 Subestación seleccionada

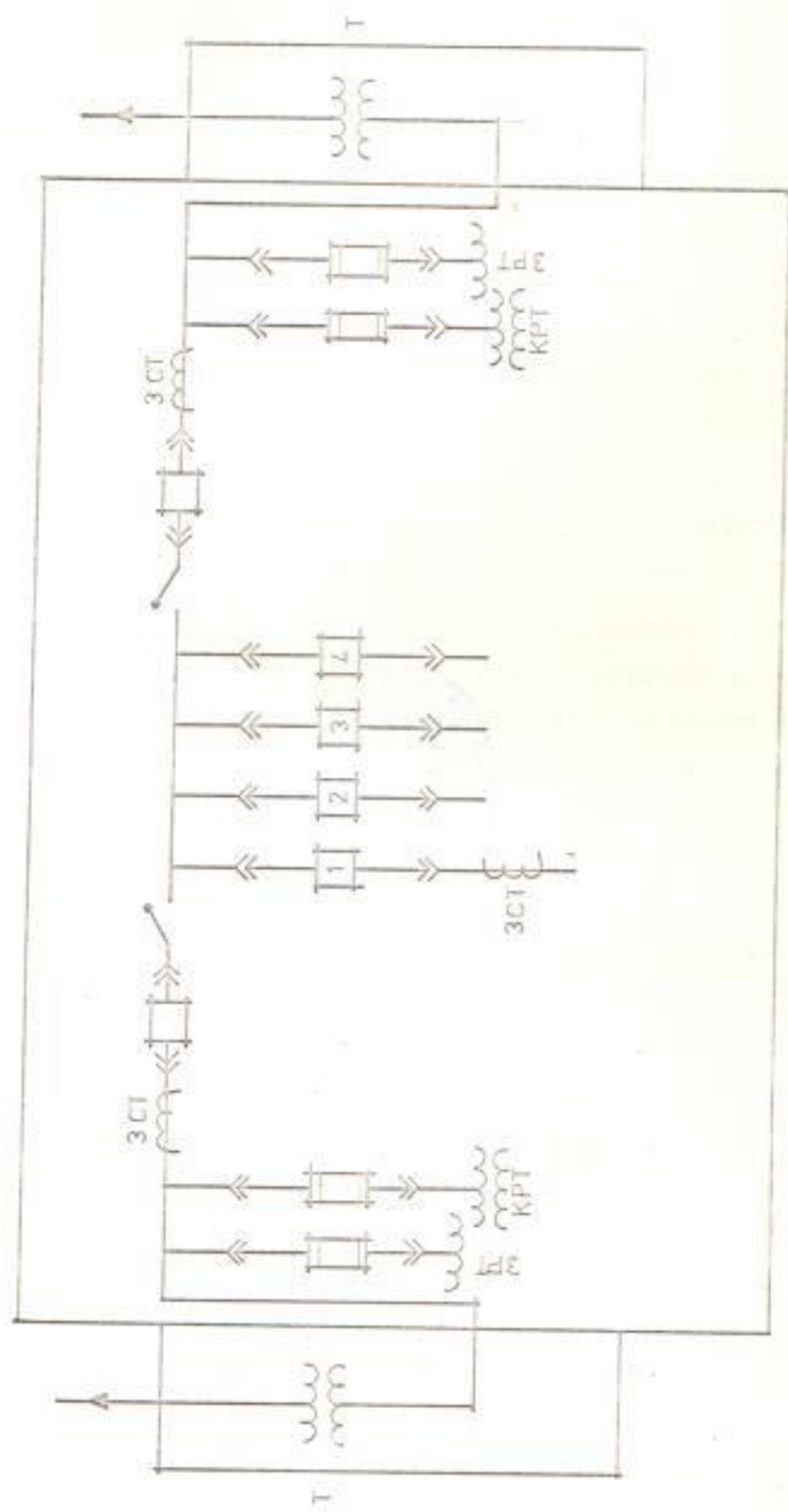


fig 6-9 Subestación del tipo de malla-concentrado.

BREVE ESTUDIO DE PROTECCION DEL SISTEMA

El estudio de protección es un estudio preliminar en razón de no conocerse los elementos necesarios para un estudio definitivo; - las finalidades de este estudio es obtener los elementos de protección de los distintos partes del sistema y calcular la capacidad de los interruptores de los circuitos de distribución.

