

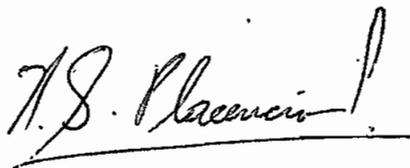
MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE LA
EMPRESA ELECTRICA MUNICIPAL DE LATACUNGA

"TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTROTECNIA
DE LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL"

MARCO GUILLERMO RAMOS BOADA

Quito, Julio de 1.972

Certifico que el presente
trabajo de Tesis ha sido
realizado en su totalidad
por el Sr. Marco G. Ramos B.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read "H. S. Placencia", is written over a horizontal line.

ING. HONORATO PLACENCIA C.

DIRECTOR DE TESIS

RECONOCIMIENTO:

Ha sido para mí de gran satisfacción, tener al Ing. Honorato Placencia C. como Director de Tesis, quien con su personalidad, experiencia y conocimientos, influyeran para que a lo largo de los capítulos, se logre una mejor coordinación y una mejor comprensión de los problemas que me propuse abordar.

Por ésta razón, hago para él un profundo reconocimiento.

I N D I C E

CAPITULO PRIMERO

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION EXISTENTE

- 1.1 Tipos de cargas del sistema.
- 1.2 Demanda máxima actual.-Capacidad de generación actual.
- 1.3 Proyección de la demanda para 1.980.
- 1.4 Tipo de sistema de distribución.
- 1.5 Tensiones del sistema.
- 1.6 La regulación de voltaje.
- 1.7 Sistema de protección.
- 1.8 Conclusiones del sistema.

CAPITULO SEGUNDO

CONSIDERACIONES PARA LAS MEJORAS AL SISTEMA

- 2.1 Zona de mejoramiento a tratar.
- 2.2 Características de la zona de mejoramiento.
 - 2.2.1 Regulación de voltaje.
 - 2.2.2 Sistema de protección.
- 2.3 La nueva subestación en construcción.
 - 2.3.1 Características del proyecto en construcción.
 - 2.3.2 Estado actual del proyecto en construcción.
- 2.4 Elevación del nivel de voltaje en la zona.
 - 2.4.1 La subestación en la línea Pisayambo.

CAPITULO TERCERO

ESTUDIO DE MEJORAS AL SISTEMA

Introducción

3.1 Mejora en la regulación de voltaje.

- 3.1.1 Reguladores de tensión en generadores.
- 3.1.2 Equipo de regulación de tensión en la subestación
- 3.1.3 Capacitores paralelo en la subestación.
- 3.1.4 Reguladores de tensión en alimentadores primarios
- 3.1.5 Capacitores paralelo en alimentadores primarios.
- 3.1.6 Capacitores serie en alimentadores primarios.
- 3.1.7 Crecimiento del calibre de los conductores.
- 3.1.8 Equilibrio de las cargas sobre el alimentador primario y en los secundarios.
- 3.1.9 Cambio de los alimentadores de una fase a dos fases y neutro o a trifásicos.
- 3.1.10 Transferencia de la carga a nuevos alimentadores.
- 3.1.11 Instalación de una nueva subestación y alimentadores primarios.
- 3.1.12 Crecimiento del nivel de voltaje primario.
- 3.1.13 Análisis para la solución de la regulación de voltaje en el sistema de distribución.

3.2 Alimentador al centro de carga de la zona.

- 3.2.1 Introducción.
- 3.2.2 Descripción del sistema de cálculo de la demanda máxima.
- 3.2.3 Conveniencia de un alimentador a la zona Rural Norte.

3.3 Alimentador al centro de carga del area norte de la zona.

- 3.3.1 Introducción.
- 3.3.2 Conveniencia de otro alimentador al centro de carga del area norte.

- 3.4 Utilización futura de los alimentadores añadidos.
- 3.5 Aumento de capacidad de transmisión.
- 3.6 Una nueva línea de transmisión hacia una nueva subestación
- 3.7 El sistema de protección para el nuevo sistema.
 - 3.7.1 Características generales de los sistemas de protección.
 - 3.7.1.1 Introducción.
 - 3.7.1.2 Condiciones impuestas a los sistemas de protección
 - 3.7.2 Conveniencias para la protección del nuevo sistema
 - 3.7.2.1 La puesta a tierra del neutro.
 - 3.7.2.2 Protección para sobrecorrientes.
 - 3.7.2.3 Protección contra sobretensiones.

CAPITULO CUARTO

CONCLUSIONES GENERALES

INTRODUCCION

En los proyectos de electrificación, la parte concerniente a los sistemas de distribución, tienen como inversión un porcentaje de alrededor de un 40% del gasto total.

Este porcentaje, da la importancia que tiene la planificación de ésta parte del sistema eléctrico.

En nuestro país se ha observado que la electrificación se está realizando aproximadamente en tres fases:

- 1.- Construcciones de sistemas de distribución e instalaciones de pequeñas plantas generadoras.
- 2.- Interconexión de los sistemas de distribución.
- 3.- Construcción de grandes centrales y posible eliminación de las pequeñas unidades instaladas.

De la primera fase se puede decir que se ha cumplido. Esta se ha encargado de hacer desarrollar el mercado para poder tener la demanda del producto.

De la segunda y tercera fase, se puede decir que se han iniciado conjuntamente y que por lo mismo los nuevos diseños y cambios en los sistemas de distribución deben ser mirados con particular atención.

El propósito de éste estudio, ha sido, tomar un sistema de distribución y dar soluciones para todos los problemas técnicos existentes, mirando la segunda y tercera fase de la electrificación en las que el país se está introduciendo.

En el funcionamiento de las redes de distribución, entraña un gran número de problemas, un problema de importancia puramente eléctrico es el de la regulación de tensión y potencia reactiva. Este problema se encontró en muy malas condiciones en el sistema de distribución tomado para el estudio, que fue una de las razones más para profundizar el tema de estudio de los métodos de regulación de tensión hechos en ésta tesis.

CAPITULO 1

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION EXISTENTE

1.1 TIPOS DE CARGAS DEL SISTEMA

Para el cobro de los kilowatios-hora vendidos, la Empresa Eléctrica Municipal, tiene un pliego tarifario en el que constan los clientes de acuerdo al tipo de carga en que han sido clasificados para darles servicio. Estos tipos de cargas son los siguientes:

1.- Por su localización geográfica.

- a) Domiciliaria Urbana
- b) Domiciliaria Rural

2.- Por tipo de establecimiento.

- a) Industrial

3.- Por artefacto conectado.

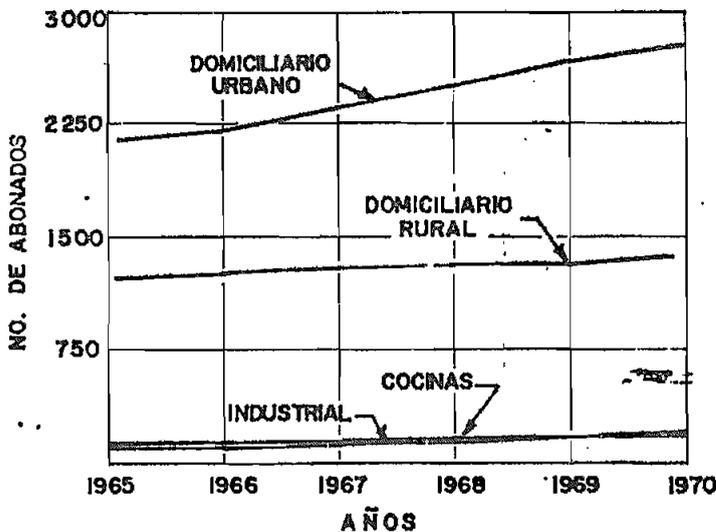
- a) Cocinas

4.- Energía vendida en bloque.

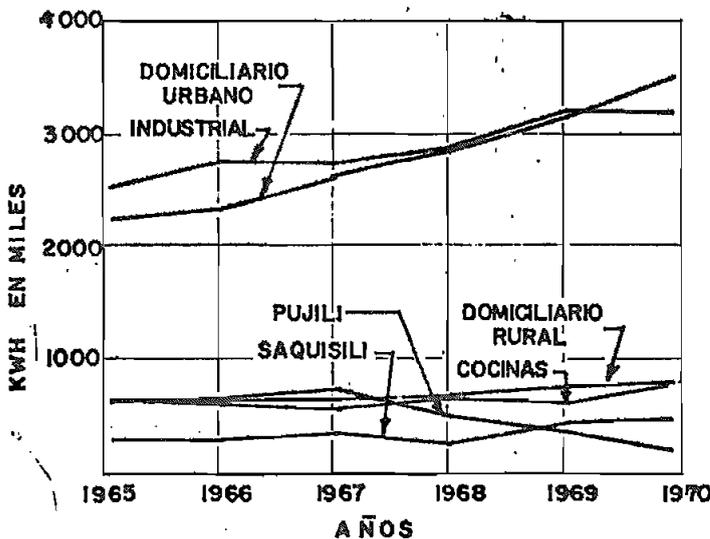
- a) Sector Saquisilí
- b) Sector Pujilí.

En los gráficos que se muestran en la siguiente hoja se pueden observar el crecimiento de los tipos de cargas, en número de abonados, en kilowatios-hora desde el año 1.965 que es el año desde el cual existen datos.

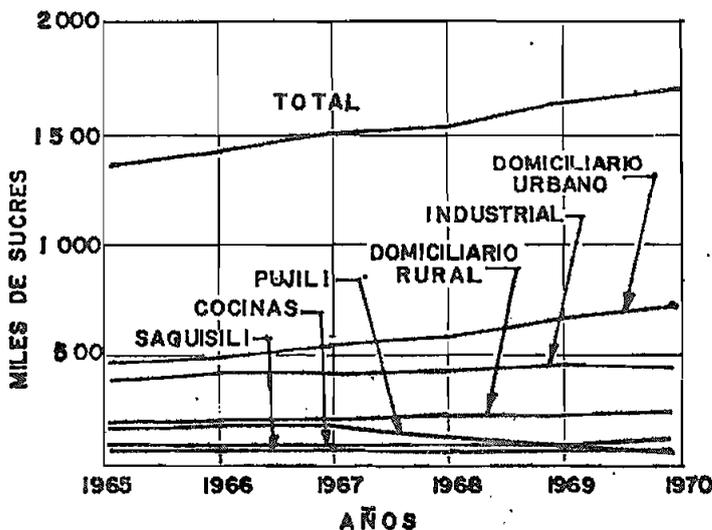
Los datos demuestran que el tipo de carga donde hay



CRECIMIENTO DEL NUMERO DE ABONADOS POR TIPO DE CARGA



CRECIMIENTO DE VENTA DE ENERGIA POR TIPO DE CARGA



CRECIMIENTO DE LOS INGRESOS TOTAL Y POR TIPO DE CARGA

Un crecimiento apreciable en abonados es el domiciliario Urbano. En cambio es de notarse en el tipo Industrial, que apesar que no hay crecimiento notorio en abonados, hay un crecimiento apreciable en kilowatios-hora comprados y con valores cercanos a los valores comprados por el tipo Domiciliario Urbano.

En éstos dos tipos de cargas es donde hay mayor venta de energía; son los que mayores ingresos económicos produce y los que dan mayor crecimiento al ingreso total.

1.2 DEMANDA MAXIMA ACTUAL.- CAPACIDAD DE GENERACION ACTUAL

La demanda máxima es la característica de carga que generalmente tiene mayor interés, porque, impone normas severas a un sistema y a la vez es función de otras características que son necesarias para analizar los sistemas de distribución.

La demanda máxima anual obtenida en la Empresa en el año 1.970 es la de 3.570 KW.

En la Fig. 1.1 se ha representado en un diagrama unifilar, el sistema eléctrico de potencia de la provincia del Cotopaxi sin las cargas.

El sistema eléctrico de la provincia, está alimentado por dos centrales hidráulicas denominadas N^o 1 y N^o 2, que tienen una capacidad de generación en la actualidad de 4.392 KW. Existe un proyecto de una nueva etapa para la central N^o 2 en la que se generará 1.460 KW. mas, etapa a realizarse en 1.973, año en que habría un total de 5.852 KW. de generación.

PROYECCION DE LA DEMANDA (TABLA 1)

Año	Número de Habitantes	Número de Abonados	Habitantes por Abahados	Consumo por Abon. Kwh / año	CONSUMOS (Mwh)				Perdidas de energía (%)	Energía generada (Mwh)	Factor de carga (%)	Demanda máxima (Kw)
					Homogen.	Industrial	A. Público	Total				
1969	27 800	3 860	7.2	1 245	4 840	3 040	1 013	8 893	21	39	3 295	
1970	28 140	4 020	7	1 300	5 225	3 280	1 130	9 635	21	39	3 570	
1971	28 550	4 080	7	1 350	5 510	3 545	1 150	10 205	20	40	3 640	
1972	28 930	4 130	7	1 405	5 800	3 830	1 170	10 800	20	40	3 850	
1973(1)	35 600	5 500	6.5	1 270	6 965	4 214	1 400	12 579	21	39.5	4 570	
1974	36 030	5 560	6.5	1 330	7 373	4 548	1 423	13 344	20	40	4 680	
1975	36 500	5 620	6.5	1 380	7 763	4 912	1 440	14 115	20	40.5	4 950	
1976	36 950	5 700	6.5	1 440	8 210	5 302	1 462	14 974	20	40.5	5 240	
1977	37 360	6 060	6.2	1 510	9 167	5 726	1 482	16 375	20	40.5	5 660	
1978	37 830	6 140	6.2	1 570	9 645	6 176	1 508	17 329	20	40.5	5 990	
1979	38 300	6 200	6.1	1 640	10 217	6 666	1 525	18 408	20	40.5	6 360	
1980	38 800	6 350	6.1	1 715	10 890	7 202	1 540	19 632	20	40.5	6 790	
Índice medio de crecimiento anual (%)												
1969-80	3.1	4.5		3.4	12	6	3.2	7.5			6.8	
(1)	Se anexa el cantón Salcedo											

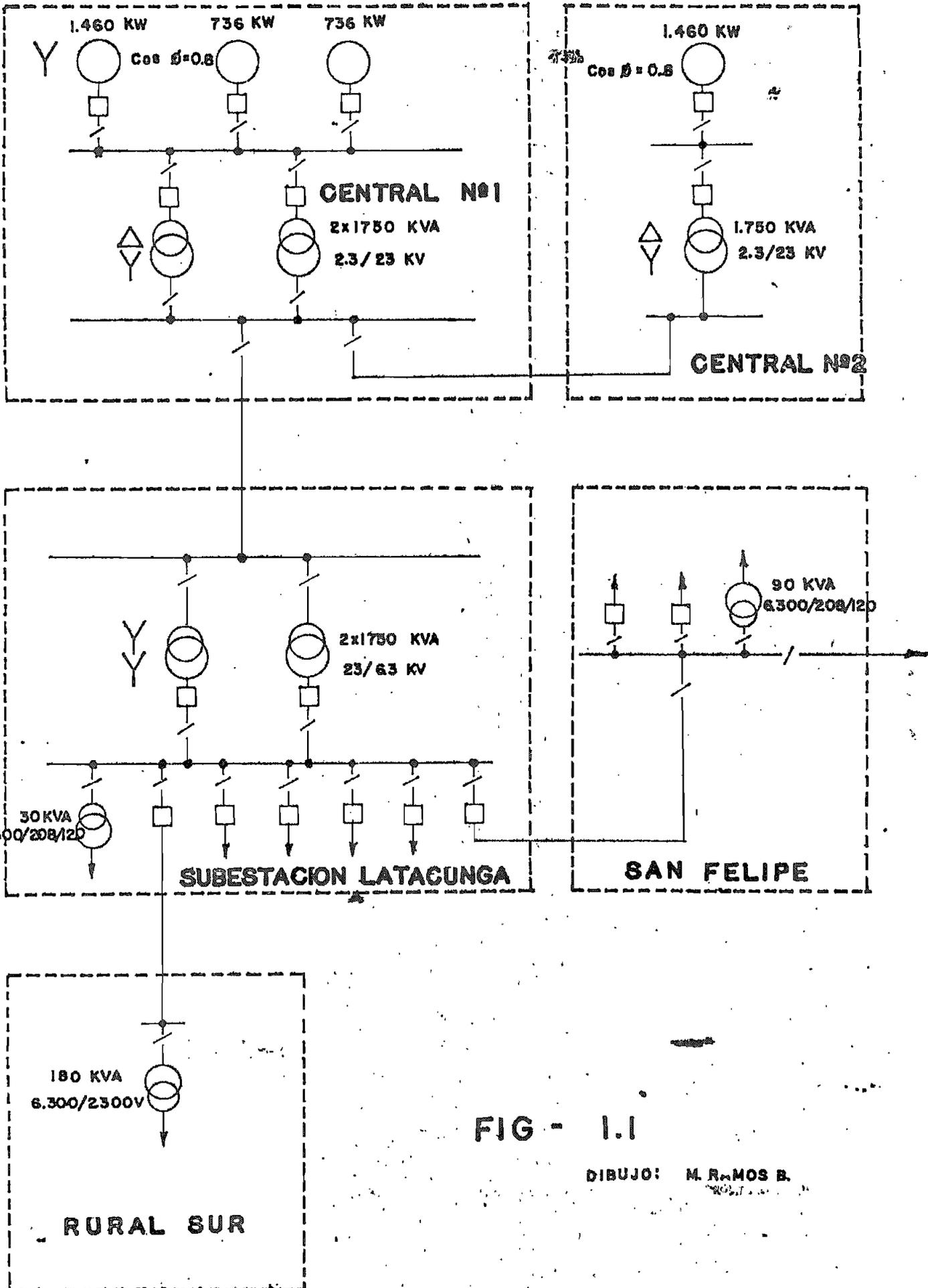


FIG - 1.1

DIBUJO: M. RAMOS B.

Cada central hidráulica tiene subestaciones de elevación que están conectadas por una línea entre las barras de alta tensión.

De la central N^o 1 parte una línea de transmisión calculada para 3.130 KVA. de capacidad con 5% de regulación que llega a una única subestación de distribución que tiene dos transformadores con una capacidad conjunta de 3.500 KVA.

Se tiene capacidad de generación sobrante sobre la demanda máxima en 822 KW.

1.3 PROYECCION DE LA DEMANDA PARA 1.980

Si bien la demanda máxima actual, es de interés para el análisis de un sistema de distribución, es de importancia también para un proyecto y para el estudio de proyecto de mejora que es el objeto del presente trabajo, observar como ha crecido la demanda y estimar lo que puede esperarse en el futuro.

Es indispensable entonces, para el desarrollo de éste trabajo presentar una tabla con la proyección de la demanda.

Hay diversas formas de presentar una proyección de la demanda. Un método de proyección a largo plazo se basa en el crecimiento de la población factor del crecimiento del consumo. Para obtener datos del crecimiento de la población recurrí a la Junta Nacional de Planificación que me dieron datos, basados en los censos nacionales, que analizados, no correspondían a la realidad estimativa tanto por

El Municipio de Latacunga como por INECEL. Este último instituto ya tenía una proyección de demanda basada en el crecimiento de la población que ha estado cumpliéndose con fidelidad, por lo que he creído conveniente tomar esa tabla como dato. La tabla I es la que contiene dicha proyección. En ella consta la proyección de la demanda para la zona que está sirviendo la Empresa en la actualidad, hasta el año 1.972 y desde 1.973 se añade el cantón Salcedo como un proyecto de expansión del sistema.

Para 1.975 se tiene otro proyecto con toda la carga del sistema y es el de entrar en interconexión con toda ella al sistema Pisayambo.

1.4 TIPO DE SISTEMA DE DISTRIBUCION

La distribución de energía se lo hace a partir de una única subestación que tiene dos transformadores de 1.750 KVA cada uno. Cada transformador se conecta a la barra de alta tensión de distribución, a través de un interruptor automático con intensidad nominal de servicio continuo de 150 amperios a 60 Hz., y de un interruptor desconectador.

De la barra salen seis alimentadores primarios. Cada alimentador sale a través de un interruptor desconectador y un interruptor automático con intensidad nominal de servicio continuo de 60 amperios a 60 Hz.

Los alimentadores distribuyen la energía en forma radial a las siguientes zonas:

- 1.- Rural Norte.
- 2.- Rural Sur.

- 3.- Sector Norte de la ciudad.
- 4.- Sector Sur de la ciudad.
- 5.- San Felipe, Saquisilí y Pujilí.
- 6.- Reserva.

