

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

" ANALISIS DE LA CONFIGURACION A CORTO PLAZO Y  
UBICACION DE EQUIPOS DE CONTROL DE VOLTAJE PARA  
MEJORAR EL NIVEL DE TENSION DEL SISTEMA  
ELECTRICO DE LOS RIOS "

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE :

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIDAD : POTENCIA

PRESENTADA POR :

BOLIVAR A. YUNGAN YUNGA.

GUAYAQUIL - ECUADOR

1989

## AGRADECIMIENTO

AL ING. JORGE FLORES, POR  
LA AYUDA EN LA ELABORACION  
DE ESTA TESIS.

AL ING. JOSE LAYANA, DIREC  
TOR DE LA DIRECCION DE PLA  
NIFICACION DE EMELGUR.

AL ING EDUARDO CASTRO.

AL ING. WILSON MONTES.

AL PERSONAL TECNICO DE  
EMELRIOS.

AL ING. GONZALO YUNGAN P.

DEDICATORIA

A MI MADRE

A MI PADRE

A MIS HERMANOS

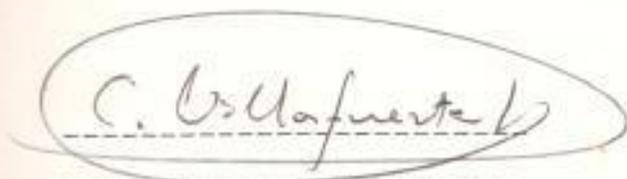
DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL "

( Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL ).



BOLIVAR A. YUNGAN YUNGA

A handwritten signature in cursive script, "C. Villafuerte", is written over a horizontal dashed line. The entire signature and line are enclosed within a hand-drawn oval.

ING. CARLOS VILLAFUERTE

SUB-DECANO

DE LA FACULTAD DE ING. ELECTRICA

A handwritten signature in cursive script, "Jorge Flores M.", is written over a horizontal dashed line.

ING. JORGE FLORES M.

DIRECTOR DE TESIS

A highly stylized handwritten signature in cursive script is written over a horizontal dashed line.

ING. CARLOS DEL POZO C.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

A handwritten signature in cursive script, "Alberto Hanze B.", is written over a horizontal dashed line.

ING. ALBERTO HANZE B.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto en determinar la configuración óptima del Sistema Eléctrico de Los Rios mediante diferentes alternativas de operación. El análisis de la configuración se la realiza cuando opere la Subestación de Distribución de Vinces adicionalmente a las tres Subestaciones actualmente instaladas (Chorrera, Cedegé, Pueblo Viejo).

En el análisis se procede a reubicar los equipos de control de voltaje actualmente instalados para su mejor aprovechamiento, teniendose como alcance el de mejorar el nivel de voltaje y reducir las pérdidas.

Para controlar satisfactoriamente los niveles de voltaje se realiza un estudio de ubicación de equipos de control de voltaje (Capacitores y/o Reguladores) obteniendose tres alternativas de ubicación, para efectos de comparación se hace un análisis técnico y económico con el fin de obtener la alternativa conveniente para la Empresa. Luego de obtenerse esta alternativa; para evitar que existan sobrevoltajes se analiza la operación del Sistema en demanda mínima para la determinación de

los equipos de desconexión.

## INDICE GENERAL

	PAG. -----
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XII
INDICE DE TABLAS -----	XIV
INTRODUCCION -----	XVI
CAPITULO I	
REGULACION Y CONTROL DE VOLTAJE EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCION -----	17
1.1. GENERALIDADES -----	17
1.1.1. DEFINICION DE TERMINOS -----	18
1.1.2. CALCULO DE CAIDA DE VOLTAJE Y REGULACION -----	19
1.1.3. VARIACIONES DE VOLTAJE -----	20
1.1.4. EFECTOS DE LA VARIACION DE VOLTAJE -----	21
1.1.5. ZONAS DE VOLTAJE -----	32
1.1.6. CAIDAS DE VOLTAJE EN LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION -----	35
1.2. APLICACION DE REGULADORES Y CAPACITORES PARA REGULACION Y CONTROL DE VOLTAJE -----	40