Para visualizar mejor, en primera instancia se esquematizan el sistema por medio de la figura 7-1 (Pág. 53) y ya en este dibujo se procede a seccionalizar el sistema en cuatro sectores y describir la forma de protección de cada zona. Procediendo de la siguiente manera:

En el sector A (lado de alta tensión de la subestación) se ubica un juego de fusible de alto voltaje para la protección del sistema en caso de un daño de los transformadores.

En el sector B (barras) se coloca interruptores controlados por:

- a.- Relevadores direccionales de sobrecorriente o de potencia inversa con objeto de proteger el sistema contra fallas en la línea de subtransmisión o en los transformadores de la subestación de distribución.
- b.- Relevadores de sobrecorriente para protección de fallas de bajo voltaje en las barras; estos relevadores deben ser calibrados para funcionar a un tiempo más largo que los relevadores direccionales.

Los interruptores que se ubican al comienzo de la zona C (alimentadoras) están controlados, únicamente, por relevadores de sobrecorriente para cualquier falla en los alimentadores.

En la zona D (ramal de alimentación de las industrias) que corresponde a las acometidas de las distintas industrias, se utilizan fusibles de alto voltaje del tipo limitador de corriente o no limitador de corriente (12)

(12) "Industrial Power System Handbook" de Donald Bourne, Primera Edición; Capítulo 1 Pág. 31.

Ahora bien lo único que resta por conocer es la capacidad de los interruptores del sistema, la que se obtiene considerando la corriente de carga normal y la corriente de cortocircuito.

El cálculo de la corriente normal a plena carga de cada alimentadora se lo hizo en un capítulo anterior y se obtuvo 77; 53,4 + 57,5; 53,6 amperios, respectivamente, que sumados dos de ellos nos da una corriente aproximada por transformador de 120 amperios.

En lo referente a la corriente de cortocircuito se hará el cálculo con varias asunciones, sin las cuales no se podría obtener esta corriente: (13)

- a.- De acuerdo a la referencia (13), en la mayoría de los sistemas industriales la falla más severa que se presenta es el cortocircuito trifásico, por lo que los cálculos se los hace con este tipo de falla (se conoce que la corriente de cortocircuito más fuerte depende de la conexión a tierra de los transformadores)
- b.- Para obtener la corriente de cortocircuito no se considera el circuito #7 por ser un circuito de iluminación y por tanto no contribuye con corriente a la falla.
- c.- Se consideran todas las cargas en cada circuito representadas por un solo motor conectado en la mitad de la línea y de reactancia promedio $X''_d = a 26\%$ (subtransiente)* y $X'_d = 31 \times 2 = 62\%$ (transiente). Se coloca el factor 2 por existir solo la mitad de la capacidad que existía en el instante del cortocircuito. Todos estos valores incluyen los transformadores de bajada.
- d.- Se utiliza una reactancia de 6% (valor obtenido de la "National Electrical Manufacturing Association" N.E.M.A.) para los transformadores de la subestación de distribución.

*NOTA: Este valor subtransiente no se lo debe identificar con el valor subtransiente de un motor sincrónico, sino con el valor de reactancia en el primer instante del cortocircuito.

(13) "Industrial Power System Handbook" de Donald Hoeman, Primera Edición; Capítulo 1, Pág. 42.

El cálculo de corriente de cortocircuito se lo realizará en tres puntos: B-1, B-2, C-1, los mismos que aparecen indicados en la figura 7-2 (Pág. 59). Los valores bases a utilizarse en estos cálculos son: $KVA = 2500$ kv = 13,8.

Procediendo con la construcción de los diagramas unifilar y de impedancia se ve que los mismos tienen la forma indicada por las figuras 7-3 (Pág. 60) y 7-4 (Pág. 60). En esta última figura todos los elementos del sistema están representados por impedancias, las mismas que tienen los siguientes valores:

$$X''_{Tr} = j 6 \% = j0,06 \text{ p.u.}$$

$$X''_g = j 23 \% = j0,23 \text{ p.u.}$$

$$X'_g = j 62 \% = j0,62 \text{ p.u.}$$

$$Z \text{ línea} = 0,0041 + j0,0016 \text{ p. u.}$$

1.- Valores de cortocircuito en el punto B-1 (Apéndice H; Pág. 11)