La Fig. 1.2 (*) muestra la forma de distribución que realizan los alimentadores para las zonas Rural Norte, Rural Sur y Zona San Felipe, Saquisilí y Pujilí. En ella constan la ubicación de los transformadores con el valor de capacidad.

No se halla el detalle del sector de Saquisilí y Pujilí, pues, no existen datos.

En la Fig. 1.3 se halla la forma de distribución que realizan los alimentadores para las zonas del Sector Norte y Sector Sur de la ciudad.

Los conductores utilizados en los alimentadores principales son de cobre teniéndose gran número de subalimentadores con conductores de hierro galvanizado.

Los soportes usados para las líneas de energía que van por la zona rural son de madera. La madera mas utilizada es la de eucalipto. Estando utilizándose soportes de madera que no es dura no se han tomado precauciones para evitar una destrucción rápida que se logra con tratamiento químico. Los aisladores que se utilizan son de porcelana de color marrón colocados en el poste de madera por medio de soportes curvos que tienen rosca en la punta para ser atornillados.

*Las figuras 1.2 y 1.3 están como hojas de planos números 2 y 3 respectivamente.

Para la zona urbana se utilizan postes metálicos para las líneas con aisladores de porcelana colocados los conductores en disposición de triángulo equilátero ayudados con una cruceta. En las afueras de la zona urbana se recurre nuevamente a la utilización de los postes de madera con la tendencia a ser reemplazados por postes de hormigón centrifugado.

1.5 TENSIONES DEL SISTEMA

La elección de tensiones técnica y económicamente favorables para la transmisión de distribución de energía eléctrica es un factor muy importante.

El estudio para elección de una nueva tensión de distribución esté influenciado por una serie de factores entre los que se encuentra el considerar las tensiones ya existentes.

En el sistema eléctrico de la Empresa, la única subestación, transforma la tensión de transmisión que es 23 KV. a 6.3 KV como tensión de distribución primaria para todos los alimentadores conectados a su barra, anotándose que el alimentador que va al sector Rural Sur, llega a un transformador que baja la tensión de 6.3 KV a 2.3 KV para transformarse en una nueva tensión de distribución primaria de ese sector. El voltaje secundario nominal de distribución para conexión trifásica es 208/120.

1.6 LA REGULACION DE VOLTAJE

El sistema de distribución de la Empresa Municipal no tiene ninguna clase de regulación automática.

Con el objeto de ver el estado en que se encuentra el voltaje de servicio, se hizo lecturas de él en algunos transformadores de distribución y a la vez se tomaron lecturas de las corrientes.

Los voltajes leídos que más se alejaban de los límites permisibles por las normas, se encontraban en el alimentador de mayor longitud y con mas carga conectada perteneciente a la zona Rural Norte. El alimentador tiene una longitud de 30Kms. y un voltaje nominal de 6.3 KV.

Como ejemplo de valores leídos daré los siguientes:
En el alimentador Rural Norte:

Transformador en Tocaso (fin del alimentador)

Capacidad 36 KVA
Voltajes Nominales 6300/5700 /210

Voltajes leídos:

Voltajes Secundarios:

Fase - Fase	Fase - Neutro
UV - 150 V.	UN - 80 V.
VW - 150 V.	VN - 70 V.
UW - 145 V.	WN - 80 V.

Corrientes:

U - 28 A.
V - 65 A.
W - 110 A.

Hora: 6:45 P.M.

Transformador en Campo de Aviación (comienzo del alimentador)

Capacidad: 20 KVA,
Voltajes Nominales 6300/5700/210

Voltajes Leídos:

Voltajes Secundarios.

Fase	-	Fase	Fase	-	Neutro
UV	-	190 V.	UN	-	105 V.
VW	-	195 V.	VN	-	110 V.
WU	-	195 V.	WN	-	110 V.

Corrientes:

U	-	40 A.
V	-	38 A.
W	-	15 A.

Hora: 8:15 P.M.

1.7 SISTEMA DE PROTECCION

El sistema eléctrico de la Empresa en ninguna parte del diseño actual se halla con conexión del neutro a tierra. La subestación de elevación tiene la conexión ΔY con el neutro aislado la subestación de distribución tiene también la conexión $Y Y$ con el neutro aislado. Los transformadores de distribución tienen la conexión ΔY también con neutro sin conexión a tierra.

Los alimentadores primarios de la Empresa emplean como elemento básico de protección y seccionalización los fusibles. Se usa interruptor automático, únicamente a la salida de los alimentadores de la subestación, Estos interruptores no tienen recierre automático.

Para ver la forma de coordinación en tiempo-corriente de los dispositivos empleados en la Empresa, se pidió datos de las características tiempo-corriente de los dispositivos que han empleado pero no existieron esos datos.

Los equipos de la subestación y los transformadores

de distribución están protegidos contra las descargas atmosféricas por pararrayos, localizados cerca de los terminales.

En las líneas no se emplea ningún método básico de protección.

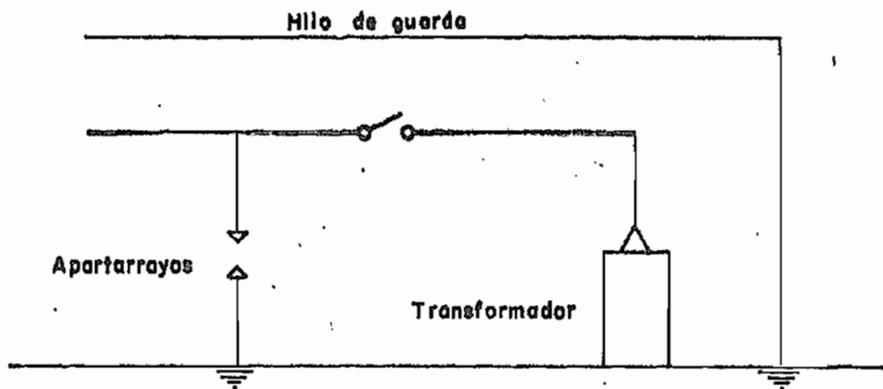
1.8 CONCLUSIONES DEL SISTEMA

PRIMERA. Los tipos de cargas que influyen mayormente en el ingreso económico total de la Empresa son: La Domiciliaria Urbana y la Industrial. Esta particularidad influye notablemente en la estabilidad de ingresos. Una migración de cargas industriales afectaría económicamente a la Empresa, así como también su aumento tendría un efecto económico beneficioso.

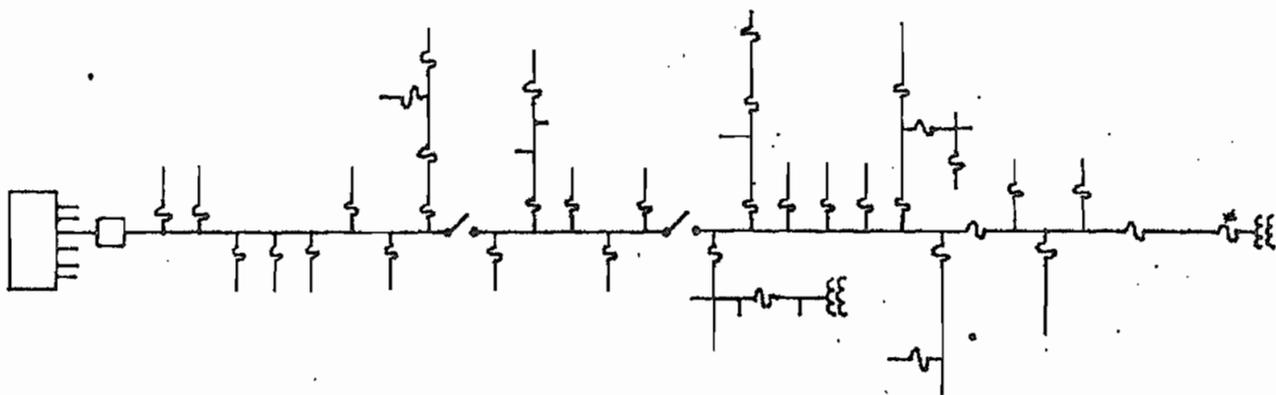
SEGUNDA.- La capacidad de generación de las dos centrales hidráulicas que en la actualidad tiene 4.392 KW. de potencia es un valor que sobrepasa la demanda máxima obtenida en el año 1.970 y puede cubrir las necesidades de la provincia en demanda máxima hasta el final del año 1.972 según se puede observar en la tabla I de proyección de la demanda.

TERCERA.- La capacidad de la única subestación es diferente a la situación de la capacidad de generación. Los dos transformadores de 1.750 KVA que dan el total de 3.500 KVA no están en capacidad de cubrir la demanda máxima hasta el final del año 1.972. Hace falta capacidad de subestación.

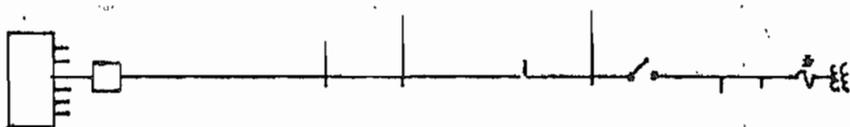
CUARTA.- La alimentación de energía para todo el sistema de distribución eléctrica está dependiendo de sólo una línea de transmisión. La capacidad para la que fue calculada ésta línea que tiene el valor de 3.130 KVA está cubierta con la



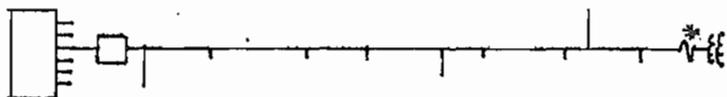
ESQUEMA DE PROTECCION DE LA SUBESTACION (Fig. 1.4)



ESQUEMA DE PROTECCION DEL ALIMENTADOR RURAL NORTE (Fig. 1.5)



ESQUEMA DE PROTECCION DEL ALIMENT. S. NORTE DE LA CIUDAD (Fig. 1.6)



ESQ. DE PROTEC. DEL ALIMENT. S. SUR DE LA CIUDAD (Fig. 1.7)

-  Interruptor Automatico
-  Fusible de linea
-  Fusible de transformador
-  Interrupt. Seccionador

demanda máxima obtenida en el año 1.970. Una sola línea de transmisión para todo el sistema y con el diseño que tiene no ofrece buena seguridad para el servicio eléctrico QUINTA.- Los alimentadores de distribución son de construcción radial, forma de circuito primario que es la mas simple y de mas bajo costo, donde sólo un sendero de alimentación es el responsable de llevar energía eléctrica a las cargas conectadas a él. Ninguno de los alimentadores ha sido diseñado para tener circuitos de enlace ni se ha tratado de hacer un estudio para ejecutarlo, mejorando así, el diseño simple de forma radial y logrando un avance en la rehabilitación de servicio.

SEXTA.- Las líneas Rurales difieren en varios aspectos de las líneas urbanas. Una distinción importante es de el número de abonados y el consumo medio por kilómetro es muy pequeño; en consecuencia la recaudación por kilómetro es baja y por lo cual el costo de la línea se procurará que sea tan reducido como sea posible. La Empresa Eléctrica utiliza soportes de madera para sus líneas de energía que pasan por la zona Rural; la utilización de estos soportes disminuye el costo de las líneas. Es conveniente que los postes empleados tengan una larga duración. Se obtiene una mayor duración de los postes utilizando maderas apropiadas y generalmente, sometiendo a tratamientos especiales todas las clases de maderas, tanto las que son de larga duración como las que no lo son. La observación hecha en los postes de madera utilizados por la Empresa no contenían las condiciones de conveniencia que deben tener los postes. Se han utilizado maderas para postes con diferencias en longitud y conicidad, además, no se ha prolongado la duración de la madera con ningún tratamiento especial.

La vida de la madera no tratada es incierta y puede ser a veces de sólo 5 años; la madera tratada si se encuentra sana antes del proceso dura por lo menos 20 años. Los gastos en el tratamiento de los postes de madera se compensan con la mayor duración de ellos.

SEPTIMA.- La elección de la tensión de servicio mas económica depende de potencia requerida para la línea y de la distancia. En la Empresa Eléctrica hay una sola tensión para el sistema de distribución de los alimentadores primarios que es la de 6.300 voltios. Con ésta tensión dan servicio alimentadores con longitudes de línea que van desde 1.5 Kms en la ciudad a 30 Kms en el alimentador Rural Norte con la observación de una poca diferencia de potencia de las líneas. El crecimiento de la demanda hará que la situación anteriormente observada vaya acentuandose, situación que hace pensar en que pueda requerirse una tensión mas alta para distribución. Una solución cuando la potencia transmitida y la extensión de la línea crece sobrepasando ciertos limites es el cambio de tensión de la línea por otra mas alta. Se ha observado en el sistema de distribución de la Empresa, que la tendencia a seguir a sido contraria a la solución anterior habiendose disminuido el nivel de voltaje primario en el alimentador Rural Sur de 6.300 voltios a 2.300 voltios.

OCTAVA.- Uno de los factores importantes en el diseño de un sistema de distribución es la regulación de voltaje. Es el factor que gobierna en muchos circuitos primarios antes que la capacidad de conducción de corriente al seleccionar el calibre del conductor. Los valores de voltajes dados como ejemplos de las lecturas hechas, que se dan en

el parrafo 1.6 dan idea de una variación de voltaje con límites que se encuentran lejos de los valores de un buen diseño.

NOVENA.- El sistema de protección, tanto de sobrecorriente, como de sobretensión, es otro de los factores que se consideran importantes en el diseño de un sistema de distribución. Una adecuada selección de los aparatos de protección garantizan la operación de ellos contra caños en los circuitos y equipos, mejorando así la continuidad de servicio. Las características del sistema de protección en el sistema de distribución dadas en el parrafo 1.7 y complementadas con las figuras 1.4 y 1.7 hacen ver que se emplea elementos básicos para la protección y se nota aún que además hace falta alguno de ellos como sucede con las líneas primarias para la protección de sobretensiones.

DECIMA.- En los sistemas eléctricos trifásicos hay diferentes sitios en los que el neutro puede ser puesto a tierra: El punto neutro de los generadores, en las subestaciones, en los sistemas de transmisión en los sistemas de distribución, en las acometidas. En el sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica en ningún sitio se halla colocado el neutro a tierra.

La conexión del neutro a tierra en cualquier sitio del sistema eléctrico tiene ventajas y por lo men 3 el sistema secundario de distribución debería estar normalmente puesto a tierra. Por ejemplo, si las acometidas a los abonados no están puesto a tierra existe el grave peligro de descargas eléctricas a cualquier persona que toque cualquier aparato doméstico en que la aislación haya fallado y la superficie de contacto tome el potencial del conductor cargado.

CAPITULO II

CONSIDERACIONES PARA LAS MEJORAS AL SISTEMA

2.1 ZONA DE MEJORAMIENTO A TRATAR

Una observación global de las características del sistema de distribución existente hecho en el capítulo anterior, hace ver el mal estado en que se encuentra y el pésimo servicio que presta a los consumidores.

Al hacer el análisis de los tipos de cargas, se vió la importancia que tenían las cargas Domiciliaria Urbana e Industrial dentro del sistema. El primer tipo tenía un apreciable crecimiento en compra de kilowatios-hora, son además las cargas que mayor demanda tienen en el sistema. Es importante en consecuencia, que éstas cargas sean miradas en forma especial.

De los alimentadores que salen de la subestación, son tres donde se hallan concentradas las cargas Domiciliaria Urbana e Industrial, por esta situación, la zona a las que sirven estos alimentadores es a la que estará dirigida el estudio en detalle, del mejoramiento del sistema de distribución. Los tres alimentadores son el Rural Norte, Sector Norte de la Ciudad y Sector Sur de la Ciudad, de éstos se concluyó en el capítulo anterior que el alimentador Rural Norte, está en estado crítico y no cumple con factores importantes de diseño. Al parecer ésta situación hizo a la Empresa Eléctrica, emprender, un proyecto de

mejora para lo cual, realizó un contrato denominado:
"Linea de Transmisión de la Central Illuchi a Lasso".

El contrato se realizó en el año 1.961 con un plazo de entrega de seis meses. De éste proyecto emprendido, en la actualidad hay indicios de su iniciación, pero no de su finalización.

El detalle del proyecto se mencionará detenidamente mas adelante.

El estudio de mejoramiento estará dirigido a todo el sistema de distribución, pero, como se dijo anteriormente el estudio en detalle se hará con los tres alimentadores mencionados por lo que se llamará a la zona que sirven éstos la zona de mejoramiento. Además, se interrelacionará el sistema actual con las zonas que servirá en el futuro.

2.2 CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE MEJORAMIENTO

La Fig. 1.2 y la Fig. 1.3 hacen observar el trazado de los alimentadores que salen de la subestación. Se ve lo dicho, que los tres alimentadores de la zona de mejoramiento son los que mas carga de todo el sistema tienen. Para mejor visualización de éstos tres alimentadores se ha trazado la figura 2.1.

Los alimentadores realizan una distribución eléctrica en forma radial. Tienen un valor de voltaje nominal primario de distribución de 6.300 voltios con sus fases conectadas en Υ con el neutro flotante. Los subalimentadores unos son trifásicos y otros monofásicos.

Como se puede ver en la Fig. 1.2, el alimentador que

001016

va hacia la parte Rural Norte abarca una gran extensión de área rural que contiene pocas haciendas de gran magnitud, algunos pueblos e industrias. Por la mitad del área, atravieza la Carretera Panamericana. Los pueblos se hallan mas bien alejados de la carretera y las industrial al borde de ella. La mayor parte de la carga conectada en el alimentador se halla colocada por los dos tercios de su longitud. Es el alimentador mas largo de todo el sistema con una extensión de 30 Kms. Se usan en él cuatro calibres de alambres de cobre, sale de la subestación con calibre N^o 2 AWG a lo largo de poquísima extensión, luego el N^o 4 AWG y N^o 6 AWG, éste también usado en poca extensión para terminar con el N^o 8 AWG. Los valores exactos de las longitudes se puede ver en la Fig. 2.1.

Los alimentadores de la ciudad son de menores longitudes comparados con el anterior. El alimentador del Sector Norte tiene una longitud de 1,8 Kms y el del Sector Sur 1,5 Kms. En ellos se halla conectada toda la carga Domiciliaria Urbana con alguna poca carga Industrial. Los alimentadores usan tres calibres de alambres el N^o 2, N^o 6 y N^o 8, las longitudes correspondientes a estos calibres se pueden ver en la Fig. 2.1.

2.21 REGULACION DE VOLTAJE

En el capítulo I se trató de las condiciones en que se halla el voltaje del sistema. Se dió para ello ejemplos de lecturas hechas en la parte de los secundarios de los transformadores. Los ejemplos correspondian a lecturas sobre el alimentador Rural Norte, se dijo que eran las mas significativas; siendo así, se las tomará de nuevo

para tratar la regulación de voltaje de la zona de mejoramiento.

Una de las lecturas tiene un valor mas bajo y corresponde a la que se halla en el transformador del fin del alimentador. Tomando el valor de voltaje de 145 voltios fase-fase.

Se tendrá en la parte de alta tensión un valor de 4.350 voltios, calculado por la relación de transformación sin tomar en cuenta la caída de voltaje que se produce en él.

La regulación de voltaje es el porcentaje de caída de tensión de la línea con referencia al voltaje que se recibe al final de la línea. La regulación de voltaje en el alimentador Rural Norte tomando el voltaje primario anteriormente calculado como voltaje que se recibe al final de la línea, tendrá un valor de:

$$\text{Porcentaje de regulación} = \frac{100 (|E_s| - |E_r|)}{|E_r|}$$

donde:

E_s = Voltaje que se recibe al comienzo de la línea

E_r = Voltaje que se recibe al final de la línea.

$$\text{P. de reg.} = \frac{100 (6.300 - 4.350)}{4.350}$$

$$\text{P. de reg.} = 45\%$$

Anotándose que si bien este porcentaje de regulación es con una caída de tensión que se produce en la hora pico de un día, no es la caída de tensión máxima que se

puede dar a la línea. Se ha hecho para el cálculo de la regulación, la suposición que el voltaje que recibe al comienzo de la línea el primer consumidor tiene un voltaje entre fases de 210 voltios que se obtiene con el voltaje nominal primario, cosa que en la realidad no es verdad. El valor real es menor.

La lectura de voltaje en los otros alimentadores estába con valores que reflejaban mejores condiciones de regulación que la lectura tratada.

El valor de regulación calculado anteriormente da idea como está la regulación de la zona, en especial la del alimentador Rural Norte, que tiene una exagerada caída de tensión, y como complemento una considerable pérdida de energía.

2.22 SISTEMA DE PROTECCION

Los alimentadores de la zona de mejoramiento al igual que todos tienen a la salida de la barra de baja tensión de la subestación un interruptor automático sin recierre automático, con intensidad nominal de servicio continuo de 150 amperios a 60 Hz. Interruptores, seccionadores manuales se hallan intercalados en los alimentadores principales. Según se puede observar en las Figs. 1.2 y 1.3 las fallas que suceden en cualquier punto del alimentador principal sea ésta persistente o no persistente hacen funcionar el interruptor automático de la subestación desconectándolo.

Los subalimentadores están protegidos contra sobrecorrientes por fusibles. Se emplean también fusibles en el

lado primario de los transformadores de distribución. El empleo de estos fusibles tiene varias razones, de las cuales las más importantes son: la de proteger el alimentador primario contra fallas en el transformador de distribución; para limitar los daños en el transformador por falla interna; para proteger al transformador contra daños causados por fallas sostenidas en el circuito secundario; proveer un medio de aislarle al transformador del circuito primario.

Las líneas de distribución no tienen protección para sobretensiones. No hay formas básicas de protección como la de los pararrayos distribuidos en las líneas o el conductor de tierra sobre las líneas.

La puesta a tierra del neutro del circuito primario al no existir no aprovecha la finalidad principal para la que sirve que son: estabilizar los potenciales de los circuitos a tierra para evitar esfuerzos excesivos en el aislamiento y, en las averías a tierra, proporcionar un paso que facilite el funcionamiento de los dispositivos de protección contra las sobre intensidades asegurando la rápida desconexión al surgir la avería.

La puesta del neutro del circuito secundario tampoco existe.

2.3 LA NUEVA SUBESTACION EN CONSTRUCCION

Como se ha mencionado en los párrafos anteriores, el sistema eléctrico de la Empresa tiene una sola subestación llamada "El Calvario". La I. Municipalidad de Latacunga realizó un contrato en el año 1.961 para adquirir; una

línea de transmisión que va desde la central # 1 hasta un sitio denominado subestación "Norte" con una longitud aproximada de 16.750 metros y otra línea de transmisión desde la subestación Norte hasta la población de Lasso con una longitud aproximada de 5.000 metros.

Este contrato realizado ubica una nueva subestación pero en él no se especifica la instalación de ella ni existen detalles de como será su diseño. Fuera del contrato tampoco existe ningún diseño de ésta nueva subestación.

Las dos líneas del contrato han sido construidas en parte, no ha sido utilizado ningún sector de lo construido.

El sitio decidido para la ubicación de la subestación está aproximadamente a 16.500 metros de la subestación existente siguiendo el recorrido del alimentador primario Rural Norte. La ubicación de ésta subestación así como el trazado aproximado de la línea de transmisión y el trazado de la línea de distribución se puede observar en la Fig. 1.2.

2.31 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO EN CONSTRUCCION

Al realizar el contrato se emprendió, pues, la realización de un proyecto, que como no está terminado, se entiende que deberá seguir su construcción.

Al parecer el propósito de ubicar la nueva subestación en el sitio decidido fue para tomar la carga que se encuentra en ese sector Norte a excepción de una poca que se encuentra cerca de la subestación existente.

La línea de transmisión tiene las siguientes características:

Longitud	16.750 Mts.
Tensión nominal	23.000 Voltios.
Condu	3 X 25 mm ² Cu.
Hilo de Guardia	1/4 acero galvanizado
Capacidad	1.400 KW
Vano promedio	100 mts.

Los postes utilizados son de hormigón centrifugado. Los conductores se hallan colocados sobre aisladores rígidos de porcelana color marrón; a su vez los aisladores se hallan montados en crucetas metálicas. El diseño de las crucetas metálicas hace que los conductores montados en los aisladores se pongan en disposición de triángulo rectángulo con un valor del lado del triángulo igual a 150 centímetros.

La línea de distribución primaria tiene las siguientes características.

Longitud	4.750 mts.
Tensión (normal) (salida)	6.000 Voltios.
Conductores	3 X 2 AWG Cu.
Hilo de guardia	1/4 acero
Capacidad	700 KW
Vano promedio	75 mts.

Esta línea también está construida con postes de hormigón centrifugado. Al igual que la de transmisión, utiliza también aisladores de porcelana montados en crucetas, hace que los conductores montados se pongan en

disposición de triángulo rectángulo con un valor de lado menor e igual a 80 cms.

Observando el diseño de éstas dos líneas se deduce que la capacidad que se puede instalar en la subestación deberá ser no mayor a la capacidad de un transformador de los que tiene la actual subestación es decir, 1750 KVA. La relación de voltajes de transmisión a distribución igual a la actual 23/6.3 KV.

Además, hay que indicar que en el contrato realizado para la construcción de estas líneas, consta un interruptor reconectador automático trifásico en aceite de voltaje nominal 10 KV, 60 Hz, 50 amp de corriente nominal continua, 1.250 amp. de capacidad máxima de interrupción.

2.32 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO EN CONSTRUCCION

El contrato efectuado es para la instalación de dos líneas la una de transmisión y la otra de distribución.

La construcción de la línea de transmisión no ha sido completada, faltando la colocación de conductores en un tramo de línea que no ha sido determinado, en cuanto a la otra línea, la de distribución la construcción está terminada, pero, sin la colocación del interruptor automático. De la subestación propiamente no se halla realizado nada.

2.4 ELEVACION DEL NIVEL DE VOLTAJE EN LA ZONA

La elección de la tensión técnica y económicamente favorable tanto para transmisión y distribución de energía eléctrica es un hecho de gran importancia. La elección de la tensión para una red de distribución se ve influencia-

da por una serie de factores, como por ejemplo: la potencia transmitida, la curva de carga, la consideración de tensiones ya existentes, la valorización de las pérdidas, las normas vigentes, etc, etc. Por estos motivos es casi imposible indicar una solución de validez general, solo se pueden dar normas generales, deducidas de exámenes económicos y de las experiencias adquiridas en redes ya existentes.

Al hablar de normas vigentes se incluye también la de los niveles de voltaje que cada país ha escogido como convenientes. Muchos son los beneficios que se obtienen al estandarizar los valores de voltaje.

En el país como se ha visto no hay normalización, pero ha existido una tendencia en las empresas a buscar ciertos niveles de voltaje para la distribución, además, con el aumento de potencia en los sistemas de los niveles de voltaje que se buscan son cada vez mas altos.

Es claro que las líneas existentes en la Empresa han ido en aumento de potencia y también en longitud y como es sabido las líneas de distribución se limitan en longitud y carga por la regulación de voltaje antes que por limitaciones térmicas, a excepción de ciertas líneas cortas que sirven áreas de alta densidad de carga.

Un método de regulación de voltaje es el de elevar el nivel de voltaje en los alimentadores de mala regulación, pero, esto se analizará detenidamente en el próximo capítulo en el que se va hablar de ello.

Al tratar el mejoramiento de distribución es entonces

LINEA DE PISAYAMBO

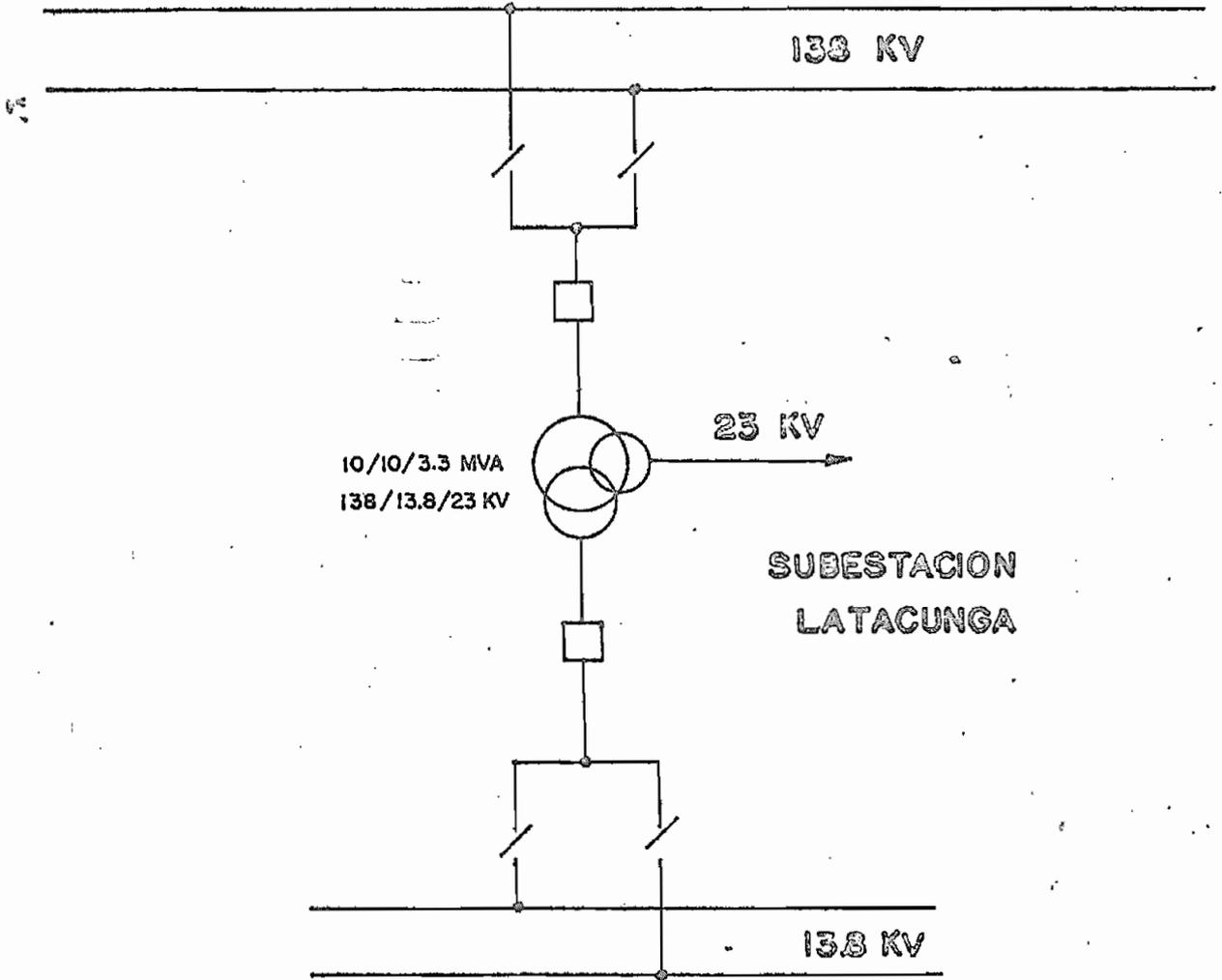


FIG. 2.2

necesario pensar que si las tensiones que tiene la Empresa en la actualidad: 23 KV para transmisión y 6,3 KV y 2,3 KV para distribución primaria, son convenientes para el sistema actual y su futuro.

Existen proyectos futuros para la red como el proyecto Pisayambo y la oportunidad para el sistema de que si hay la necesidad de la elevación de nivel de voltaje aprovecharse de él en la mejor forma. Las características de éste plan con su subestación se describe en el próximo párrafo.

2.41 LA SUBESTACION EN LA LINEA PISAYAMBO

Los sistemas integrados tienen muchas ventajas. El país iniciará la integración de sistemas con el proyecto de la línea Pisayambo.

Al pasar la línea de transmisión por la provincia de Cotopaxi, dejará para la Empresa Municipal de Latacunga energía por medio de una subestación.

Las características de funcionamiento y los requerimientos que debe cumplir el transformador y equipos auxiliares de la subestación han sido elaborados en INECEL en unas especificaciones, con el objeto de proporcionarlos a los fabricantes.

Datos de diseño:

Transformador De la Subestación de Latacunga:

1.- Tipo: Trifásico, sumergido en aceite, con enfriamiento a base de circulación forzada de aire, para instalación a la intemperie.

2.- Capacidad

- Sin accesorios de enfriamiento, operación OA	
Bobinado primario	10.000 KVA.
Bobinado secundario	10.000 KVA.
Bobinado terciario	3.300 KVA.
- Con accesorios de enfriamiento, operación FA	
Bobinado primario	13.000 KVA.
Bobinado secundario	13.000 KVA.
Bobinado terciario	4.300 KVA.

3.- Numero de fases 3

4.- Frecuencia 60 Hz.

5.- Voltaje nominal

Primario	138 KV.
Secundario	13.8 KV.
Terciario	23 KV.

6.- Conexiones

Primario	Estrella con neutro conectado a tierra.
Secundario	Estrella con neutro conectado a tierra.
Terciario	Triángulo

7.- Grupo de conexión d 41

8.- Conmutador de tomas con carga

9.- Tensión de cortocircuito

(En base a los KVA y KV nominales)

Primario - Secundario	10%
Secundario - Terciario	7%

	Primario - Terciario	7%
10.-	Número de boquillas (bushings) 38 KV.	3
11.-	Número de boquillas (bushings) 13.8 KV.	3
12.-	Número de boquillas (bushings) 23 KV.	3
13.-	Número de boquillas (bushings) N (15 KV.)	1

El neutro se sacará del tanque y se conectará al sistema general de tierras tendrá un conector para cable de cobre.

14.- Aislamiento

Los aislamientos de los derivados estarán definidos por las tensiones minimas de prueba que deben resistir y que se anotan a continuación:

	Lado de 138 KV.	Lado de 13.8 KV.	Lado de 23 KV.
De baja frecuencia, durante			
1 minuto.	275 KV.	34 KV.	50 KV.
De impulso, onda completa			
1 5/40 μ .s	650 KV.	110 KV.	150 KV.
Onda de impulso cortada (tiempo minimo de planeo)	750KV. (3ms)	130KV. (2ms)	175KV. (3ms)

El aislamiento de las boquillas del transformador trifásico deberá ser de la clase correspondiente a los entrimas de los devanados a los que van conectadas, definidas por las tensiones minimas de prueba:

	LADO de 138 KV.	Lado de 13.8 KV.	Lado de 23 KV.
De baja frecuencia: En seco, durante 1 minuto.	325 KV.	50 KV.	70 KV.

En humedo, durante 10 seg. 275 KV. 45 KV. 70 KV.

De impulso: acudode 1.5/40 μ s 750 KV. 125 KV. 175 KV.

15.- El aislamiento de el devanado de alta tensión será graduado y lleno.

16.- Temperatura ambiente máxima. 40° C

17.- Altitud de instalación 3000 m. sn m.

18.- Nivel de ruido

Deberá estar de acuerdo con las normas

NEMA - TRI - 1962, en su párrafo TRI - o.11

El voltaje 13.8 KV es un nivel mas alto que ofrece para la red de distribución y que se debe incluir en el análisis de cambio de nivel de voltaje. El nivel de voltaje de distribución primaria actual es de 6.300 voltios.

La capacidad de generación actual es de 4.392 KW lo que se espera generar en 1.973 es 1.460 KW que aumentará la capacidad a un valor de 5.852 KW que a un factor de potencia 0.8 da 7.315 KVA. Añadiendo la capacidad de la subestación del sistema Pisayambo, correspondiente a lo que se aumentará para el nivel de voltaje de 6.300 voltios, que tiene un valor de 3.300 KVA, se tendría como capacidad total 10.615 KVA. Este valor total proyectado para distribuir a nivel de voltaje primario de 6.300 voltios hace que se tenga en mientes el instalar una capacidad en transformadores para el nivel 6.300 voltios en un valor de 7.115 KVA.

CAPITULO III

ESTUDIO DE MEJORAS AL SISTEMA

INTRODUCCION.

La provincia de Cotopaxi tiene un lento desarrollo económico. No han existido cambios substanciales. Esto tiene un significado para considerar el sistema de distribución, pues, el objeto del sistema de distribución es el llevar energía eléctrica a las cargas.

Algunas observaciones que pueden ilustrar la dinámica económica de la provincia son:

- 1.- El crecimiento de la población muestra un aumento de 165.6 miles a 237.0 miles desde el año 1.950 a 1.970. Esto significa un aumento de población del 43% en 20 años.
- 2.- La inmigración de la población provincial a la Capital de la República y otros lugares es mas acentuada por parte de los habitantes de la ciudad.
- 3.- La industria manufacturera tiene mas porcentaje de producción en calzado y fabricación de prendas de vestir según datos elaborados por la División de Estadísticas y Censos de la Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica.
- 4.- En industrias mayores que la manufacturera según datos de la misma Junta Nacional de Planificación prevee crecimiento en productos elaborados por industrias que

ya están establecidas.

Se da pocas posibilidades para nuevos productos.

Entre las posibilidades de esos pocos productos de fabricación está el Piretro.

Estas observaciones tienen efecto sobre el diseño del sistema de distribución al que hay que darle una capacidad adecuada para los requerimientos no solo con el propósito de satisfacer la demanda de carga actual o futura inmediata sino también para atender al crecimiento futuro de ella.

Si la Empresa Eléctrica quiere su desarrollo tiene que mejorar su sistema de distribución, dar al cliente el mejor servicio posible y a base de este buen servicio hacer competencia a otras Empresas para atraer consumidores. El cliente no busca solo la tarifa mas baja sino también el buen servicio.

Es decir, el sistema debe ser planificado en forma económica, dando suficiente elasticidad para atender al crecimiento de la carga, en cierto grado. Siendo la determinación del grado de elasticidad la cuestión fundamental del problema económico.

Otro problema económico que entra en la planeación de un sistema de distribución es el buscar diseño de nivel de confiabilidad que hay que darle al sistema. Mientras mas garantía se da a un sistema en continuidad de servicio mayores son los costos y viciversa, si se trata de abaratar al sistema se tiene que sacrificar la confiabilidad del sistema.

Existen en la actualidad programas para computadora

digital en las que se hace la planeación y el cálculo de confiabilidad de un sistema. Estos programas son hechos con técnica probabilista, que ha venido desarrollándose recientemente. En ellos se puede obtener el costo mínimo del sistema que produce el nivel de confiabilidad que se ha impuesto.

Otros problemas que se consideran importantes en el diseño de un sistema de distribución son: tamaño de sub-estaciones, tensiones para futuras expansiones, regulación o control de tensión, carga sobre los alimentadores.

Un sistema de distribución ideal sería aquel que tuviera una tensión uniforme e invariable; sin embargo el voltaje de utilización tiene una variación inherente a la operación del sistema. Las variaciones de tensión se presentan en todos los puntos de la red. La causa de ella es la caída de potencial en los conductores de alimentación que está íntimamente ligada a la longitud de la línea, magnitud de la carga en la línea y características de la línea, recíprocamente, los constantes de una línea determinarían la regulación de ella.

El objeto primordial del control de tensión de un sistema, es proveer a cada usuario una tensión que satisfaga las limitaciones de tensión que el diseño impone al equipo usado a un voltaje definido particular el voltaje de placa.

Si la tensión que se aplique no entra en los valores de voltaje de diseño del aparato, éste si es una lámpara, la brillantez y cantidad de luz producida deja mucho que

desear, si es un aparato de calefacción, la temperatura bajará extraordinariamente. Si hay calefacción industrial los procesos de producción de los productos resultarían malos. Los motores podrían ser perjudicados en sus devanados por exceso de temperatura al recibir mas corriente para producir el mismo par motor, etc. etc.

También desde el punto de vista de una empresa de distribución eléctrica, una tensión insuficiente significa para ella una disminución importante en las lecturas de los medidores de consumo y en los ingresos mensuales, así como una tensión excesiva puede dar motivo a indemnización a consumidores, baja eficiencia del equipo de transformación, y aún daños en el sistema.

En consecuencia, es necesario proveer a los sistemas de distribución del adecuado nivel de voltaje con un rango adecuado de variación entre el voltaje máximo y el voltaje mínimo.

Los países ponen en Normas o Reglamentos de Instalaciones Eléctricas los niveles de voltaje con su rango de variación a los que deben aprestarse los diseñadores y constructores de las redes.

En Octubre de 1.969 el Ministerio de Industrias y Comercio por medio de la Dirección General de Recursos Energéticos, elaboró un Reglamento Nacional de Instalaciones de Acometidas de Servicio Eléctrico en el que constaba la clase de servicio que se debía proveer a los abonados. Esta Dirección General ha desaparecido y las funciones que desempeñaba han sido trasladadas a INECEL el que está encargado de revisar este Reglamento.