$$I''_f = 4950 \text{ amperios}$$

$$I''_{f-brk} = 3260 \text{ amperios}$$

$$I_{i-brk} = 5220 \text{ amperios}$$

$$I'_f = 4030 \text{ amperios}$$

$$I'_{f-brk} = 2420 \text{ amperios}$$

$$S \text{ de interrupción} = \sqrt{3} \times kv \times I = 59800 \text{ kVA.}$$

2.- Valores de cortocircuito en el punto B-2

$$I''_f = 4950 \text{ amperios}$$

$$I''_{f-brk} = 1370 \text{ amperios}$$

$$I_{i-brk} = 2780 \text{ amperios}$$

$$I'_f = 4030 \text{ amperios}$$

$$I'_{f-brk} = 1630 \text{ amperios}$$

$$S \text{ de interrupción} = \sqrt{3} \times kv \times I = 38800 \text{ kVA.}$$

3.- Valores de cortocircuito en el punto C- 1

$I''_f = 4950$ amperios

$I''_{f-brk} = 4570$ amperios

$I''_{f-brk} = 7320$ amperios

$I'_f = 4160$ amperios

$I'_{f-brk} = 4000$ amperios

S de interrupción = $\sqrt{3} \times kv \times I = 102000$ kVA.

Como la finalidad de este capítulo es obtener los valores de cortocircuito más críticos para que sirvan de referencia para la selección de los interruptores, se usarán los valores obtenidos en un daño en el punto C-1 (Pág. 58); por tanto los interruptores a seleccionarse deben reunir las siguientes condiciones:

Voltaje de trabajo, = 15,5 kv.

Máximo voltaje de trabajo = 15 kv.

Corriente de trabajo = 120 amperios

Capacidad de interrupción = 102 m.v.a.

Corriente instantánea = 7050 amperios

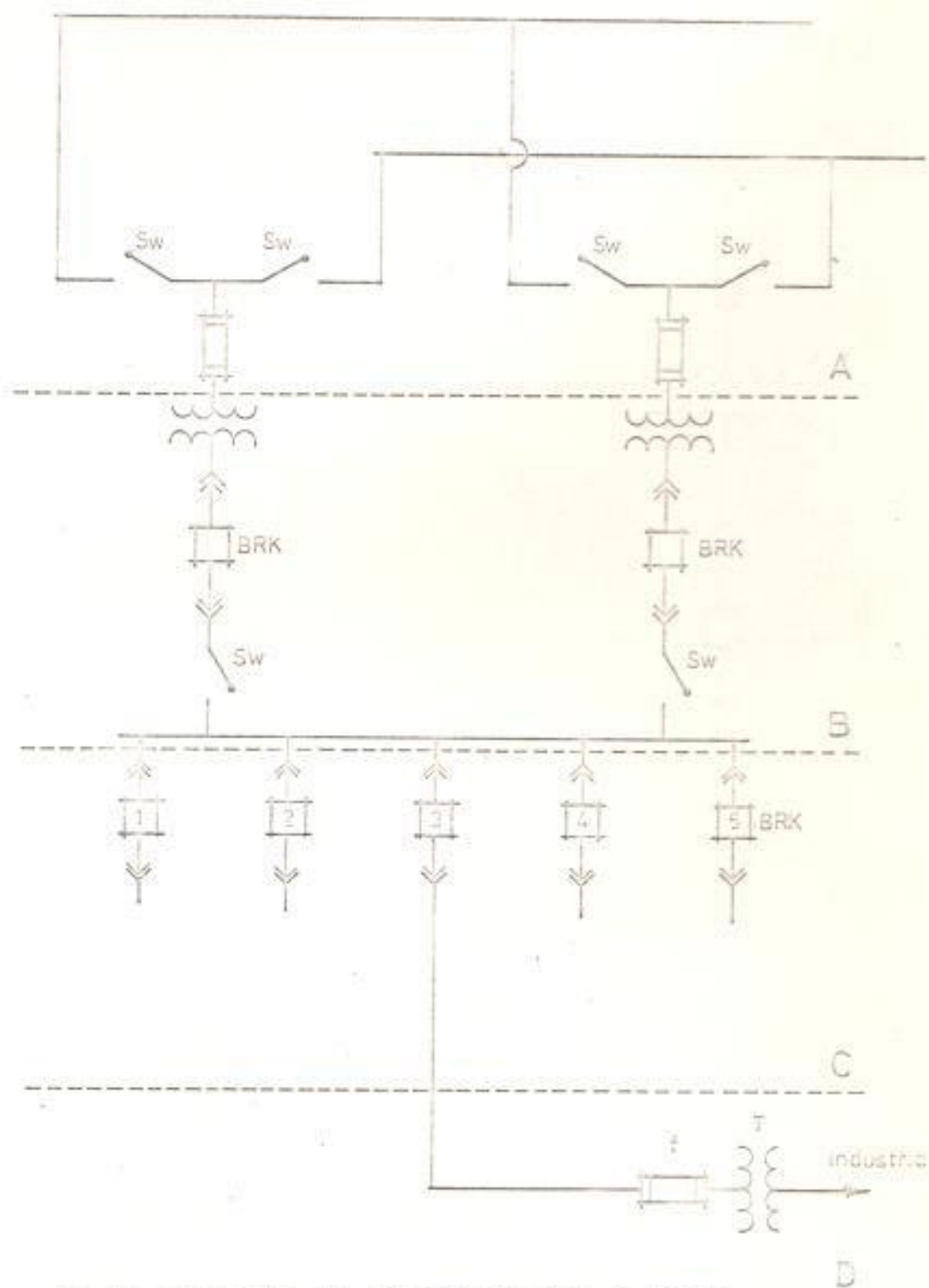


fig. 7-1 Esquema de proteccion del sistema.