El Reglamento dice:

CLASE DE SERVICIO

El servicio eléctrico normal es el de corriente alterna monofásica o trifásica, con una frecuencia nominal de 60 ciclos por segundo, en los siguientes sistemas y tensiones nominales:

a) Monofásico

- 120 voltios 2 hilos
- 120/240 voltios: - 3 hilos, y
- 120/208 voltios - 3 hilos.

b) Trifásico

- 240 voltios - triángulo - 3 hilos
- 208 voltios - estrella - 3 hilos
- 120/240 voltios - (triángulo) - 4 hilos, y
- 120/208 voltios - estrella - 4 hilos.

La Empresa procurará mantener la regulación de la tensión dentro de las siguientes tolerancias:

- a) sistema triángulo : + 2% - 8%, y
- b) sistema estrella : + 8% - 2%

Para cargas de hasta 3 kilowatios, normalmente se proporcionará el servicio monofásico, dos hilos y para mayores, el servicio monofásico trifilar o el trifásico. Para el servicio trifásico, se requiere una carga mayor de 2 kilowatios.

En éste estudio el nivel de voltaje y rango de variación que se considerará serán los considerados como satisfactorios, para la operación de sistemas, que han sido estudiados por la Edison Electrical Institute EEI y National

Electrical Manufactures Association (NEMA).

Se sacó conclusiones en los capítulos anteriores acerca de la regulación de voltaje del sistema de distribución de la Empresa Municipal de Latacunga; éstas fueron que se encontraba en una mala situación.

Si bien la red de distribución tiene muchos problemas que deben ser resueltos tanto en la parte mecánica, eléctrica y económica, en éste capítulo se tomará los temas de control de regulación, y sistema de protección, en coordinación con los problemas económicos.

Es conveniente el estudio de estas partes porque se ha demostrado que siendo importante mantener la tensión en un valor tan constante como sea posible en cualquier punto de la red de distribución esto no se tiene en la red de distribución propósito de estudio de mejora en ésta tesis y además, como se ha dicho anteriormente está en una situación mala y en cuanto al sistema de protección que es importante porque proviene o hace menores los daños a los circuitos y aparatos, mejorando además el servicio a los consumidores, que, como se ha demostrado en los capítulos anteriores, también se encuentra en una situación no satisfactoria.

Creo además, que los temas anteriores son importantes para una red construida, porque, al buscar las soluciones para mejorar los temas impuestos intervienen características de diseño que son función de los factores económicos fundamentales de los sistemas de distribución que son la elasticidad y la flexibilidad de los sistemas.

3.2 MEJORA EN LA REGULACION DE VOLTAJE

En las redes de transporte propiamente dicha, se pueden admitir variaciones de tensión mayores que en las redes de distribución, pues, evidentemente no existen aparatos de utilización que estén directamente conectados a ellas. Por consiguiente, al menos en principio, no habría inconveniente en que la tensión en un punto dado de la red de transporte esté comprendida entre límites bastante amplios, a condición de que no se corra el riesgo a valores elevados, de deteriorar los aislamientos o de saturar los transformadores, y a tensiones mas bajas, de aumentar exageradamente las pérdidas y comprometer la estabilidad del transporte. Es necesario además, que la amplitud de las fluctuaciones de la tensión en la red de transporte no sea tal que sobrepase las posibilidades de los dispositivos de regulación instalados sobre las redes de distribución, alimentadas por la red de transporte, con lo que estas fluctuaciones se transmitirían en parte a la red de distribución.

El problema de la regulación de tensión no se plantea de la misma manera según se trate de una red de distribución o de una red de transporte; en el primer caso deberá mantenerse la tensión tan rigurosamente constante como sea posible, y en el segundo bastará, lo mas normalmente, con efectuar un control relativamente ligero para evitar los inconvenientes de la mala regulación. Para comprender bien los diferentes métodos para la regulación de voltaje, creo conveniente el estudio de un caso simple, como ejemplo.

Considerando dos estaciones A y B (Fig. 3.1) a las que están conectadas máquinas y receptores, estando A y B unidas por un conjunto de líneas y transformadores; para simplificar no se tendrá en cuenta los efectos de la admitancia de las líneas y suponer que la unión AB es asimilable a una impedancia $Z = R + jX$. Esta unión transporta de A hacia B una potencia aparente igual a $P_1 + j Q_1$ a la salida y a $P_2 + j Q_2$ a la llegada en B (por conveniencia consideraré que las potencias activas y reactivas son positivas cuando circulan de A hacia B). Puesto que se desprecian los efectos de la admitancia, la intensidad de corriente $I = I_a + j I_r$ es la misma en todos los puntos de la transmisión AB, siendo I_a la componente activa e I_r la componente reactiva de la corriente. Las potencias P y Q se entienden por fase, si la tensión introducida en el cálculo es el voltaje fase-neutro.

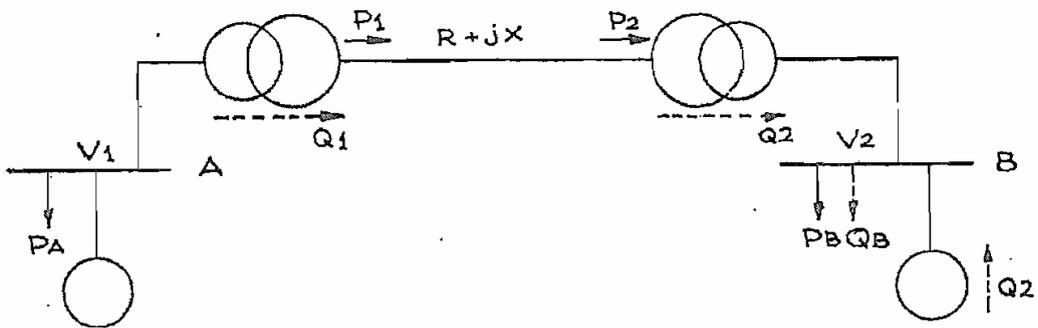


Fig. 3.1

Supongamos la tensión V_1 en A mantenida en un valor constante por una intervención conveniente de las excitaciones de las máquinas que allí están conectadas, y sea V_2 la tensión en B cuando la estación B recibe la potencia aparente $P_2 + j Q_2$.

La figura 3.2 representa el diagrama de las tensiones

y de las corrientes entre A y B. Se ha tomado como origen de fases la tensión V_2 en B; sean ΔV la componente de la caída de tensión según V_2 y δV la componente perpendicular a ésta dirección.

Confundiendo la diferencia $BD = V_1 - V_2$ de las tensiones.

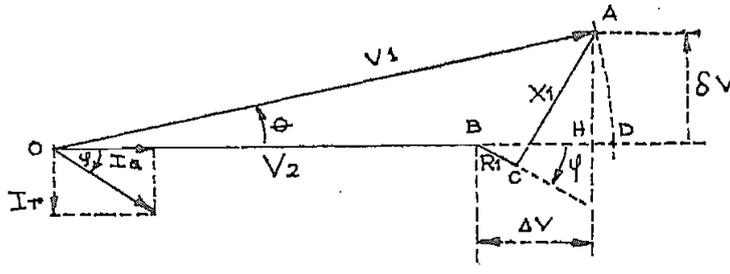


Fig. 3.2

la diferencia BH de la proyección de V_1 sobre V_2 , ΔV es la diferencia algebraica de dichas tensiones mientras δV está ligada con el desfase θ .

Se tiene:

$$\Delta V = RI \cos \psi + XI \sin \psi \quad [1]$$

$$\delta V = -RI \sin \psi + XI \cos \psi \quad [2]$$

Cuando el ángulo θ alcanza cierto valor, el error introducido, suponiendo que la proyección H de A se confunde con D, ya no es despreciable. La caída de tensión exacta es $\Delta V + HD$, como AH es media proporcional entre HD y $HO + OD$; ésta última magnitud es aproximadamente igual a $2 V_2$, y por tanto,

$$\Delta V = RI \cos \psi + XI \sin \psi + \frac{AH^2}{2 V_2}$$

$$\Delta V = RI \cos \psi + XI \sin \psi + \frac{(XI \cos \psi - RI \sin \psi)^2}{2 V_2}$$

donde φ es el desfase de la corriente I con relación a la tensión V_2 , pero:

$$I \cos \varphi = I_a$$

$$I \sin \varphi = I_r$$

luego

$$\Delta V = RI_a + XI_r \quad [3]$$

$$\delta V = XI_a - RI_r \quad [4]$$

Introduciendo la potencia activa P_2 y la potencia reactiva Q_2 recibidas por fase, estas expresiones pasan a ser:

$$\Delta V = \frac{RP_2 + XQ_2}{V_2} \quad [5]$$

$$\delta V = \frac{XP_2 - RQ_2}{V_2} \quad [6]$$

Se podría también introducir las potencias trifásicas $P_{2t} = 3P_2$, $Q_{2t} = 3Q_2$ siendo U la tensión entre fases y ΔU y δU las caídas de tensión entre fases, con lo que se obtendría:

$$\Delta U = \frac{RP_{2t} + XQ_{2t}}{U_2}$$

$$\delta U = \frac{XP_{2t} - RQ_{2t}}{U_2}$$

Estas relaciones demuestran que el transporte entre dos puntos de una red de una potencia activa P y de una potencia reactiva Q determinadas, va acompañado de una caída de tensión $V_1 - V_2$ y de un desfase entre las tensiones V_1 y V_2 relativas a estos dos puntos, resultando de ello que las magnitudes X, P , y Q no pueden ser elegidas independientemente unas de otras.

Por otra parte, si R es suficientemente pequeño frente

a B, que es el caso de los transportes que llevan líneas y transformadores, la diferencia entre los módulos de las tensiones V_1 y V_2 , que se reduce sensiblemente a ΔV , ES DEBIDA PRINCIPALMENTE AL TRANSPORTE DE LA POTENCIA REACTIVA DE A HACIA B, mientras que δV , que caracteriza el desfase θ , depende sobre todo del transporte de LA POTENCIA ACTIVA.

La componente δV no afecta a las condiciones del transporte mientras el ángulo θ conserva valores pequeños por el contrario, la caída de tensión ΔV debe permanecer comprendida entre ciertos límites.

Para reducir la importancia de las caídas de tensión ΔV , ES NECESARIO, PUES, EVITAR TRANSPORTAR POTENCIA REACTIVA. Salvo cuando se trata de líneas cortas (algunas decenas de Kms), y en la medida de lo posible LA POTENCIA REACTIVA DEBERA SER PRODUCIDA EN LA PROXIMIDAD DE DONDE HA DE SER CONSUMIDA. En el ejemplo considerado es la estación B y no la A quien debería suministrar la potencia Q_B absorbida en B.

Por otra parte, suponiendo mantenida constante la tensión V_1 , si se quiere que ocurra lo mismo con V_2 y por consiguiente con la caída de tensión $\Delta V = V_1 - V_2$ cualquiera que sea la potencia reactiva Q_2 recibida en B varíe en función de P_2 según la ley

$$Q_2 = \frac{V_2^0 (V_1 - V_2^0) - RP_2}{X}$$

$$Q_2 = \frac{V_2^0 \Delta V - RP_2}{X}$$

$$Q_2 = K - \frac{R}{X} P_2 \quad [7]$$

relaciones en las que V_2^0 es el valor constante de la tensión V_2 y K otra constante.

Se ve, pues, que EL HECHO DE CONTROLAR LA POTENCIA REACTIVA Q_2 A LA LLEGADA DE LA LÍNEA EN B PERMITE LA REGULACION DE TENSION V_2 . Este control se hace evidentemente actuando sobre la producción de potencia reactiva en B y éste procedimiento de regulación de tensión lleva el nombre de REGULACION POR INTRODUCCION DE POTENCIA REACTIVA; a causa del papel regulador que ella juega.

Tomando nuevamente la figura 3.2 para precisar mejor el mecanismo de regulación se puede suponer que a poca carga el transporte de A hacia B de la potencia activa P_2^0 y de la potencia reactiva Q_2^0 produce la caída de tensión admisible ΔV . Si P_2 crece y alcanza el valor P_2^1 para que la caída de tensión conserve el mismo valor ΔV que tenía anteriormente, es necesario que la potencia reactiva Q_2 en línea a la llegada pase a ser Q_2^1 tal que:

$$Q_2^1 = K - \frac{R}{X} P_2^1$$

se tiene $Q_2^1 < Q_2^0$

Por consiguiente, la estación B deberá suministrar, además de la potencia reactiva Q_B consumida por la carga B, la diferencia

$$Q_2^0 - Q_2^1 = \frac{R}{X} (P_2^1 - P_2^0)$$

que está dirigida de B hacia A. El diagrama en estas con-

diciones está representado por la figura 3.3b y el desfase de I sobre V_2 disminuye.



Fig. 3.3 (a)



Fig. 3.3 (b)

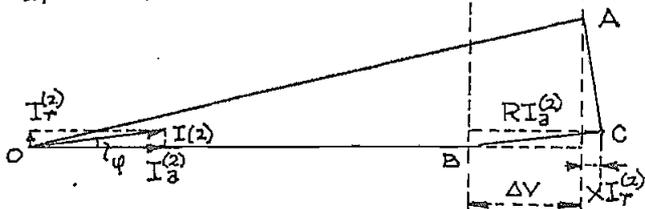


Fig. 3.3 (c)

Por fin, si la potencia activa transportada crece todavía, la potencia reactiva introducida en línea en B aumenta también y el ángulo cambia de signo; el diagrama es entonces el de la figura 3.3 c.

La regulación de tensión por introducción de potencia reactiva no es el único método de que se dispone. Se puede conectar en B, en serie en la línea (Fig. 3.1), un aparato de regulación R que, añadiendo a la tensión V_2 aplicada a sus bornes de entrada, una tensión regulable en fase con V_2 , mantendrá la tensión V_2 en las barras de B al valor constante deseado. Este procedimiento por TENSION ADICIONAL es el que parece mas natural. Sin embargo si la caída de tensión es debida al transporte de una cierta potencia reactiva de A hacia B, ésta manera de proceder no suprime la verdadera causa de la tensión.

Existen diferentes métodos para mejorar la regulación de tensión en una red de distribución. Algunos métodos elevan la tensión en la terminal del alimentador al aumentar la carga. Otros métodos disminuyen la impedancia entre la fuente y la carga, y también los procedimientos que se realizan para reducir la corriente de carga y de esta manera reducir la caída de tensión, son considerados como métodos de regulación de voltaje.

Estos métodos son los siguientes:

- 1.- Reguladores de tensión en generadores.
- 2.- Equipo de Regulación de tensión en la subestación
- 3.- Capacitores Shunt en la subestación.
- 4.- Reguladores de tensión en alimentadores primarios.
- 5.- Capacitores Shunt en alimentadores primarios.
- 6.- Capacitores serie en alimentadores primarios.
- 7.- Incremento en la sección de los conductores.
- 8.- Equilibrio de las cargas sobre el alimentador primario en las secundarias.
- 9.- Cambio de los alimentadores de una fase a 2 fases y neutro o a trifásicos.
- 10.- Transferencia de la carga a nuevos alimentadores.
- 11.- Instalación de una nueva subestación y alimentadores.
- 12.- Crecimiento del nivel del voltaje primario.

La selección del método o métodos mas adecuados de regulación depende del sistema de distribución y del problema a tratar de resolver. No existen reglas claras para la selección del método mas adecuado. Entre los factores que deben ser estudiados están: tamaño del sistema, tipo

de carga, localización del equipo, corrección necesaria en la tensión, área a servir, expansión futura del sistema y crecimiento de la carga.

3.11 REGULADORES DE TENSION EN GENERADORES

El medio mas antiguo y sencillo para regular la tensión de un generador excitado por dinamos, es el reostato de campo, insertado en serie con el devanado y la fuente de excitación. La regulación puede ser: voluntaria a mano, voluntaria remota, o automática.

La regulación voluntaria se efectua en todos los sistemas, lo mismo si existe regulación automática que si no la hay. Es usada durante el período de sincronización en todas las plantas, y como único sistema en generadoras locales, no interconectadas, con carga muy poco variable y capital invertido mínimo.

La regulación automática es conveniente y aún precisa en las centrales que suministran una energía que experimenta grandes variaciones; están sus generadores interconectados, o tienen baja relación de cortocircuito y cuando se quiere un servicio de primera clase.

3.12 EQUIPO DE REGULACION DE TENSION EN LA SUBESTACION

El equipo de regulación puede ser un mecanismo que cambie las derivaciones del transformador estando con carga, o puede ser también un regulador separado instalado entre el transformador y la barra de baja tensión, o un regulador separado instalado en cada uno de los alimentadores.

La máxima tensión a la salida de la subestación queda limitada por la tensión permisible en el consumidor mas lejano a ella.

La regulación basada en el cambio del número de espiras primarias o secundarias en circuito, por medio del control de la relación con carga, es cada día mas importante, al grado de que una mayoría de unidades construidas recientemente tienen ese control como equipo regular. El principio muy usado en transformadores trifásicos, no han variado esencialmente y, solo se ha perfeccionado el mecanismo para hacerlo mas efectivo y duradero.

Los reguladores de voltaje separados para regular la barra son predominantemente trifásicos. Reguladores de una fase aplicados en bancos trifásicos son usados sólomente donde la fase desbalanceada en la barra es excesiva o donde se requiere un regulador de reserva para ser incluido en la subestación en caso de emergencia y para propósitos de mantenimiento.

Cuando el equipo de regulación es el mecanismo que cambia las derivaciones del transformador, es necesario que el transformador se ponga fuera de servicio para hacer el mantenimiento del equipo a menos que otra fuente lo reemplace. Si se usa reguladores de voltaje separados se los puede poner a ellos temporalmente una conexión de paso y no ser necesariamente otra fuente de remplazo.

La regulación de voltaje en la barra será conectada para cualquier variación de voltaje en la entrada de la alimentación para mantener a la barra dentro de los límites de voltaje predeterminados. La regulación a la barra no será conectada para un bajo voltaje primario que esté en el alimentador que sea debido a una excesiva caída en

el alimentador. Su principal propósito es proporcionar un adecuado voltaje en el arranque de cada alimentador primario para permitir un diseño económico del alimentador y mantener el cambio de voltaje especificado en el alimentador. En las subestaciones que tienen algunos alimentadores es conveniente dividir a ellos en grupos de dos o mas grupos de alimentadores de similares o iguales requerimientos de regulación y dar regulación de voltaje para cada grupo. Si en la subestación donde un alimentador podría ser disimilar a los otros alimentadores y no estar conforme a la regulación de la barra un regulador de voltaje adicional podría ser localizado en el alimentador, a lo largo de él fuera de la subestación, dando de ésta manera regulación suplementaria.

Un banco de capacitores conectados en la barra de bajo voltaje se considera también como regulador de barra. Raramente se usan los capacitores sólo para regular la barra. Los capacitores conectables localizados en la subestación generalmente suplementan al equipo de control de voltaje.

La regulación individual de cada alimentador es lo contrario de la regulación de barra, donde dos o mas alimentadores son regulados por un solo regulador. En contraste a la regulación de barra, la regulación requerida para cada alimentador es enteramente independiente de la regulación necesaria en los otros alimentadores de la misma barra. Por lo tanto, varios tipos de alimentadores con diferentes ciclos de carga, diferentes longitudes, diferentes distancias de línea a la primera carga pueden ser

servidas desde la misma subestación.

Los reguladores individuales para cada alimentador son generalmente usados en subestaciones donde el número de alimentadores que sirve la subestación son cuatro o más. Cuando el número de alimentadores es mas de cuatro, los alimentadores son generalmente disimilares y la regulación individual para cada alimentador es necesaria a menos que sea posible hacer grupos de alimentadores similares.

Si una subestación con muchos alimentadores estaría limitada por las condiciones de carga, la regulación de barra; podría ser económico el uso de una combinación de regulación de barra y regulación suplementaria en vez de regulación individual para cada alimentador. La combinación de regulación suplementaria y regulación de barra debe estudiarse antes de una decisión de diseño, se haga para una regulación individual para cada alimentador.

3.13 CAPACITORES SHUNT EN LA SUBESTACION

La potencia que consumen las cargas eléctricas son de dos clases la potencia activa (kilowatts) y la potencia reactiva (kilovars). Estas dos clases de potencia hay necesidad de que sea suministradas. La potencia activa debe ser suministrada en la estación de generación. La potencia reactiva puede ser suministrada por cualquier central de generación o por el uso de los capacitores en paralelo, dando un efecto idéntico al de un condensador generador o motor sincrónico sobrecargado.

La función de los capacitores en paralelo consiste entonces, en suministrar kilovars atrasados al sistema en

el punto donde están conectados.

La relación entre las dos potencias anteriormente mencionadas y más específicamente la relación de la potencia activa la potencia reactiva nos da el valor familiar conocido como factor de potencia.

Es claro entonces que el uso de los capacitores en paralelo estará dirigido donde se tenga factor de potencia atrasado.