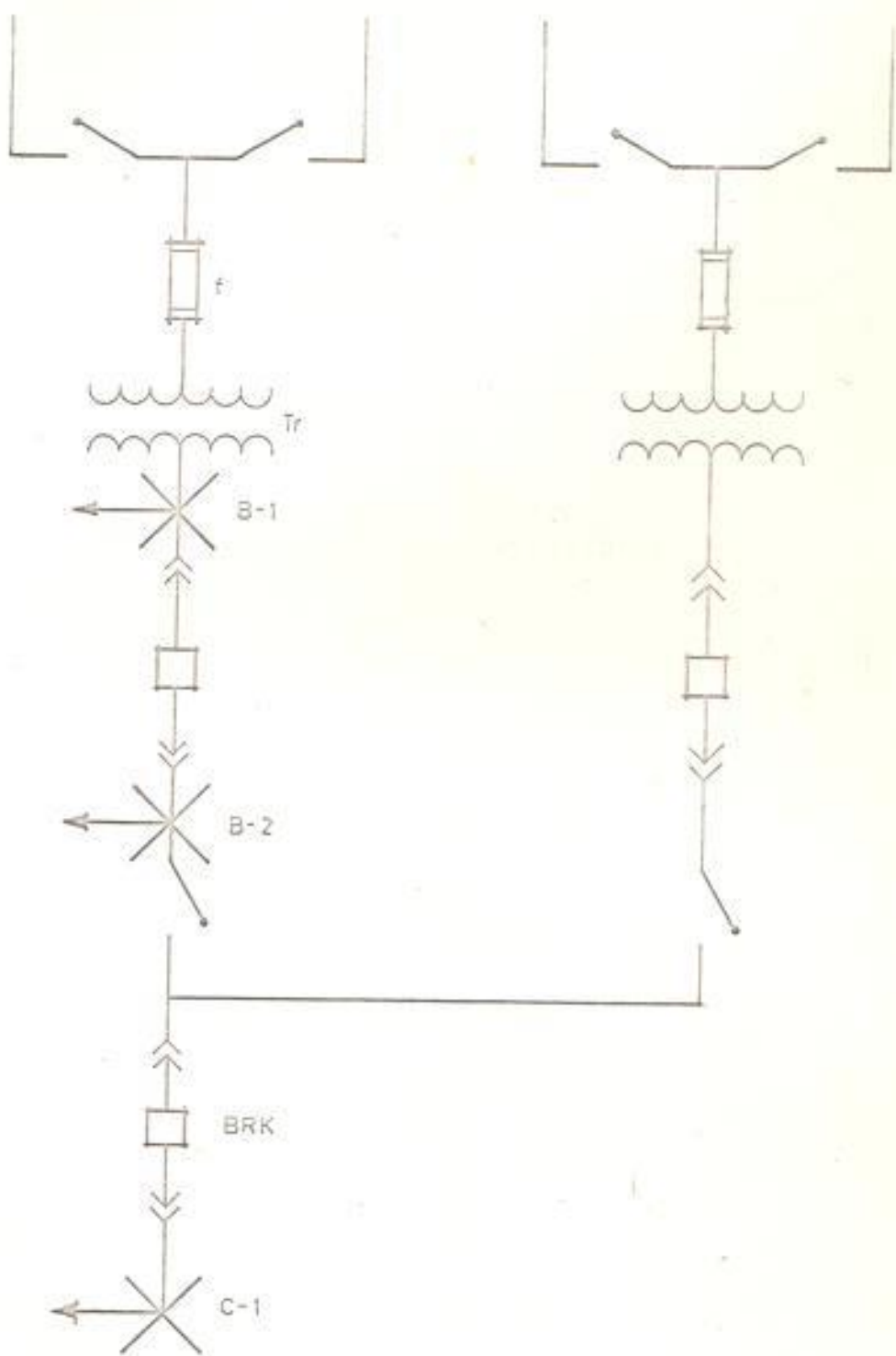


fig. 7-2 Puntos escogidos para cálculos de fallas.

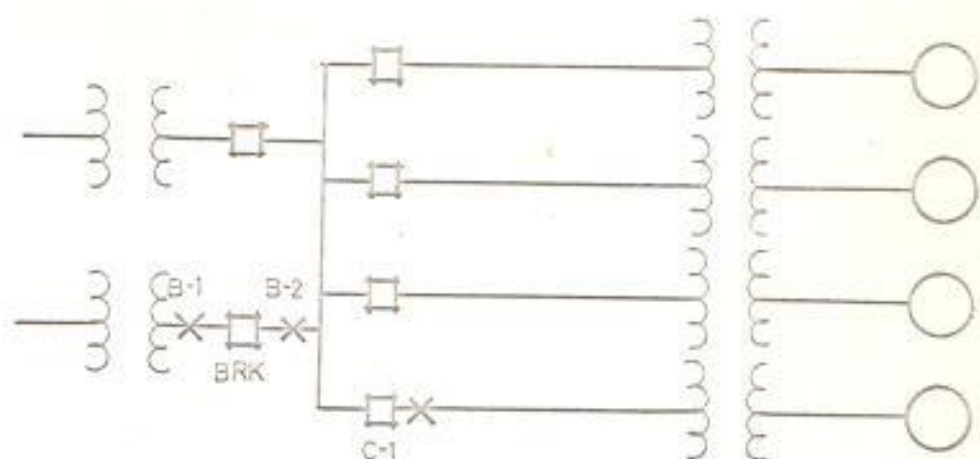


fig. 7-3 Diagrama unifilar del sistema

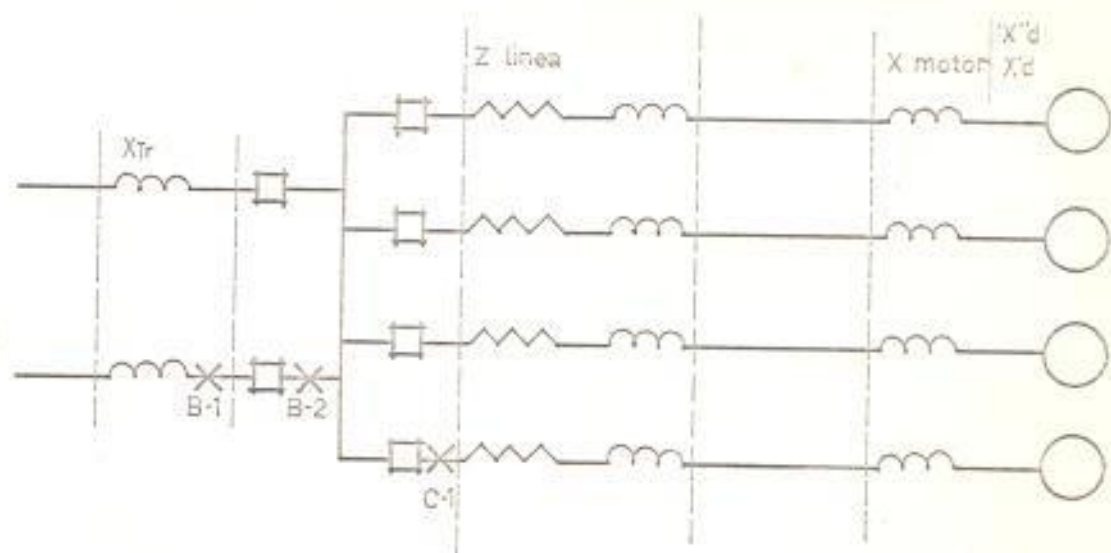


fig. 7-4 Diagrama de impedancia del sistema.