El uso de los capacitores en paralelo a un circuito que suministra carga con factor de potencia atrasado, produce varios efectos, de los cuales uno o mas pueden haber sido la razón de su aplicación.

Algunos de estos efectos son:

- 1.- Reducción de la componente atrasada de la corriente del circuito.
- 2.- Incremento del nivel en tensión de la carga.
- 3.- Mejora en la regulación de tensión.
- 4.- Reducción de las pérdidas I^2R e I^2X
- 5.- Crecimiento del factor de potencia en las fuentes de generación y circuitos, para aliviar las condiciones de capacidad por crecimiento adicional de la carga.
- 6.- Decrecimiento de los KVA de carga en la fuente de generación.

Una conexión para establecer un factor de potencia unitario es una práctica rara, pero si recomendada. Si una carga estuviera, conectada las 24 horas a un factor de potencia dado, la conexión mencionada se podría realizar.

Desafortunadamente no es común tal caso; en las curvas de potencia aparecen valles y picos.

Si se cancela los kilovars inductivos en las condiciones de pico, los capacitores estarían continuamente dando al sistema el valor de kilovars adelantados. Así, durante las horas tempranas de la mañana donde los kilovars inductivos son bajos, un exceso de kilovars capacitivos serán alimentados, y un factor de potencia adelantado dará como resultado. Condiciones locales podrían justificar tal conexión, pero en general tal sobrecorrección no es recomendada. Para evitar ésta dificultad se utiliza los capacitores conectables.

Cuando se emplea un capacitor en un sistema de potencia generalmente se trata de determinar los beneficios económicos que resultan de su instalación. La capacidad reactiva óptima en capacitores por instalar es siempre aquella a la cual la ganancia económica derivada de la reducción del último kilovar iguala exactamente al costo del kilovar. Generalmente resulta sencillo determinar el costo total de los kilovars de los capacitores, el problema resulta en determinar el valor económico de los mismos.

Hay mucho tratado sobre la economía de los capacitores. La aplicación de capacitores para cada sistema tiene sus detalles particulares. La determinación del capacitor óptimo que debe usarse envuelve el estudio de muchos parámetros y la consideración de muchas alteraciones de combinación de equipo que una solución general aplicable a

cualquier sistema sería complicada. Existen actualmente programas para computaciones que permiten determinar la relación mas económica entre capacitores fijos y conectables y reguladores de tensión para cualquier alimentación particular.

La selección del control apropiado para los capacitores conectables requiere un conocimiento de los requerimientos de VAR en el circuito donde los capacitores van ha ser añadidos.

Se puede relacionar los requerimientos de VAR en el circuito con las variaciones siguientes del circuito:

- (a) Voltaje del sistema.
- (b) Corriente del sistema.
- (c) Tiempo del día (o semana).
- (d) Temperatura.

En algunos sistemas podría ser ventajoso el uso de una combinación de dos para mas precisión en la detección de los requerimientos de VAR.

En resumen, para seleccionar el control de capacitor apropiado tanto un único control como la combinación, es necesario primero determinar que tipo de información debe reflejar mayor precisión para añadir o quitar VARS desde el sistema. Esto requiere un conocimiento de las características de operación del sistema suplementada por datos medidos si un sistema bien diseñado de control de VAR es deseado. Esto será considerar que la precisión en los capacitores conectables para encontrar el sistema necesitado depende no solamente de la precisión en la operación de el

control sino también de precisión que se usa para obtener el tipo de información usado en la selección del control. La precisión en la operación del control de capacitores (la efectividad de el programa de conexión de VAR) depende de la precisión de el control usado, el criterio de cual control o combinación de controles deberá ser usado, y como los requerimientos de VAR fueron obtenidos para determinar el mejor control apropiado. También hay que recordar como las cargas en el circuito cambian de año a año, el control montado así como el tipo de control a su usado necesita revisión para posibles cambios.

Para recibir el máximo beneficio económico de los capacitores, ellos deben instalarse lo mas cerca posible a la carga. En general esto significa que la instalación deberá estar fuera, sobre los alimentadores de la carga.

Cuando los capacitores son instalados en la subestación generalmente es un caso especial. Esto podría envolver uno o mas de los siguientes factores.

- 1.- Una gran carga es servida directamente desde la subestación.
- 2.- Debido a excesivos voltajes de carga ligera, es imposible instalar los capacitores fijos fuera en los alimentadores.
- 3.- Cuando es imposible o antieconómico poner mas capacitores conectables en bancos pequeños fuera de los alimentadores.

Esto podría ocurrir cuando una carga particular necesite requerimiento de mas bancos conectables en el alimentador y tengan estas algún control especial caro.

- 4.- Cuando los alimentadores de una subestación pueden utilizarse económicamente en una área donde haciendo consideraciones del sistema pueden requerirse mas capacitores.
- 5.- Cuando consideraciones del sistema requieran un bloque grande de capacitores en una cierta area bajo el control del despachador del sistema.

Estos factores indicados son el porque en las subestaciones son generalmente localizados grandes bancos de capacitores conectables que están frecuentemente controlados remotamente por un supervisor de control. Si el banco es controlado automáticamente se usa principalmente control de voltaje o control de reloj de tiempo, pudiendo usarse también otros tipos de control.

Generalmente el principal propósito de instalar capacitores en las subestaciones no es necesariamente para el control de voltaje pero si para alimentar EMAR y así aliviar la capacidad de la subestación y la línea de transmisión.

3.14 REGULADORES DE TENSION EN TRANSFORMADORES PRIMARIOS

Los reguladores de tensión en los alimentadores primarios pueden ser instalados a lo largo de él, corrigiendo la excesiva caída de tensión y reduciendo la variación de tensión a la entrada de los usuarios. Se localizan generalmente en aquellos puntos del alimentador donde la tensión es menor que la mínima permisible tomándose además en cuenta consideraciones de crecimiento futuro.

La capacidad térmica del alimentador y las pérdidas en la línea, limitan el número de estos alimentadores que

puedon emplearse.

Los reguladores de linea de distribución primaria, conectados entre las barras de la estación distribuidora y cada una de las lineas de salida, para mantener constante el voltaje en un punto remoto y elegido de antemano y con capacidad de variación de 10% en mas o en menos, generalmente, son de la clase autotransformador, para variación continua en lineas de hasta 6.900 volts, y con pasos, en lineas de tensión mayor, cuyo mecanismo de cambio está accionado por un motor gobernado por un dispositivo manual o automático. La acción es casi instantánea en el tipo de variación continua porque no hay contactos que se desgasten, y es bastante retardado en el tipo de pasos, para evitar el exceso de movimiento en el caso de variaciones fugaces de tensión.

Los reguladores de ramal, conectados entre una linea de distribución de hasta 13.800 volts, son de tipo autotransformador, generalmente de 8 pasos de 1.25% de variación total y con posibilidad de operar entre 110 y 100% o entre 107.5 y 97.5% o 105 y 95%, o 102.5 y 92.5%, o 100 y 90% según las necesidades de cada linea en particular. Existen también reguladores de 32 pasos, son construidos para instalación sobre postes a la intemperie, y su acción es automática retardada, a través de un motor y un control maestro. El cambio de límites es efectuado manualmente.

Hay otros reguladores llamados regulador-booster, semejantes a los anteriores, se los usa en alimentadores rurales, son estos de menor importancia y costo, tienen sólo 4 pasos de 2.5% y operación en poste manual, y en

poste, automático. Son aplicables a líneas cuya carga dura pocas horas al día, y requieren un ajuste fijo de potencial y una pequeña variación adicional automática, de uno o dos pasos. Son como los anteriores instalados en postes al aire libre. Se construyen actualmente reguladores automáticos de 4 pasos hasta 50A y 100A y voltajes hasta 19.920/34.500 V .

Existen otros reguladores de voltaje para alimentadores primarios de distribución del tipo inducción. Estos fueron los primeros reguladores del tipo automático usados en los sistemas de distribución. Su uso a disminuido en los últimos años debido a la aceptación de los reguladores de paso de la clase autotransformador por su seguridad y bajo costo.

3.15 CAPACITORES PARALELO EN ALIMENTADORES PRIMARIOS

Como se dijo en 3.13 que la tendencia al instalar capacitores paralelos es hacerlo en los alimentadores de distribución primaria antes que en las subestaciones. Esta tendencia ha sido debido a dos cosas; a la posibilidad de montar el equipo sobre postes y porque el máximo beneficio se obtiene cuando el capacitor se instala lo mas cerca posible a la carga. Dos beneficios obtenidos son generalmente de mayor importancia cuando se colocan los capacitores en los alimentadores primarios; la elevación de voltaje causada por el capacitor, y el aumento de reducción de pérdidas que resultan al mover los capacitores desde la subestación hacia el area de las cargas.

El cálculo de los beneficios de voltaje son fáciles y rápidos de realizar. El cálculo de precisión de la reducción de pérdidas para aplicación de capacitores en los alimentadores primarios no es fácil de realizar.

El tamaño mas económico y la localización de los capacitores sobre un alimentador particular es generalmente determinado primeramente considerando la reducción de pérdidas. Para un circuito radial simple con cargas solamente al final de la línea, el cálculo de la reducción de pérdidas es simple. Si las cargas están distribuidas a lo largo del alimentador en alguna forma conocida, es posible obtener las pérdidas por simples ecuaciones. Sin embargo, los sistemas tienen una no muy simple distribución de cargas. Esto hace que se tenga que emplear reglas de tanteo que puedan aplicarse razonablemente bien, para la mayoría de los casos. Han sido desarrolladas muchas reglas aproximadas a través de los años.

La elevación de voltaje causado por la instalación del capacitor en los alimentadores primarios podría ser calculada por la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de elevación de voltaje} = \frac{\text{KVAR} \cdot d \cdot X}{10 \text{ KV}^2} \quad [7]$$

KVAR = Kilovars total en el banco trifásico de capacitores

d = Distancia en Kms.

X = Reactancia del alimentador en Ω/km .

KV = Voltaje del sistema línea-línea en kilovolts.

Los alimentadores están limitados generalmente por el porcentaje de caída de tensión antes que por las condiciones térmicas. Al aplicar los capacitores y conseguir reducir la caída de tensión dará como resultado que mas KVA de carga podría ser añadida. La capacidad adicional podrá ser calculada por la siguiente fórmula:

$$\Delta KVA = \frac{X \text{ KVAR}}{X \text{ sen } \psi + R \text{ cos } \psi} \quad [8]$$

KVAR = Kilovars total en el banco trifásico de capacitores.

X = reactancia en Ω/Km .

R = resistencia en Ω/Km .

Sen ψ = seno del ángulo del factor de potencia no corregido.

Cos ψ = factor de potencia no corregido.

3.16 CAPACITORES SERIE EN ALIMENTADORES PRIMARIOS

Los capacitores serie se han usado en forma limitada por muchos años en circuitos de distribución y subtransmisión capacitores en serie son de un tipo mas especializado y su rango de aplicación es menor que los paralelos.

La idea original de usar un capacitor en serie con una línea, se derivó de la teoría elemental de la corriente alterna, en la cual se atribuye a la reactancia capacitiva efecto contrario al de la reactancia inductiva. Luego, estando ambos en serie, hay lugar a una cancelación, parcial o total, según la magnitud de una y otra.

La caída de voltaje en un alimentador está dado por ecuación [1] :

$$\Delta V = IR \text{ cos } \psi + IX \text{ sen } \psi$$

Insertando un capacitor serie se tendrá:

$$\Delta V = IR \text{ cos } \psi + I (X_L - X_C) \text{ sen } \psi$$

o simplemente $IR \text{ cos } \psi$ cuando X_C es igual a X_L

El efecto del capacitor serie es reducir la caída de voltaje causada por la reactancia inductiva en el alimentador. Para ciertas aplicaciones es mejor pensar en el capacitor serie como regulador de voltaje que da una alza de voltaje proporcional a la magnitud y factor de potencia

de la corriente que lo atravieza.

Esta es la fundamental diferencia entre los efectos de un capacitor serie y un capacitor paralelo. El capacitor paralelo da un voltaje de elevación constante que es independiente de la corriente que lo atravieza, la corriente que lo atravieza no causa un apreciable cambio de voltaje. Si la corriente de carga causa una apreciable caída de voltaje, la elevación de voltaje del capacitor paralelo decrece. Esto es un cambio en una dirección indeseada. Por lo tanto, un capacitor paralelo podría ser un mal regulador de voltaje. Ellos actúan como reguladores solamente si actúan capacitores conectables con el control apropiado. Por otra parte el capacitor serie da una elevación de voltaje que crece cuando la carga crece.

El voltaje de elevación crece instantáneamente con el crecimiento de la carga. Por lo tanto su aplicación es particularmente solícito en alimentadores donde hay parpadeo de lámparas debido a rápida y repetitiva fluctuación de carga desde los frecuentes arranques del motor, variación de cargas de motor, soldadores eléctricos, hornos eléctricos.

En general el capacitor serie es aplicable en circuitos radiales que alimentan cargas de factor de potencia alrededor de 70 a 95% atrasado. Bajo 70 por ciento, capacitores paralelos son más ventajosos (a menos que el factor de potencia cambie sobre un ancho rango, haciendo imposible a los capacitores conectables lo bastante lejos para administrar los KVAR requeridos por la carga). Sobre 95%, los pequeños valores de $\text{sen } \psi$ limitan los efectos benéficos del capacitor

serie. Aplicación sobre circuitos radiales alimentando cargas de 70 a 90 por ciento de factor de potencia son lo mas plausible al exito.

Probablemente el regulador automático de menor uso es el capacitor serie. La causa es porque la aplicación de estos capacitores serie tiene algunos problemas aún no resueltos. Los problemas de operación y los métodos de protección causan su infrecuente uso.

Cuando los capacitores serie son aplicados en alimentadores, hay la posibilidad de que un fenómeno indeseable ocurra, usualmente se tiene alguna clase de resonancia.

El costo de la aplicación de capacitores serie mas el costo de los aparatos de protección, en general, es mas caro que el uso de el control de voltaje que usa capacitores fijos y conectables. Para aplicaciones donde hay excesivos dip de voltaje y se tiene los flicker en las lámparas entonces el capacitor serie es amenudo la mejor y mas económica solución.

La caída de voltaje transitoria que causa los flicker de las lámparas es reducida casi instantaneamente en la misma manera que el voltaje cae debido a un lento crecimiento de la carga.

3.17 CRECIMIENTO DEL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES

Al crecer el calibre de los conductores decrece la impedancia de la línea y por lo tanto, para la carga del alimentador decrece la caída de voltaje, el cambio de conductores en la línea es uno de los medios mas caros de regular el voltaje considerando el valor por voltio de mejora, pero esto es amenudo necesario donde hay un extenso

crecimiento de la carga y hay una gran considerable en planificación.

3.18 EQUILIBRIO DE LAS CARGAS SOBRE EL ALIMENTADOR PRIMARIO Y EN LOS SECUNDARIOS

Uno de los primeros pasos en revisar, si un alimentador primario tiene una pobre regulación de voltaje, es la carga sobre cada una de las fases de los alimentadores. Si la carga en el alimentador no está balanceada entre las fases, se deberá hacer el balance de cargas. Para un alimentador de carga dado, la condición de balanceamiento significa igual corriente en cada fase con la correspondiente mínima regulación.

El balance de carga deberá ser realizada a través de toda la longitud del alimentador y no sólo conforme a las corrientes de salida desde la subestación. Si un alimentador sirve sólo cargas trifásicas, el balanceamiento no es un problema. Donde el método de area fase (cada fase de un alimentador sirve todos los transformadores de distribución en una area) de distribución primaria es usado, es necesario seleccionar areas fases tales que la carga de cada fase sea aproximadamente la misma.

El cálculo de la caída de voltaje para un alimentador de cargas desbalanceados es una tarea fastidiosa, dependiendo de si el sistema es o no tres o cuatro hilos, sistema trifásico.

3.1.9 CAMBIO DE LOS ALIMENTADORES DE UNA FASE A 2 FASES Y NEUTRO O A TRIFÁSICOS

Muchos laterales sobre el alimentador primario son una fase, y la caída de voltaje en el conductor de retorno es

la misma que en el conductor de fase, porque la corriente de carga en él es la misma. Cuando añadimos dos conductores a una fase lateral para hacer cuatro alambres, tres fases, y dividiendo la carga existente uniformemente entre las 3 fases, la caída de voltaje será reducida a un sexto de la caída que ocurre cuando los laterales son una fase. Esto se demuestra por la siguiente ecuación:

Para un circuito de una fase:

$$\Delta V (1\phi) = 2I (1\phi) Z \quad [9]$$

donde:

ΔV = Caída de voltaje en voltios por unidad de longitud.

I = Corriente de línea en amperios.

Z = Impedancia en ohms por unidad de longitud.

El subíndice (1 ϕ) se refiere a el circuito de una fase

$$\text{Por ciento } \Delta V (1\phi) = \frac{2 I (1\phi) Z}{V} (100) \quad [10]$$

donde;

V = voltaje línea-neutro en voltios

Para un circuito trifásico sirviendo la misma carga,

$$\Delta V (3\phi) = I (3\phi) Z \quad [11]$$

El subíndice (3 ϕ) se refiere a un circuito trifásico

$$\text{Por ciento } \Delta V (3\phi) = \frac{I (3\phi) Z}{V} (100) \quad [12]$$

donde;

V = Voltaje línea-neutro en voltios

Con la misma carga que es servida con una sola fase y distribuida uniformemente a las tres fases del nuevo

circuito trifásico.

$$I (3\phi) = \frac{I (1\phi)}{3} \quad [13]$$

Por lo tanto la relación entre el porcentaje de caída de tensión usada en las ecuaciones [10] y [12] es:

$$\frac{\% \text{ } V (1\phi)}{\% \text{ } V (3\phi)} = \frac{\frac{2 I (1\phi) Z}{V} (100)}{\frac{I (3\phi) Z}{V} (100)} = \frac{2 I (1\phi)}{I (3\phi)} = \frac{2 I (1\phi)}{\frac{I (1\phi)}{3}} = 6$$

Reducimos la caída de voltaje a la sexta parte cuando añadimos los alambres adicionales para dar la línea trifásica permitiendo una considerable cantidad de crecimiento de carga a menos que el circuito original de una sola fase sea excesivamente alto.