ILUMINACION DE LA ZONA INDUSTRIAL

Este estudio comprenderá la selección de las lámparas y de los transformadores a utilizarse en la iluminación externa de la zona.

La potencia de alumbrado no se la ha considerado en los cálculos de los circuitos, por aparecer en momentos en que la carga motriz tiene un valor medio.

En este trabajo de iluminación se tiene ya, ciertos elementos establecidos como:

- 1.- Un sistema primario de 13,8 kv.
- 2.- Transformadores monofásicos de $\frac{13,8}{\sqrt{3}}$ kv/220 v.
- 3.- Línea piloto #6 A.M.S. de cobre.
- 4.- Una distancia entre lámparas igual a 40 m.
- 5.- Lámpara de vapor de mercurio.

De los cuales, el primero es un elemento propio de este sistema y los otros son elementos cuyo uso es generalizado en la práctica de alumbrado de calles.

En este estudio nos ayudaremos de la Fig. 8-1 (Pág. 64); en ella aparecen ya, el número y la ubicación de los transformadores a utilizarse.

La selección del número y la ubicación de los transformadores, se la hizo a primera instancia, por considerársela como la alternativa (de las pocas alternativas posibles) que reúne las condiciones más ventajosas (facilidad de distribución, facilidad de alimentación, simetría, etc.) para realizar la alimentación para el alumbrado externo.

A.- Cálculos de lámparas.-

Area a iluminarse:

$$\text{Area longitudinal} = 750 \times 50 = 37.500 \text{ m}^2$$

$$\text{Area transversal} = 600 \times 50 = \frac{30.000 \text{ m}^2}{\text{-----}}$$

$$\text{Area total} = 67.500 \text{ m}^2$$

Clasificación de la zona , (14)

Tráfico de vehículos : zona de tipo ligero

Tráfico de peatones = zona de tipo medio

Por tanto su nivel luminoso será = 9 lux o $\frac{\text{lúmenes}}{\text{m}^2}$

lúmenes totales = $87.500 \text{ m}^2 \times 9 \frac{\text{lúmenes}}{\text{m}^2} = 607.500 \text{ lúmenes}$

Perímetro de la zona iluminarse = $750 \times 4 + 600 \times 3 = 4800 \text{ m.}$

Si se coloca una lámpara cada 40 m. se tiene:

de lámparas = $\frac{4800 \text{ m.}}{40/\text{lamp.}} = 120 \text{ lámparas.}$

lúmenes/lamp. = $\frac{\text{lúmenes totales}}{\# \text{ de lamp.}} = \frac{607500}{120} = 5060 \text{ lúmenes}$

Utilizando las tablas de la referencia (14), se tiene que las lámpara de vapor de mercurio a utilizarse son de 175 vatios y 6000 lúmenes.

Como se podrá ver en el dibujo 3-7, existen lámparas que se encuentran a 400 m. de los transformadores y esto deja entre ver el peligro de tener un voltaje muy bajo, por lo que procedemos a realizar un cálculo de caída de tensión, para ver si el voltaje en la lámpara más lejana tiene un valor comprendido entre los $220 \pm 5\%$ que es el voltaje permitido para el tipo de lámpara usada.

$I_{\text{lamp.}} = \frac{175 \text{ w.}}{220 \text{ v} \times 0,9} = 0,875 \text{ amperios}$

Longitud del tramo X-Y = 400 m.

número de lámpara en X-Y (los dos lados) = $\frac{400 \times 2}{40} = 20$

$I_{20 \text{ lamp.}} = 20 \times 0,875 = 17,5 \text{ amperios}$

Para efecto de la caída de voltaje de las 20 lámparas, se las considerará concentradas a 200 m. del transformador y que el cable que se usa es de cobre #6 A.W.G.

(14) Manual de Alumbrado de la Westinghouse, Cap. XIII: págs. 1 y 2 ; Cap. III - págs. 27.

Trabajando con el diagrama de la referencia (15) se obtiene un valor de $4,4 \% \times 2/\sqrt{3} = 5,1 \%$

En vista de ser 5,1 % un valor de caída de tensión muy elevado se coloca el tap #2 del transformador a la línea y así se obtiene un voltaje secundario de $220 + 2,5 \%$ en la primera lámpara y $220 - 2,5 \%$ en la última.

h.- Cálculo de los transformadores.-

Con respecto a los transformadores, estos serán cuatro, de tipo monofásico, de $\frac{13,8}{\sqrt{3}}$ kv/220 v $\pm 2 \times 2,5 \%$ y cuyas cargas

de trabajo serán:

Transformador #1

$$\# \text{ de Lámparas} = \frac{1100 \text{ w}}{40 \text{ w/lamp.}} = 27 \text{ lámparas}$$

$$P = \frac{175 \text{ w} \times \text{lamp.}}{32 \text{ lamp.}} = 3600 \text{ w.}$$

Transformador #2

$$\# \text{ de lámparas} = \frac{1050 \text{ w}}{40 \text{ w/lamp.}} = 26 \text{ lámparas}$$

$$P = 26 \text{ lamp.} \times 175 \frac{\text{w}}{\text{lamp.}} = 3550 \text{ w.}$$

Transformador #3

$$\# \text{ de lámparas} = \frac{1440 \text{ w}}{40 \text{ w/lamp.}} = 36 \text{ lámparas}$$

$$P = 36 \text{ lamp.} \times 175 = \frac{\text{w}}{\text{lamp.}} = 5500 \text{ w.}$$

El transformador #4 alimenta las mismas cargas que el transformador #2.

En razón de haberse obtenido los valores arriba mencionados se tiene que:

1.- Los transformadores a utilizarse son cuatro aparatos monofásicos de 10 kv., cada uno y $\frac{13,8}{\sqrt{3}}$ kv/220 v.

2.- El número de luminarias son 120 y de 175 vatios cada una.

(15) "Distribution Data Book" de la General Electric. Cap. V Pág. 35

Circuito subterráneo de iluminación externa

▲ transformador 10 kVA - 13.8/220 $\pm 2 \times 2.5\%$

— circuito de los cables # 6 tipo subterráneo.