Cuando añadimos solamente un solo conductor a la fase lateral de una sola fase, desde un circuito trifásico cuatro hilos y dividiendo uniformemente la carga existente entre las dos fases, la caída de voltaje se reducirá, pero no por una simple relación como en el caso de el cambio monofásico a trifásico. La cantidad de reducción en la regulación de voltaje sobre el caso monofásico depende, que dos fases son tomadas, del factor de potencia y de la relación r/X de los conductores del circuito. Esto se puede ilustrar por los diagramas de la Fig. 3.4. Los vectores de voltaje para el caso de una fase están mostrados en la Fig. 3.4 (a) y para el caso de las dos fases en la Fig. 3.4 (b) y 3.4 (c). Rotación de fase positiva se asume con la Fig. 3.4 (b) mostrando a las fases a y b, y la Fig. 3.4 (c)

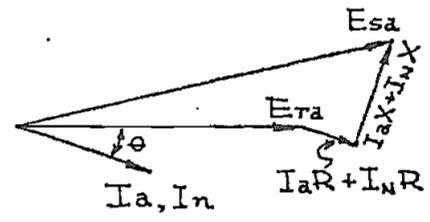
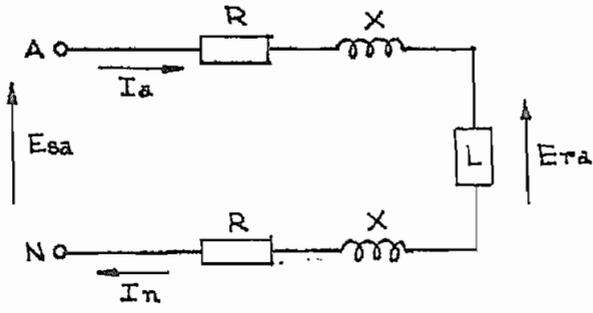


Fig. 3.4 (a)

UNA FASE - FASE Y NEUTRO

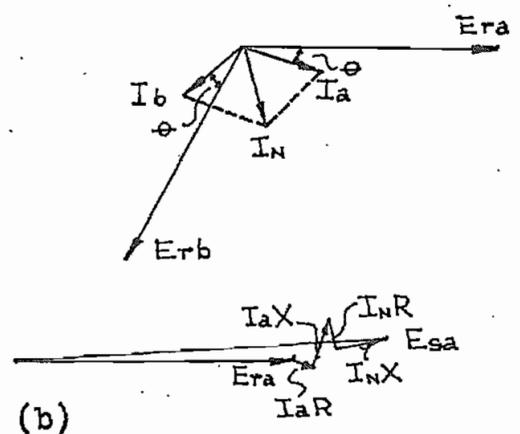
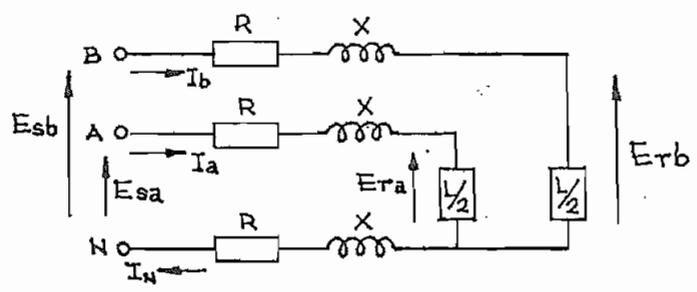


Fig. 3.4 (b)

DOS FASES - FASE a y b y NEUTRO

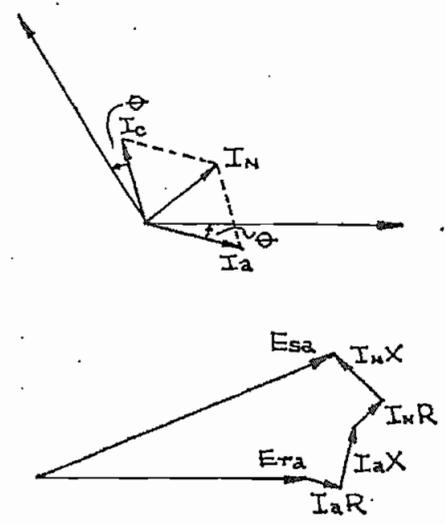
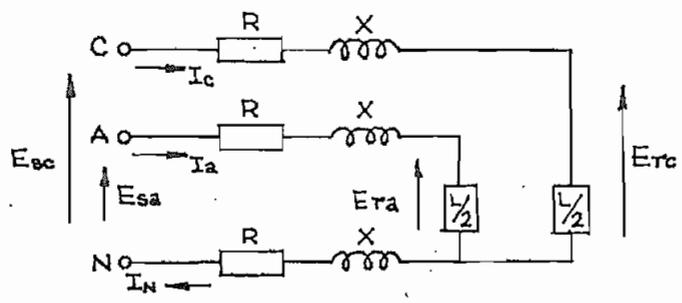


Fig. 3.4 (c)

DOS FASES - FASE a y c y NEUTRO

demuestra a las fases a y c. En cada uno de los casos de dos fases la carga fue distribuida uniformemente entre las dos fases, aquí la para el caso de una fase. El efecto sobre la reducción en la regulación de voltaje para la fase o al pasar a tener las fases a y b compararla con el paso a las fases a y c se muestra claramente en la Fig. 3.4 (b) y 3.4 (c).

3.1.10 TRANSFERENCIA DE LA CARGA A NUEVOS ALIMENTADORES

Al pasar carga de un alimentador a nuevos alimentadores lo que se está realizando es una reducción de la carga del alimentador reduciendo de este modo la corriente que circula por el y como consecuencia se obtendrá la reducción de la caída de voltaje. Este método no se usa específicamente para el mejoramiento del voltaje, pero si como parte del crecimiento de la planificación de todo el sistema.

3.1.11 INSTALACION DE UNA NUEVA SUBESTACION Y ALIMENTADORES PRIMARIOS

Al instalar una nueva subestación en el plan de expansión de un sistema se tendrá un instalación nueva de alimentadores primarios por lo cual se está en la posibilidad de transferir la carga de los viejos alimentadores a los nuevos alimentadores quedando en el caso anterior de la regulación de voltaje.

3.1.12 CRECIMIENTO DEL NIVEL DE VOLTAJE PRIMARIO

El nivel de voltaje del primario es el parámetro del sistema que ha tenido mas grande influencia en el costo del sistema, diseño, y operación. El nivel de voltaje primario tiene efecto directo sobre la longitud del alimentador.

primario y carga del alimentador, número de estaciones de distribución; número de líneas de subtransmisión y número de consumidores afectados por un crecimiento particular.

Los alimentadores que son puestos con un voltaje doble del existente, pueden servir los mismo KVA de carga cuatro veces la distancia con el mismo porcentaje de caída de tensión. Al cambiar el nivel de voltaje y mantener la misma carga, la corriente de línea del alimentador varía en relación inversa a los cambios de voltaje. Es por esto que se lo puede considerar como un método de regulación de voltaje.

Cuando en una línea existente se aumenta la potencia hay que examinar si la tensión disponible es aún suficiente o si es conveniente superponer una tensión mas alta. Las instalaciones existentes y equipos instalados deben ser examinados para observar si es posible adaptarse al nuevo voltaje, y ver si el resultado es económico, sino, será entonces necesario buscar una solución general que, a larga vista, sea lo mas favorable bajo la consideración de los hechos existentes y de los factores influyentes. En muchos casos, la práctica ha demostrado ya que también en redes existentes es posible reducir, en el transcurso del tiempo, considerablemente los costos con ayuda de proyectos especiales relacionados con las tensiones empleadas y su escalonamiento.

En todo caso, la elevación del nivel de voltaje primario es otro medio caro de mejorar la regulación de voltaje.

3.1.13 ANALISIS PARA LA SOLUCION DE LA REGULACION DE VOLTAJE EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCION

Se ha venido haciendo durante todo éste capítulo, un análisis de la regulación de voltaje para los sistemas de distribución. Se han analizado todos los métodos de regulación. Para la aplicación del método o métodos de regulación de voltaje a un sistema de distribución particular se ha dicho que depende de factores del sistema en estudio como: tamaño del sistema, tipo de carga, localización del equipo, corrección necesaria en la tensión, área a servir etc.

La solución para el problema particular de éste estudio, la regulación de voltaje en el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Municipal de Latacunga, está por lo tanto, en analizar los factores del sistema y escoger el método o métodos de regulación mas adecuados para el sistema.

Ahora, todos los factores dependientes para la regulación de voltaje, se los ha mencionado en los capítulos anteriores, toca entonces ahora hacer su análisis para escoger el método o métodos para la regulación de voltaje

Para llegar a esa solución, se analizará los factores del sistema con cada uno de los métodos de regulación de voltaje.

3.1.13.1 REGULADORES DE TENSION EN GENERADORES.- El sistema de distribución recibe energía eléctrica desde dos centrales hidroeléctricas interconectadas, separadas entre si aproximadamente 3 Kms. de la barra de la interconexión, se le una única línea de transmisión hacia la subestación. Como se ve, la generación no es directa al sistema de distribución, o dicho de otra manera, el sistema de distribución

está separado de la generación por transmisión y por lo tanto, la regulación de la generación no forma parte en forma directa del sistema de distribución. Sin embargo, por las características del sistema de distribución que es de forma radial simple y la línea de transmisión para la subestación relativamente corta, la regulación de tensión de los generadores se los ha hecho para compensación simultánea de factor y caída. Cuando se conectan dos generadores en paralelo es indispensable una regulación con compensación automática de corriente circulante, en tanto que una compensación de caída, no es indispensable mas que en sistemas radiales aislados. En estos casos de líneas cortas, mas que una necesidad la compensación de caída es una conveniencia. Es decir los generadores de la Empresa Eléctrica Municipal están compensados para de ésta manera no regular la tensión del generador pero si para mantener la tensión en un lugar lejano, previamente seleccionado. Así, ésta conveniencia de regulación de tensión, ha sido el único medio de regulación de tensión, ha sido el único medio de regulación automática que tiene la Empresa Eléctrica Municipal de Latacunga.

3.1.13.2. EQUIPO DE REGULACION DE TENSION EN LA SUBESTACION

La subestación no tiene ninguna clase de regulación automática de voltaje.

La única subestación de distribución, recibe energía a través de una única línea de transmisión que tiene una capacidad de diseño de 3.300 KVA con 5% de regulación. Teniendo la demanda máxima del año 1.972 en 3850 KW, la capacidad de diseño de la línea de transmisión está sobrepasada.

La capacidad de generación prevista para el año 1.973 tiene un valor de 5852 KW, en consecuencia, es monester pensar en como transmitir la capacidad que excede a la capacidad de diseño de la línea de transmisión.

En la actualidad se ha dicho que la línea de transmisión está llevando una cantidad de corriente mayor a su capacidad de diseño, por lo tanto, la caída de tensión será mayor de la prevista lo mismo que las pérdidas de energía.

3.1.13.3 CAPACITORES SHUNT EN LA SUBESTACION.- Cuando se instalan los capacitores shunt en una subestación, se dijo, que era un caso especial que se debía a factores especiales que se enumeraron, pero, siendo el principal propósito el de aliviar la capacidad de la subestación y la línea de transmisión antes que el control de voltaje, pues, la caída de tensión que se estaría controlando sería la de la línea de transmisión y se dijo anteriormente que, en principio en las redes de transporte propiamente dicha, se pueden admitir variaciones de tensión bastante amplios con la condición de que no se corran riesgos en valores elevados.

El caso que ahora nos ocupa es el de que si los capacitores shunt podrían ser utilizados en la subestación como un método de regulación de voltaje para el sistema de distribución. Este método sería complementado al existente en la generación.

Para mejorar la regulación de voltaje con los capacitores, se pensará actuar sobre el factor de potencia de la carga en el lugar donde va a ser conectado, en éste caso,

Serán los alimentadores que tiene la subestación, que son un número de seis, de diferentes longitudes, diferentes cargas, diferentes requerimientos.

De las lecturas hechas en la subestación indican una variación del factor de potencia durante el día de 0.8 a 0.95. Esta variación hace pensar en una posible aplicación de capacitores conectables.

Al aplicar los capacitores en el factor de potencia mas bajo que sería el valor 0.8, el crecimiento de los KVA para la línea resultan aumentados en un 25%. Es decir, si la demanda máxima del año 1.971 es de 3.640 KW aplicando los capacitores la carga en la línea sería 4.550 KW.

Esta disminución de carga lograda en la subestación y línea de transmisión no es satisfactoria. La línea de transmisión seguirá sobrecargada, pues, como se ha mencionado anteriormente, ésta fue diseñada para una carga de 3.130 KVA.

Además, como se demostró anteriormente por medio de las ecuaciones [5] y [6], la reducción de transporte de potencia reactiva en las líneas cortas, no es importante para reducir las caídas de tensión.

La aplicación de éste método de regulación de voltaje, entonces, no resuelve el problema que se tiene en el sistema de distribución, sigue, además, el exceso de carga en la línea de transmisión y subestación y como consecuencia exceso de caída de tensión y pérdidas de energía, si se toma en cuenta además el crecimiento natural de carga en el sistema, aumentará aun más la sobre carga y aumentará aun

mas el problema.

3.1.13.4 REGULADORES DE TENSION EN ALIMENTADORES PRIMARIOS

Este método de regulación de tensión actua añadiendo tensión adicional, Como se dijo anteriormente en el análisis de éste método de regulación, los aparatos reguladores se localizan en los lugares donde la tensión del alimentador es la mínima permitida y tomándose en cuenta consideraciones del crecimiento futuro.

Esta clase de método de regulación de voltaje, se puede utilizar en los alimentadores del sistema de distribución de la Empresa Eléctrica de éste estudio. Como el mas grave problema de regulación de tensión, como se ha dicho, se halla en los alimentadores rurales en especial el Rural Norte, se podría utilizar los reguladores booster de cuatro pasos, resultando de ésta manera el costo de la regulación barato.

Mirando éste método de regulación como solución hacia el futuro, se observa, que el paulatino crecimiento de la carga hará llegar a los alimentadores a su limitación por capacidad térmica y de pérdidas. En el alimentador rural norte ya se tiene en la actualidad un acercamiento a éste límite.

Es necesario además mirar los factores adyacentes en el sistema que están influyendo en la mala regulación que se tiene en la actualidad como es el exceso de caída de tensión y pérdida en la linea de transmisión y subestación. Si el crecimiento de la carga sigue, el problema para el sistema de distribución aumentará aún mas

Si se toma éste método de regulación como solución, sería necesario entonces, complementar a éste con otros métodos, para que la solución sea integral.

3.1.13.5 CAPACITORES SHUNT EN ALIMENTADORES.- Se analizó detenidamente las ventajas de su aplicación. Se dijo que actuaba sobre la potencia reactiva.

Al aplicarse éste método en los alimentadores primarios como solución para la regulación de voltaje, se tiene además la ventaja sobre el método anterior con efectos como la reducción de pérdidas de energía y disminución de carga sobre el alimentador y como consecuencia en la subestación, línea de transmisión y generación.

Este método de regulación, estaría con mayor ventaja sobre el método anterior para la solución del sistema de distribución; como se ha visto en el sistema se tiene los dos problemas; sobre carga y mala regulación y éste método ofrece solución a estos dos problemas.

Cuando relacionaba el método de regulación de tensión con capacitores shunt en la subestación, el problema de la sobrecarga no se solucionaba en su totalidad. Ahora al poner los capacitores shunt en los alimentadores se gana mas carga de disminución; ésta mayor ganancia que se obtenga, aumentará la disminución total de carga para la línea de transmisión y generación, pero, éste mayor aumento tampoco es la solución para las condiciones que existen en el problema de sobrecarga.

Al igual que el método anterior de regulación de tensión

en alimentadores primarios, con éste método de regulación de tensión también se tendría que añadir otro método de regulación.

3.1.13.6 CAPACITORES SERIE EN ALIMENTADORES PRIMARIOS.-

Se dijo de éste método, que actuaba anulando la reactancia inductiva en las líneas y de ésta manera como regulador de tensión. De éste método también se ha dicho que, tenía problemas en su aplicación, y se encontraban en su operación y métodos de protección; por ésta razón la mejor aplicación y mas económica se hallaba donde habría excesivos dips de voltaje.

Para el caso de mejorar la regulación de voltaje en el sistema de estudio, éste método no convendría primero por los problemas que han hecho limitar su uso y además porque no se tiene la característica donde se hace mejor y mas económica su aplicación.

3.1.13.7 INCREMENTO EN LA SECCION DE LOS CONDUCTORES.-

Este método de regulación es caro. Este método no conviene, como solución para el problema de regulación en el sistema eléctrico de estudio. No se tiene un gran crecimiento de la carga. Un cambio de conductores en los alimentadores rurales donde se ha dicho que las condiciones mecánicas de los soportes de los conductores no es buena, no es conveniente realizar como mejora en el sistema de distribución.

3.1.13.8 EQUILIBRIO DE LAS CARGAS SOBRE EL ALIMENTADOR PRIMARIO Y LOS SECUNDARIOS.-

Se tienen medidas de las cargas tomadas a la salida de la subestación, no se han realizado medidas en otras

partes de los alimentadores. Las medidas que se tienen muestran que existe equilibrio. Se tiene también medidas de cargas tomadas a la salida de los transformadores observándose en éstos que existe desigualdad.

Si se equilibraran las cargas en todos los secundarios y si al medir en otros sitios de los alimentadores primarios se encontrara desequilibrio de cargas y éstos se equilibraran, se lograría mejorar en algo la regulación de voltaje. Es decir, con éste método se lograría que algunas cargas de algunos transformadores mejoren su voltaje, pero, el problema principal de regulación de voltaje en el sistema no se soluciona.

3.1.13.9. CAMBIO DE ALIMENTADORES DE UNA FASE A DOS FASES Y NEUTRO O A TRIFÁSICOS.-

Todos los alimentadores principales del sistema de distribución son trifásicos. Este método por lo tanto no influye para el mejoramiento de él.

3.1.13.10 TRANSFERENCIA DE CARGA A NUEVOS ALIMENTADORES.-

Si se toma el aumento de los alimentadores como plan del crecimiento o plan de reforma del sistema a mas de realisar el planeamiento o la reforma del sistema se lograría solucionar el problema de la regulación de voltaje. Se ha mencionado anteriormente que para el sistema eléctrico del caso que nos ocupa hubo un proyecto para una subestación de distribución del cual se dieron los detalles. Además, existe actualmente el proyecto Pisayambo que dejará energía al sistema por medio de una subestación cuyos detalles también fueron dados. La colocación de una subestación ofrece la ubicación de nuevos alimentadores en el sistema que harían aplicar éste método de regulación de voltaje.

Con el segundo proyecto no habría las dificultades que con el primero, pues, éste trae energía de otra fuente y si se quita la única regulación automática que existe no habría dificultades con la regulación de voltaje.

El proyecto Pisayambo no es para una aplicación inmediata y su terminación se ha previsto para el año 1.975, mientras tanto, es necesario dar una solución para la actualidad que tenga una coordinación con los proyectos actuales y futuros.

3.1.13.11 INSTALACION DE UNA NUEVA SUBESTACION Y ALIMENTADORES

PRIMARIOS.- La instalación de una subestación hace instalar nuevos alimentadores, en definitiva, la instalación de una subestación ofrece el método de regulación de transferencia de carga a nuevos alimentadores que ya hemos analizado anteriormente.

3.1.13.12 CRECIMIENTO DEL NIVEL DE VOLTAJE PRIMARIO

Al elevar el nivel de voltaje en el sistema de estadio en la actualidad, equivaldría a quitar la única subestación y poner otra nueva o poner una nueva subestación con un nivel de voltaje de distribución mas alto. En el primer caso, la solución no sería económica si se piensa en el costo que resulta en el cambio de las instalaciones y equipos existentes.

En el segundo caso tampoco resulta una buena solución económica si se piensa que en los proyectos que se tiene en el sistema hay aquella solución y que una mejor, sería, una mas general, que busque los hechos existentes y los factores influyentes.

Debido a las instalaciones y equipos existentes, no es posible en éste caso, adaptarse a las tensiones o escalo-

namientos que en caso de una nueva red, fuesen los mas económicos, la solución está en lo que la práctica ha demostrado ya, que en redes existentes es posible reducir, en el transcurso del tiempo, considerablemente los costos con ayuda de proyectos especiales relacionados con las tensiones empleadas y su escalonamiento.

3.1.13.13 SOLUCION PARA LA REGULACION DE VOLTAJE

Al escoger el método o métodos de solución para la regulación de voltaje es necesario escoger del análisis realizado anteriormente todos los factores que influyen en una buena elección para que garanticen a larga vista, que el capital invertido en la realización de la mejora se amortice en forma económica. Por lo tanto, deberá efectuarse un especial planeamiento, teniendo en consideración lo mismo que los factores técnicos que los económicos.

Los problemas fundamentales de la mala regulación de voltaje en el sistema en estudio se hallan: en una única línea de transmisión sin la capacidad adecuada, en una única subestación sin la capacidad adecuada, los alimentadores rurales con diseños inadecuados.

Es necesario introducir en el planeamiento del mejoramiento del sistema, los proyectos que se tienen en él. Se ha hablado de dos proyectos que traten de la ubicación de una subestación.

La subestación de uno de ellos se ha dicho está alimentado por una línea de transmisión que recibe energía desde las centrales hidráulicas actualmente en servicio. Esta subestación cubrirá el exceso de capacidad de generación

que tiene el sistema, y dará energía al área rural norte, o sea, el área que está sirviendo al alimentador que se habló anteriormente en el que hay notoriedad de la mala regulación de voltaje.

La capacidad de la subestación es la mitad de la que está actualmente en servicio.

Las dos subestaciones que quedarían construidas tendrían cada una, solo una línea de transmisión de alimentación, que hace que esté sujeta a quedar sin servicio durante tiempos de consideración porque las fallas que en ella sucedan deben ser localizadas y separadas antes de que el servicio puede ser restaurado. Es decir, el diseño de las subestaciones no tienen manera para poder restaurar el servicio rápidamente cuando ocurre una falla en las líneas de transmisión.

Además este proyecto no tiene planeación de crecimiento de voltajes de distribución, el único voltaje nominal de distribución primaria sería 6.300 voltios. Sin tomar en cuenta el voltaje de distribución primaria de 2.300 voltios que fue bajado en el alimentador Rural Sur.

El otro proyecto que se debe tomar en cuenta es la subestación Pisayambo. La demanda máxima que se tenía proyectada en el sistema para el año 1.930 es de 6.790 KW. Si la subestación del proyecto Pisayambo tiene una capacidad de 13.300 KVA para el bobinado secundario y terciario se ve que ésta subestación cubrirá la demanda máxima hasta más allá del año 1.930, pudiendo ésta aumentar aun más su capacidad al funcionar los accesorios de enfriamiento.

Esta subestación ofrece además dos voltajes mas altos

que el actual, el secundario a 13.8 KV y el terciario a 23 KV, es decir, ésta subestación da un planeamiento de crecimiento de voltajes para el sistema de distribución. Este proyecto se piensa terminar para el año 1.975, mientras tanto el propósito de éste trabajo es dar una solución actual mirando éstos proyectos futuros.

La colocación de una subestación en el sistema de distribución ya es un método de regulación de voltaje. De entre la colocación de las dos subestación de los dos proyectos, la subestación del proyecto Pisayambo tiene las siguientes ventajas sobre la otra subestación: mucho mayor capacidad, voltaje mas alto para la mejora de la regulación, por elevación de tensión (planeamiento de escalonamiento de tensiones); enlace de subestaciones al voltaje de 23 KV dando de ésta manera alternativa de rápido restablecimiento de servicio por fallas en las líneas de transmisión.

Aparte de que la colocación de una subestación, es un método de regulación, se tendrá el método de regulación de voltaje por colocación de nuevos alimentadores.

En el análisis realizado anteriormente de los métodos de regulación de voltaje con los factores del sistema, los métodos de: reguladores de tensión en alimentadores primarios, y capacitores shunt en alimentadores, podrían ser utilizados en el sistema, solucionando en parte la regulación de voltaje en los alimentadores de distribución, pero, al ejecutar en el futuro el proyecto de la subestación e introducir alimentadores para solucionar la regulación, la solución actual de la regulación por los dos métodos mencionados, resultaría antieconómico si se piensa que esos equipos al realizarse los proyectos no se utilizarán.

Si se utiliza la transferencia de carga a nuevos alimentadores como método de regulación de voltaje para la actualidad, se podría pensar en coordinar éste método, con los proyectos futuros, de ésta manera se estaría haciendo una planificación que sería realizada armónicamente con la técnica y la economía.

Los alimentadores se ha dicho, están limitados por la longitud y la carga para la regulación de voltaje, antes que por limitaciones térmicas, con la excepción de las redes y los alimentadores que sirven areas de alta densidad de carga. Al elevar el voltaje en un alimentador y sirviendo la misma carga se puede extender el alimentador a mayor distancia con el mismo porcentaje de caída de tensión. Resulta entonces conveniente planificar el escalonamiento de tensiones mas altas para los alimentadores donde se tenga longitudes grandes. En el alimentador rural norte del sistema de estudio se ha hecho notar que la mala regulación que se tiene se debe a la longitud excesiva que tiene para la carga que sirve con el voltaje de 6.300 voltios.

Entonces, es conveniente planificar el mejoramiento de la regulación del sistema de distribución colocando nuevos alimentadores pensando en los proyectos de las subestaciones y la necesidad de los voltajes mas altos en las areas donde vayan los alimentadores de mayor longitud.

En el sistema de distribución las mayores longitudes de alimentadores se hallan en el area rural y las menores en la ciudad, es conveniente por lo tanto el voltaje 13.8 KV para la zona rural y el voltaje 6.300 para los alimentadores.

cortos de la ciudad.

La conveniencia de el voltaje 13.8 KV para el area rural resulta, entonces evidente. En el proyecto de subestación que se dijo, está en construcción, a mas de las desventajas que se han venido mencionando, se suma una nueva que es la inconveniencia del voltaje de 6.300 voltios que ofrece en el sitio designado para su ubicación que es el area rural norte. Siendo el único factor a su favor, el aprovechamiento de la capacidad de generación en exceso. Si la planeación para el area rural se hace a 13.8 KV, la energía que recibirá será tomada de la línea de transmisión que sale de las estaciones de generación hidráulica del proyecto Pisayambo y el exceso de generación de las actuales plantas hidraulicas ya no cabría llevarla a ésta zona pudiendo por lo tanto ser llevada a la ciudad.

3.2 ALIMENTADOR AL CENTRO DE CARGA DE LA ZONA

3.2.1 INTRODUCCION

Para obtener un buen diseño en los alimentadores, son necesarias las características de las cargas a las que van a servir con suficiente precisión. Algunas de las características importantes son: potencia activa y reactiva, demanda máxima, factor de carga, factor de diversidad, factor de potencia, crecimiento de la carga.

Las características básicas que son necesarias son: la demanda máxima y la carga promedio, las demás características de interés son función de éstas básicas.

Las características de carga para el sistema de distri-

bución en estudio no existen como datos. Estas pueden ser determinadas midiendo en los alimentadores o en estadísticas que ya han sido previamente elaboradas.

La estimación de la demanda máxima coincidente en base a estadísticas, tiene diferentes formas de realizarse. El sistema de cálculo para la estimación de la demanda máxima coincidente de un grupo de clientes rurales, residenciales o comerciales, que se utilizará en el presente estudio será basado en el consumo de energía registrado por el medidor del cliente. Este sistema de cálculo ha sido analizado en un trabajo de tesis de grado y a sido certificado en él la aplicabilidad con elevado grado de precisión en nuestros médios rurales.

3.2.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE CALCULO DE LA DEMANDA MAXIMA

Para el cálculo de la demanda se ha elaborado dos gráficos el uno que contiene curvas de KWh/Mes/Co vs consumidores y el otro de KWh/Mes/ Kw vs KWh/Mes/Co.

Basándose en la información disponible de las curvas de los gráficos se calcula la demanda por medio de la siguiente ecuación:

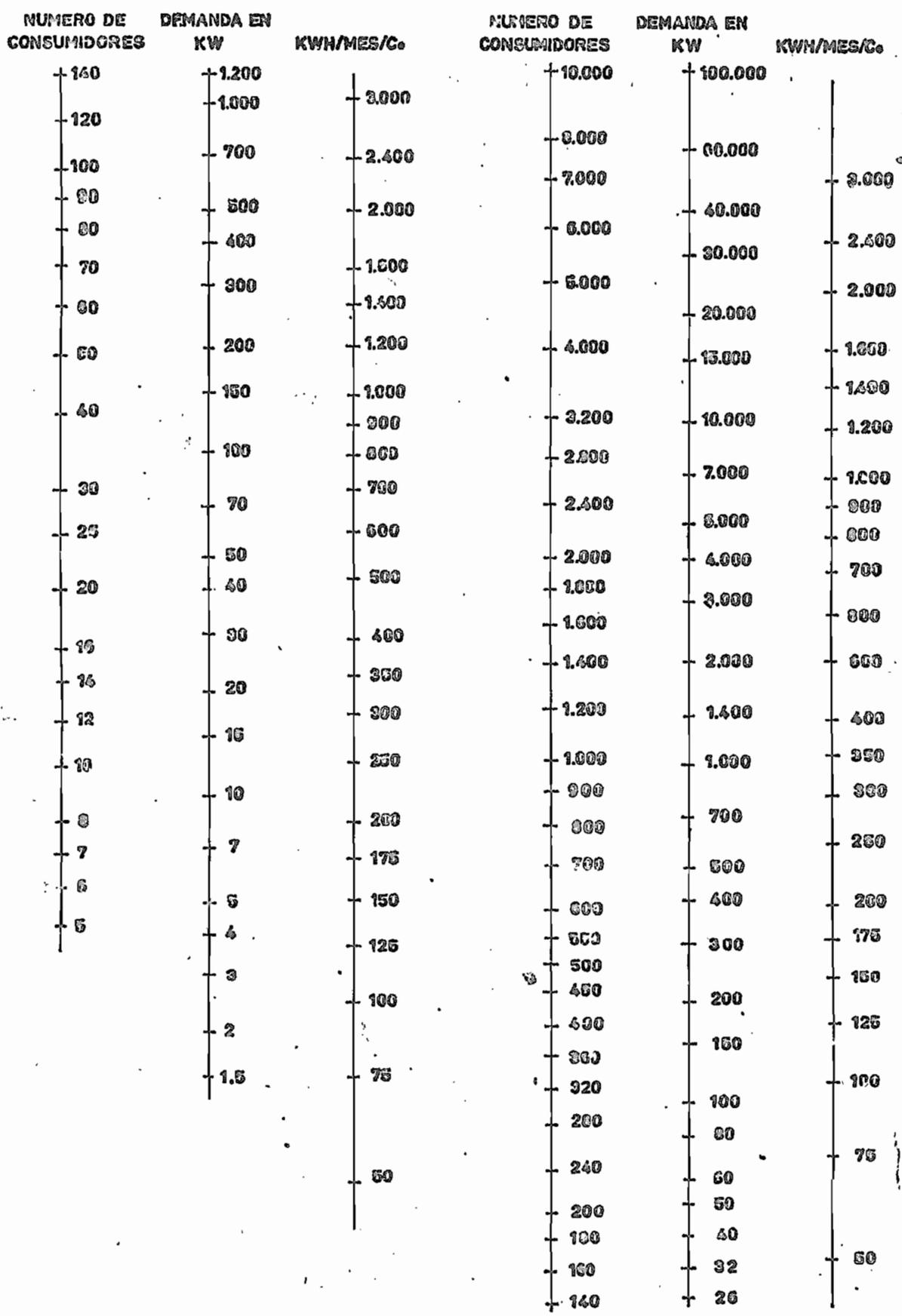
$$KW = \frac{KWh / Mes / Consumidor}{Max KWh / Mes / KW} \times \frac{Consumidores}{\% Max.}$$

El primer factor se lo ha designado como factor de consumo o factor "B" y el segundo factor como factor del consumidor o factor "A".

El factor "A" refleja la mejora en la diversidad resul-

METODO PARA EL CALCULO DE LA DEMANDA

NOMOGRAMA PARA KW DE DEMANDA



tante del incremento del número de consumidores. El Factor "B" refleja la mejora en el factor de carga derivada del incremento en el consumo.

Se han derivado cuatro métodos de cálculo de la demanda, todos ellos basados en curvas obtenidas de los Factores "A" y "B" que dan aproximadamente los mismos resultados.

Para el presente estudio tomaré un método que incluye un nomograma para la conveniencia del cálculo. Las divisiones de la escala izquierda del nomograma representan el logaritmo del Factor "A" correspondiente al número de consumidores dado; las divisiones de la escala derecha representan el logaritmo del Factor "B" correspondiente al consumo dado (KWh / Mes / Co) y la escala central representa el logaritmo del Factor "A" + logaritmo del Factor "B", localizado por el cruce de la recta "A" "B" sobre esta escala. En ésta forma, el Factor "A" y el Factor "B" se multiplican entre si por adición de logaritmos.

3.2.2 CONVENIENCIA DE UN ALIMENTADOR A LA ZONA RURAL NORTE.

Como se dijo en el capítulo 2, el estudio en detalle estará dirigido, al area denominada, la zona de mejoramiento.

El area rural norte, contiene un solo alimentador, del cual trataremos de ver la demanda máxima que tiene en base al sistema descrito anteriormente.

El alimentador tiene 1.440 consumidores con un promedio de consumo de 215 KWh. Según el nomograma, para éstas condiciones, la demanda obtenida da como valor 950 KW. Esta potencia es servida a lo largo del alimentador de 6.300 voltios que tiene una longitud de 30 Kms.

Se demuestra, con el valor obtenido de la demanda, la importancia que tiene ésta area rural con relación a la demanda total y demostrandose, además, la similitud en importancia con los alimentadores de la ciudad.

Se demostró que la conveniencia para una buena regulación de voltaje en el area rural, era introducir alimentadores a una tensión mas elevada.

Es conveniente para mejorar la regulación de voltaje de la actualidad, realizar la construcción de por lo pronto un alimentador, diseñado para el voltaje mas alto planificado. Este alimentador tomaría energía de la subestación que está actualmente en servicio.

Como se demuestra con el valor de demanda máxima el problema de la regulación en el alimentador rural norte que está actualmente en servicio, no es propiamente un exceso de carga sino mas bien un exceso en su longitud. Al introducir el nuevo alimentador y quitar carga del alimentador que está actualmente, no se actua atacando la causa misma de la mala regulación, por lo que la mejor solución estaría en atacar la causa de la mala regulación que es el exceso de longitud.

La longitud del alimentador actual se ha extendido para dar servicio a la mayor cantidad de cargas que sirve el alimentador. En otras palabras, la mayoría de carga a la que sirve el alimentador se halla alejada de la subestación y el sector cercano a ella, sólo se halla ligeramente cargado. Para éstas condiciones de carga, el diseño de distribución primaria radial que utiliza un alimentador expreso al

centro de carga tiene una buena aplicación. Este diseño para servir una misma carga, reduce el porcentaje de regulación desde la primera carga a la mas remota aproximadamente hasta en un cuarenta porciento.

La introducción del nuevo alimentador a la vez que se está diseñando para una futura aplicación se introducirá actualmente como alimentador expreso al centro de carga.

La ubicación de la subestación del proyecto que se ha dicho en construcción se lo ha ubicado aproximadamente en el centro de carga, entonces, el nuevo alimentador que se introduce llegaría hasta ese lugar.

Los subalimentadores principales que salen desde el centro de carga serían dos al ser dividido el actual alimentador, cada subalimentador tendría la mitad de su demanda y longitud, es decir, 475 KW y 15 Kms. siendo ambos valores funciones lineales del porcentaje de regulación.

Si tomamos como reducción del porcentaje de regulación para cada subalimentador el valor aproximado de 40%, el porcentaje de regulación dado como ejemplo para este alimentador en el capítulo 2 de 45% quedaría reducido al 27%.

3.3 ALIMENTADOR AL CENTRO DE CARGA DEL AREA NORTE DE LA ZONA

3.3.1 INTRODUCCION

El aumento del alimentador expreso al centro de carga, si en verdad está como solución actual, ésta es una solución transitoria hasta que se introduzcan los proyectos esperados en donde en verdad se logrará un mejora verdadera de la regulación de voltaje.

La mejora lograda en la regulación de voltaje con la introducción del alimentador expreso, ya es apreciable, pero, no se llega a un valor de porcentaje de regulación de un buen diseño, que tiene un valor aproximado de 6% para los alimentadores rurales.

El alimentador expreso al centro de carga de la zona sería construido como quedó dicho hasta el centro de carga de la zona, pero, al ser utilizado posteriormente al voltaje de 13.8 KV, éste deberá tener una longitud mayor que esa, pues, precisamente el mayor voltaje es para servir los alimentadores de mayor longitud. Si se construye el alimentador mucho mas largo que sólo al centro de carga, podría ser utilizado el largo en exceso, como otro subalimentador que sale del centro de carga.

3.3.2 CONVENIENCIA DE OTRO ALIMENTADOR AL CENTRO DE CARGA DEL AREA NORTE

En los alimentadores expresos no se hace ninguna conexión de cargas. En el alimentador expreso al centro de carga de la zona, descrito anteriormente, a mas de que tiene que cumplir con la condición de los alimentadores expresos no conviene tampoco que sea utilizado por ser un diseño que está previsto ser utilizado futuramente al voltaje 13.8 KV.

Como se dijo anteriormente, el alimentador expreso al centro de carga, tendrá que ser futuramente de mayor longitud y si se lo construye mucho mas largo que sólo al centro de carga de la zona, en ésta porción de alimentador excedente, tampoco resultaría conveniente hacer ninguna conexión por su utilización futura, por lo tanto, tampoco resultaría

conveniente utilizarlo como subalimentador que sale del centro de carga.

Sin embargo, si se construye el alimentador mas alla del centro de carga de la zona, éste exceso de longitud puede ser utilizado de igual forma que su parte anterior, es decir, como un subalimentador expreso al centro de carga.

El nuevo subalimentador expreso iría al centro de carga del area norte de la zona obteniendo en ese sector el beneficio de este diseño y mejorando aún mas la regulación de voltaje.

Si la mejora en la regulación de voltaje anteriormente tenía el valor de 27% en el ejemplo tomado, éste valor se reducirá al 16% si se toma nuevamente como valor aproximado al 40% de reducción en la regulación.

En el area sur no hay posibilidad para realizar el mismo procedimiento que en el area norte. Para ésta area, no hay posibilidad de tomar parte del alimentador que se construye, y si se tratara de construir uno para que sirva como subalimentador expreso, su construcción no resultaría justificable dentro del plan de mejoramiento.

Se podría mejorar la regulación de voltaje del area sur si se coloca un interruptor automático mas a la salida de la subestación. Este interruptor automático, serviría para ser instalado con el nuevo alimentador, situación que daría oportunidad para que el alimentador que está en servicio actualmente pueda ser dejado con una parte de carga del area Sur, descargando de ésta manera al subalimentador expreso que sale del centro de carga para ésta area.

3.4 UTILIZACION FUTURA DE LOS ALIMENTADORES AÑADIDOS

Se inicia el mejoramiento de la regulación de voltaje dentro del plan general construyendo dos alimentadores expresos. Estos alimentadores expresos se encuentran uno a continuación de otro, que en definitiva resulta construir un solo alimentador.

El diseño del alimentador ha sido realizado para el voltaje de 13.8 KV pensandose en que pueda ser utilizado en el proyecto Pisayambo. Si el plan de utilización futura de ese alimentador es éste, el lineamiento de él debe también realizarse pensando en ello.

La ubicación de la subestación del proyecto Pisayambo, se lo ha realizado en un sitio aledaño a la ciudad. Esta localización le ubica en forma cercana a la subestación actual. En su diseño existe un devanado terciario con un voltaje nominal de 23 KV y una capacidad de 3.300 KVA. Las características de éste devanado dan la oportunidad de, tomar el alimentador de salida como línea de subtransmisión para la subestación actual, por lo tanto, mientras mas corta resulte la línea, mas ventajoso será para la subestación en riesgo para el restablecimiento.

La construcción del alimentador mencionado como mejora de la regulación, para que su trazo sobre el area esté bien planificado es necesario que tope el sitio de ubicación de la subestación. Como el alimentador partirá de la subestación actualmente en servicio habrá un tramo entre ésta subestación y el sitio de la futura subestación. Este tramo podría construirse planificando su utilización para el futuro, como

la línea de enlace a 23 KV que tendrán las dos subestaciones.

3.5 AUMENTO DE CAPACIDAD DE TRANSMISION

En el problema de la mala regulación de voltaje entra-
ba a mas del mal diseño en los alimentadores, el problema
de la sobrecarga en la línea de transmisión y en la subes-
tación.

La mejora lograda en la regulación de voltaje con la
decisión anterior de introducir el alimentador con las
características de diseño especiales, se logró bajar el valor
de porcentaje de regulación tomado como tipo que fue de 45%
al valor de 16%. Este nuevo valor todavía se encuentra fuera
de los límites aceptables de buena regulación. Solucionando
el problema de sobrecarga en la línea de transmisión, se
lograría mejorar aún mas el valor de porcentaje de regulación
obtenido.

El exceso de capacidad de generación sobre la capacidad
de diseño, tanto en la línea de transmisión como en la sub-
estación es entonces necesario, ser transportada por otra vía
diferente de la actual. Obviamente esa capacidad debe ser
transportada por medio de una nueva línea de transmisión.