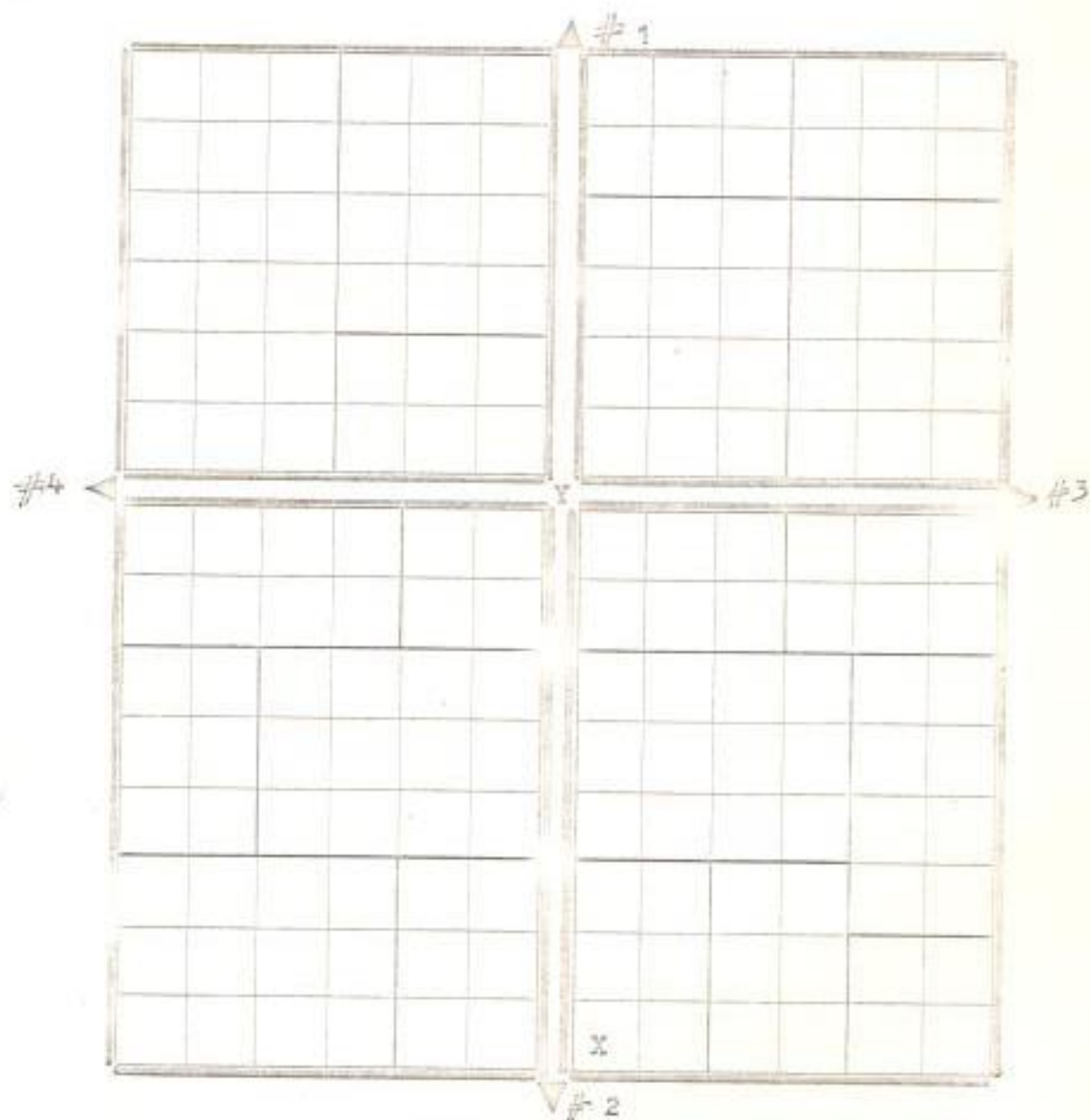


Fig. 8-1 Circuitos de iluminación externa (baja tensión)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Realizando un análisis de los resultados obtenidos en todos los capítulos de esta Tesis se tienen las siguientes conclusiones:

- 1.- Si se cuenta con un terreno de aproximadamente $1000 \times 1000 \text{ m}^2$ que tenga carreteras de acceso, agua potable y energía eléctrica, se tendrá un terreno que reúne las condiciones suficientes para convertirse en un Parque Industrial.
- 2.- Se ha comprobado que conocer la magnitud, tipo y crecimiento de la carga eléctrica es un factor fundamental para el diseño del sistema de distribución eléctrica del Parque Industrial.
- 3.- El sistema de distribución con su voltaje de 13,8 kv. cumple con los requisitos establecidos y es consistente con la Política de Normalización de Tensiones que deberá implantarse en el Ecuador.
- 4.- A pesar de ser una red de distribución subterránea radial, ésta tiene un buen nivel de confiabilidad por estar conformada por cuatro alimentadoras independientes.
- 5.- La subestación de distribución con su doble acometida y sus transformadores de 2500 kva - 69 kv/13,8 kv. es una subestación de tipo corriente y por tanto no presentará problemas al construirse.
- 6.- Los tipos de protección e iluminación externa escogidos son simples, efectivos y sus componentes (fusibles, relevadores, interruptores automáticos, lámparas, etc.) no tienen ninguna característica especial y por tanto no presentarán problemas de adquisición y montaje.

En general se puede decir que el diseño eléctrico logrado representa el modelo técnico-económico más apropiado para el Parque Industrial planificado en la primera parte de este trabajo.

Como parte final de esta Tesis se expone una sugerencia y un deseo:

La sugerencia es, que se continúe con los estudios de las demás partes por otro personal adicional capacitado

más partes constituyentes de este proyecto por especialistas de otras ramas de Ingeniería.

El deseo es, que se cumpla el objetivo de esta Tesis cual es el de enseñar que todo trabajo a emprenderse debe ser planificado en forma realista y en primera instancia.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Proyectos Industriales de Peracosta Caldas y Félix Pando. Primera Edición.
- 2.- Bases para una Política de Fomento Industrial en el Ecuador de E. J. Waygard. Primera Edición.
- 3.- "Electric Utility Engineering Reference Book" Volumen III "Distribution System" de la Westinghouse. Primera Edición.
- 4.- "Industrial Power System Handbook" de Donald Reeman. Primera Edición.
- 5.- "Electric Power Distribution for Industrial Plant" del Institute of Electrical and Electronic Engineer" (I.E.E.E.) Cuarta Edición.
- 6.- "Transmission and Distribution Reference Book" de la Westinghouse. Cuarta Edición.
- 7.- "Distribution Data Book" de la General Electric.
- 8.- Líneas Aéreas de Transporte de Energía Eléctrica de Luis María Chaca.
- 9.- Apuntes de Líneas Aéreas de Transportes y Distribución de Energía Eléctrica del Dr. Elías del Yerro Sánchez. Segunda Edición.
- 10.- "Underground Rural Distribution" de Rural Electrical Association Boletín 67-3.
- 11.- Manual de Alumbrado de la Westinghouse.
- 12.- Código Eléctrico Nacional de 1.962 (E.E.U.U.)