3.6 UNA NUEVA LINEA DE TRANSMISION HACIA UNA NUEVA SUBESTACION

La central No 1 genera 2.932 KW de potencia, la que es
recibida en una subestación de elevación de los transforma-
dores de 1.750 KVA cada uno, siendo por lo tanto, su capaci-
dad similar a la actual subestación de distribución. La central
No 2 genera actualmente 1460 KW de potencia que es recibida
por un transformador de 1750 KVA. Se mencionó anteriormente
que habrá un proyecto de instalar un generador mas de 1460 KW
en ésta central No 2. Para éste nuevo generador habría que

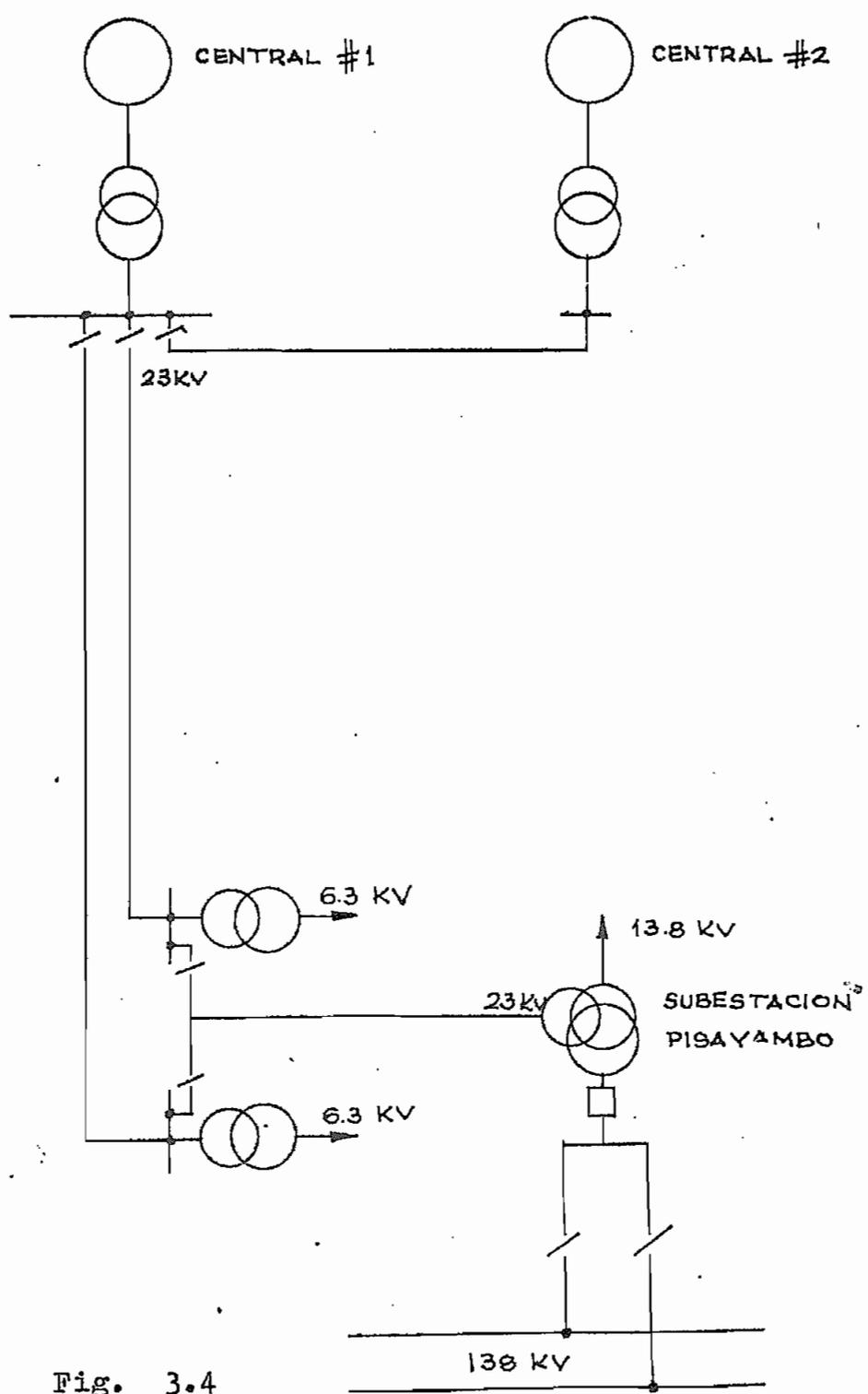


Fig. 3.4

que colocar otro nuevo transformador de 1.750 KVA quedando entonces, la subestación de elevación con igual capacidad que la central N^o 1 y también con igual capacidad que la actual subestación de distribución.

La línea de transmisión encargada de llevar el exceso de capacidad de generación deberá ser diseñada para llevar la capacidad futura que tenga la central N^o 2- La subestación que reciba la energía de ésta línea deberá también ser diseñada para esas condiciones. Esta subestación en definitiva deberá tener la misma capacidad que la subestación que está en servicio actualmente.

La construcción de la subestación que recibirá el exceso de capacidad resultaría conveniente construirla también aledaña a la ciudad por las siguientes razones:

- 1.- En el planeamiento del sistema de distribución consta que se utilizará el voltaje 13.8 KV para los alimentadores que vayan a las áreas rurales, al salir el equipo de distribución actualmente en uso al voltaje de 6.3 KV, éste podría ser utilizado en el área de la ciudad, donde se tendría suficiente capacidad para ese voltaje.
- 2.- Una subestación con una relación de transformación de 23 KV/ 13.8 KV que es la otra relación de voltaje que queda como alternativa, resultaría antieconómica para el sistema de distribución.
- 3.- Al introducir la subestación en la ciudad ofrece la oportunidad de introducir nuevos alimentadores al voltaje de 6.300 voltios. Esta introducción a mas de la ventaja obtenida en la regulación de voltaje de los alimentadores.

actuales, ofrece la oportunidad de que sean diseñados en forma integral con todos los alimentadores de 6.300 voltios para tener una adecuada capacidad u oportunidad de mejorar la rehabilitación del servicio.

Al colocar ésta nueva subestación en la ciudad se podría tener un tipo de sistema de subtransmisión y transmisión como la de la figura (3.4)

3.7 EL SISTEMA DE PROTECCION PARA EL NUEVO SISTEMA

3.7.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION

3.7.1.1 INTRODUCCION

Las fallas en los sistemas de distribución producen alteraciones en el voltaje y en la corriente dando condiciones de sobrevoltaje y sobrecorriente.

Se toman precauciones en los sistemas de distribución, para proteger contra daños en los circuitos y aparatos y proveer continuidad de servicio en caso de sobretensiones y sobrecorrientes. La planeación del diagrama de protección es parte de la planeación de todo el sistema, y está basado sobre el diseño del sistema de distribución.

Se presenta la condición de sobrecorriente, cuando el valor de la corriente excede el valor nominal de la corriente de cualquier componente de circuito. Puede presentarse en forma de una sobrecarga o de una corriente de falla. Ocurren muchas mas fallas en un sistema de distribución que en el de transmisión o en las plantas generadoras. Contribuye a ésta mayor incidencia de fallas, el hecho de que la red de distribución está mas expuesta.

Básicamente existen dos tipos de dispositivos de protección de sobrecorrientes aplicables a un sistema de distribución: fusibles e interruptores.

Los fusibles con una tensión superior a 600 volts. se clasifican en fusibles seccionadores para distribución y en fusibles de potencia. De los primeros pueden hacerse una clasificación en dos categorías: de expulsión y de carga líquida.

Los interruptores de baja tensión pueden clasificarse generalmente de acuerdo con el medio aislante y de interrupción en: de aceite y de aire. El interruptor con recierre es un dispositivo autocontenido que sirve para interrumpir y recerrar automáticamente un circuito de alterna; tiene también dispositivos para operación manual.

La condición de sobretensión en un sistema se presenta sobrepasando ampliamente el valor normal. Las sobretensiones pueden ser clasificadas según su origen en externas e internas.

Las externas pueden ser causadas por:

- a) Absorción de cargas flotantes en la atmósfera
- b) Influencia de nubes cargadas.
- c) Rayos indirectos.
- d) Rayos directos entre nube y línea.
- e) Cruzamiento de la línea con otras de mayor tensión, debido a fallas mecánicas en los conductores, aisladores o apoyos.

Las internas pueden ser causados por:

- a) Olas de interrupción o disminución de carga.

- b) Olas de conexión a aumento de carga.
- c) Resonancia eléctrica en el circuito de corriente alterna, por causa de la apertura de un desconectador unipolar de línea o transformador, producida por la combinación en serie de elementos inductivos y capacitivos, y mantenida a la frecuencia fundamental o armónica del sistema.
- d) Arcos a tierra, que se forman entre uno de los conductores de una línea, aislada o incompletamente puesta a tierra, y un objeto cercano.

Básicamente existen dos métodos para proteger una línea contra daños por descargas atmosféricas. El primero y mas frecuente requiere una pantalla para prevenir la descarga sobre los conductores de fase con adecuadas facilidades para su descarga a tierra además de un aislamiento adecuado. Los hilos de guarda constituyen una forma de pantalla. Un segundo método requiere una trayectoria auxiliar de descarga del conductor a tierra. Se permite que la descarga termine en el conductor de fase. Posteriormente un dispositivo en paralelo conduce la alta corriente de descarga a tierra. Los apartarrayos pertenecen a este grupo.

Se considera como un efecto de pantalla bueno cuando el conductor de fase no está expuesto a mas de 0.1% de las descargas directas.

Las sobretensiones de origen interno por olas de interrupción y conexión o disminución de carga y aumento de carga se evitan cortando la corriente cuando la onda pasa por cero o muy cerca. La resonancia eléctrica en el circuito de corriente alterna tiene como remedio el empleo

de desconectores tripolares, y la substitución de fusibles por interruptores; porque si durante una falla se funden dos cartuchos y el tercero queda ileso, estando en vacío el transformador se produce el fenómeno de resonancia. Los arcos a tierra se impiden conectando el neutro a tierra, ya sea por bobinas disonantes, resistores, o directamente. Se puede también conectar algún dispositivo supresor automático.

3.7.1.2 CONDICIONES IMPUESTAS A LOS SISTEMAS DE PROTECCION

1.- Un sistema de protección bien establecido debe eliminar de la red con toda garantía el organo afectado por el defecto y solo éste, dejando en servicio todos los elementos sanos. Dicho en otra forma, únicamente deben abrirse los interruptores que encuadran el defecto o el aparato averiado, con exclusión de todos los demás.

Si la protección asegura la discriminación del aparato defectuoso, se llama selectiva. Una protección debe ser a la vez segura, es decir, funcionar en todos los casos requeridos, y selectiva, siendo en general ésta segunda condición mas difícil de cumplir que la primera.

2.- La protección debe funcionar en un tiempo tan corto como sea posible. En primer lugar, es ventajoso desde el punto de vista de los desperfectos posibles reducir al máximo la duración del arco y de las corrientes de cortocircuito y, además, es necesario evitar que el arco, que nace frecuentemente entre una fase y tierra, tenga tiempo, al desarrollarse, de alcanzar otras fases, lo que transformaría un defecto a tierra en un cortocircuito polifásico mas grave. La realización de la selección es la única que impone un límite

a la rapidez.

3.- El comportamiento de un sistema de protección debe ser independiente, en la medida de lo posible, de la configuración de la red, y debe dejar toda libertad de maniobra permitiendo puestas en anillo, puestas en paralelo, cambios de alimentación, etc., sin exigir modificaciones de las regulaciones. Es necesario esforzarse en hacer los sistemas de protección tan insensibles como sea posible a las variaciones de configuraciones de la red.

4.- Los sistemas deben permanecer indiferentes a las sobrecargas; si éstas son prolongadas y corren el riesgo de originar un calentamiento perjudicial de los órganos, son los relés térmicos los que deberán señalar esta anomalía y no los relés de protección contra los defectos.

5.- El funcionamiento de las protecciones debe tener lugar cualquiera que sean las intensidades de las corrientes de corto circuito, la naturaleza y la posición de los defectos. En ciertos casos, la intensidad de la corriente de corto circuito puede ser inferior a la de la corriente normal; la sensibilidad de los sistemas debe ser suficiente para que, cualquiera que sean el emplazamiento del defecto y las condiciones de explotación de la red, quede asegurada la eliminación del efecto.

Sin embargo, es necesario no ir demasiado lejos por este camino y es inútil e incluso perjudicial, sensibilizar mucho los relés por debajo de la corriente mínima de corto circuito.

6.- Por último, los sistemas de protección deben permanecer insensibles a las oscilaciones que se manifiestan en las

tensiones, las corrientes y las potencias cuando se trata de una marcha fuera de sincronismo, con el fin de no provocar un seccionamiento inútil de la red, que hacía la reanudación del servicio largaypenosa.

En resumen, un sistema de protección debe ser a la vez seguro, selectivo, rápido, autonomo, insensible a las sobrecargas y a las oscilaciones y capaz de funcionar en condiciones de alimentación desfavorables.

3.7.2. CONVENIENCIAS PARA LA PROTECCION DEL NUEVO SISTEMA

3.7.2.1. LA PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO

En el diseño del sistema eléctrico de la Empresa, se ha dicho, en ninguna parte del diseño actual se halla con conexión del neutro a tierra. La subestación de elevación tiene la conexión ΔY con el neutro aislado la subestación de distribución tiene la conexión $Y Y$ también con el neutro aislado. Los transformadores de distribución tienen la conexión ΔY también con neutro sin conexión a tierra.

La literatura técnica que habla sobre la puesta a tierra del neutro, hace resaltar que la conveniencia o no de poner el neutro a tierra en los sistemas de corriente alterna de mas de 300 v es asunto debatido por los ingenieros explotantes de los servicios eléctricos en los diversos paises. Pero, se da por sentado que en las instalaciones de muy altas tensiones partiendo ya de 110 KV el neutro debe ponerse a tierra.

En los sistemas de corriente alterna de 300 v o menos, se coincide en el criterio de que la puesta a tierra del neutro es importante, incluso imprescindible. Esta conexión se ha visto necesaria como medida de protección para apar-

tos eléctricos, las personas y animales por el peligro de las tensiones de contacto y de paso.

Dentro del plan para el nuevo sistema de distribución se hallan dos tensiones de distribución 13.8 KV y 6.3 KV, el devanado secundario de la subestación Pisayambo que da el voltaje de 13.8 KV tiene prevista la conexión del neutro a tierra. El voltaje de 6.300 voltios actual no tiene dicha conexión por lo cual sería conveniente el estudio de la posibilidad de realizar esa conexión. Igual cosa se puede decir de la línea de transmisión y las plantas de generación.

3.7.2.2 PROTECCION PARA SOBRECORRIENTES.

En la actualidad los alimentadores primarios de la Empresa emplean como elemento básico de seccionalización los fusibles. Se usa interruptores automáticos, únicamente a la salida de los alimentadores de la subestación. Estos interruptores no tienen recierre automático.

En las redes de baja tensión descubiertas se emplean casi exclusivamente fusibles. Selectividad por disminución de la intensidad nominal de los fusibles y, por tanto, del tiempo de fusión, a distancia creciente del punto de alimentación.

Sin embargo, el uso de los interruptores automáticos colocados en combinación con los fusibles elimina muchas innecesarias desconexiones de fusibles cuando la falla no es persistente.

Al hacer las modificaciones en el sistema de distribución sería conveniente el estudio de la realización de la protección con coordinación de fusibles e interruptores con recie-

automático. La colocación de los elementos de protección para los cambios necesarios en la actualidad, deben hacerse pensando en las modificaciones futuras que tendrá el sistema

3.7.2.3 PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES

Se dijo que el sistema de distribución actual de la Empresa Eléctrica no tenía ni los elementos básicos de protección para las líneas.

En las modificaciones para el mejoramiento del sistema de distribución se deben introducir estos elementos ya sea en los pararrayos distribuidos en las líneas o el conductor de tierra sobre las líneas y, estudiar el modo de instalación éstos en las líneas ya existentes.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES GENERALES

PRIMERA.- En todo el estudio realizado se puede decir que se demuestra un problema técnico-económico que es de máxima actualidad y se manifiesta con inquietante realismo, por lo que es preciso y absolutamente indispensable, resolver con toda la urgencia que demanden las circunstancias.

SEGUNDA.- Se ha hecho notar en el estudio, que el area Rural Norte de la provincia de Cotopaxi, tiene cargas importantes y que además se espera en ella un buen crecimiento. La mejora de la electrificación rural, es entonces, obligada y necesaria, no sólo para incrementar la energía inanimada, sino también, para aumentar y perfeccionar la producción, y además, poner fin al exodo de habitantes de la provincia a la capital y elevar el nivel de vida de éstos.

TERCERA.- Los países que intentan frenar el éxodo rural no sólo a las grandes ciudades, sino también a las de importancia media, con todas las tremendas consecuencias que ésto comporta, a cuyo efecto, como medida inicial, se procura poner a disposición de los campesinos, los medios mecánicos y energéticos necesarios para facilitarles su labor y hacerla menos penosa, proporcionándoles las ventajas de orden doméstico que pueden reducir la corriente migratoria a los nucleos urbanos.

Al proporcionar la energía eléctrica a los importantes sectores del campo éstos países han tenido en consideración que:

- a) La electrificación mejora la vida del campo haciéndole menos fatigosa y mas atractiva.
- b) La electrificación contribuye a aumentar la producción de la tierra y a reducir los gastos.
- c) La electrificación constituye un medio de lucha contra el abandono de la agricultura.

CUARTA.- El atraso intelectual y material, así como los elementos de cultivo en nuestra ruralía es incipiente y verdaderamente lamentable. Mucha gente en nuestro país tiene conocimiento de la situación y se ha hecho excesiva literatura con lamentaciones cursis, pero, nadie a mas de conocer trata de comprender la situación. Nuestro país debe tomar en cuenta también, los factores ventajosos que han tenido otros países con sus planes de electrificación.

QUINTA.- Es natural que los países que mas han electrificado sus campos, sean aquellos cuya producción de energía eléctrica está mas desarrollada, tanto si es a base de producción térmica como hidráulica. Sin embargo, no se considera como único problema para la electrificación rural el relativo a la importancia de la producción, sino que, como es notorio, es tanto o mas importante que él, todo lo concerniente al transporte y distribución de energía.

SEXTA.- En el transcurso del estudio de la presente tesis se han tomado en cuenta todos los problemas concernientes a la mejora de la electrificación, es decir, se ha considerado tanto lo relativo a la producción, transporte y distribución de energía, si bien se puso énfasis en el sistema de distribución.

SEPTIMA.- Se demuestra en el análisis del sistema de distri-

bución, que el sistema está construido en la forma mas elemental posible y que sin embargo que se halla construido en ésta forma, no se tiene el sistema en buenas condiciones técnicas, ya sea como se ha dicho por falta de los medios económicos.

OCTAVA.- Para llevar a término la efectividad de lo representado, por los factores cuya significación he recalcado en todos los capítulos anteriores, se necesita, independientemente del problema técnico, que aún siendo importante, probablemente - con excepción del pronto y normal abastecimiento de energía eléctrica - se puede resolver con relativa facilidad, abordar y tratar de solucionar el problema económico que en definitiva es el principal.

NOVENA.- El estudio para obtener los medios económicos para poder realizar los proyectos inmediatos, no se ha podido realizar en éste trabajo. Incumbe a los organismos competentes, determinar lo que se puede realizar técnica y económicamente para el logro de esa efectividad. Es claro que si el plan de electrificación se quiere llevar a efecto, el esfuerzo económico es mucho mayor que el técnico.

DECIMA.- Al abordar los problemas de la red de distribución de la Empresa Eléctrica Municipal de Latacunga, Creo haber introducido para su solución, todos los antecedentes que han incumbido en ellos, cumpliendo de ésta manera con el propósito que tuvo éste trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- GAUDENCIO ZOPPETTI JUDEZ; Redes Eléctricas de Alta y Baja Tensión, Editorial Gustavo Gili, S. A. - Barcelona - 1.968.
- 2.- GAUDENCIO ZOPPETTI JUDEZ; Estaciones Transformadoras y de Distribución, Editorial Gustavo Gili, S. A. - Barcelona - 1.963
- 3.- PIERRE HENRIET; Redes Eléctricas-Funcionamiento y Protección, Editorial Mayo - Madrid - 1.961
- 4.- CARLOS LUCA M.; Lineas e Instalaciones Eléctricas, Impreso en los Talleres de Impresos y Sobres, S. A. Mexico - 1.968
- 5.- CARLOS LUCA M.; Plantas Eléctricas- Teoría y Proyecto Editado por Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A. - Mexico - 1.969.
- 6.- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD; Ingeniería de Distribución - Mexico - 1.970.
- 7.- SKROTZKI ; Electric Transmission and Distribution McGraw-Hill Book Company - 1.954.
- 8.- WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION; Distribution Systems East Pittsburgh, PA. 1.965.
- 9.- FRANK STETKA; NFPA HANDBOOK OF THE NATIONAL ELECTRICAL CODE - McGraw-Hill Book Company - 1.968.
- 10.- A. E. KNOWLTON; Manual "Standard del Ingeniero Electricista", Editorial Labor S. A. - Tomo I y II - 1.967.
- 11.- PENDER DEL MAR; Manual del Ingeniero Electricista, Editorial Hispanoamericana, S. A. Tomo II - 1.953.
- 12.- JOHN S. LYONS and STANLEY W. DUBLIN; Electrical Engineering and Economics and Ethics For Professional Engineerin Examinations - Hayden Book Company, Inc. -

New York - 1.970

- 13.- N.M. NEAGLE - D.R. SAMSON; Loss Reduction from Capacitors Installed on Primary Feeders - October 1.956. Notas.
- 14.- McGRAW-EDISON POWER SYSTEMS DIVISION; Capacitors, General Information - December 1.968
- 15.- O. W. KELLEY; Application of Capacitor Controls, McGraw-Edison Power Systems Division - 1.971
- 16.- O. W. KELLEY; Economics and Application of shunt capacitors on utility Systems - 1.971
- 17.- IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems - Notas - December 1.968.