1.2.1. REGULADORES DE VOLTAJE -----	44
1.2.2. CAPACITORES -----	45
CAPITULO II	
DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA -----	48
2.1. ANTECEDENTES PARA LA CONFIGURACION ACTUAL -----	48
2.1.1. CARGAS ACTUALES -----	49
2.2. DESCRIPCION DE LA OPERACION ACTUAL ---	52
2.3. MODIFICACIONES A CORTO PLAZO -----	56
CAPITULO III	
CONSIDERACIONES TECNICAS Y ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA PREVIO A LA INSTALACION DE EQUIPOS DE CONTROL DE VOLTAJE -----	59
3.1 CONSIDERACIONES TECNICAS -----	59
3.1.1. CONFIGURACION -----	59
3.1.2. CARGAS ESPERADAS -----	61
3.1.3. VOLTAJES EN BARRA DE ENTREGA DEL SNI -----	63
3.2 ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA PREVIO A LA INSTALACION DE EQUIPOS DE CONTROL DE VOLTAJE -----	64
3.2.1. ALTERNATIVAS PLANTEADAS -----	64
3.2.2. RESULTADOS Y OBSERVACIONES -----	65

3.2.3. REUBICACION DEL REGULADOR PARA REDUCCION DE PERDIDAS Y MEJORAMIENTO DE VOLTAJE -----	68
3.2.4. RECOMENDACIONES PARA CONFIGURA- DEL SISTEMA SIN INCLUIR EQUIPOS DE CONTROL DE VOLTAJE -----	72

#### CAPITULO IV

UBICACION DE EQUIPOS DE CONTROL DE VOLTAJE EN EL SISTEMA -----	74
4.1 GENERAL -----	74
4.2 UBICACION DE CAPACITORES -----	75
4.2.1 DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS -----	75
4.2.2 DEFINICION DE VOLTAJES MINIMOS -	75
4.2.3 APLICACION DE UN PROGRAMA DE UBICACION OPTIMA DE CAPACITORES-	76
4.2.4 REUBICACION DEL CAPACITOR PARA MEJORAMIENTO DE VOLTAJE Y REDUCCION DE PER DIDAS -----	79
4.3 UBICACION DE REGULADORES -----	82
4.4 UBICACION DE REGULADORES Y CAPACITORES -----	84
4.5 BREVES ASPECTOS ECONOMICOS -----	87
4.5.1 ANALISIS DE BENEFICIOS Y COSTOS DE INVERSION -----	87

4.6. UBICACION RECOMENDADA -----	99
4.7. ESTUDIO A DEMANDA MINIMA Y DETERMINACION DE EQUIPOS DE DESCONEXION -----	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
ANEXO : SALIDAS DE COMPUTADORA	112
BIBLIOGRAFIA	237

## INTRODUCCION

El Sistema Eléctrico de Los Rios opera actualmente con tres subestaciones de distribución a 69/13.8 KV (Chorrera, Pueblo Viejo y Cedegé) recibiendo energía desde el SNI en la barra Milagro a 69 KV, con una demanda máxima aproximada de 16.5 MW.

Estando próxima la entrada en operación de la subestación Vinces, se observa la necesidad de realizar un análisis de las diferentes alternativas de operación con el objeto de determinar la configuración óptima del Sistema de Distribución, con las cuatro subestaciones operando. La entrada de esta nueva subestación permitirá incrementar la demanda a un valor aproximado de 19.7 MW.

Se ubicarán equipos de control de voltaje (Reguladores y/o Capacitores) para poder controlar satisfactoriamente los problemas de operación, sobre todo de voltaje.

En esta tesis se plantea tres alternativas de ubicación de estos equipos, se estudiará las ventajas tanto de operación como económica que resulte de estas alternativas de ubicación.

## CAPITULO I

### REGULACION Y CONTROL DE VOLTAJE EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

#### 1.1 Generalidades.

El principal objetivo del control del voltaje en un sistema de distribución es el de proporcionar económicamente a cada usuario (abonado) un voltaje que esté de acuerdo a las limitaciones de diseño del equipo de utilización,

Casi todos los equipos eléctricos están diseñados para ser usados a un voltaje de terminales definido, denominado voltaje de placa. Cada uno de los consumidores tienen prácticamente el mismo equipo de utilización por tanto es necesario suministrar un voltaje casi igual a todos los usuarios.

Desde un punto de vista económico es imposible proporcionar a cada usuario de un voltaje constante, cuyo valor, corresponde exactamente al voltaje de placa del equipo eléctrico.

Siendo la caída de voltaje proporcional a la magnitud y ángulo de fase de la corriente de carga se tiene que el abonado que está eléctricamente más cercano a la fuente recibirá un voltaje mayor que el abonado más alejado.

### 1.1.1 Definición de términos.

Para una clara comprensión de los problemas relativos a la regulación y control de voltaje, se necesitará la terminología que se usará.

#### Caída de voltaje ( $\Delta V$ ).

Es la diferencia entre el voltaje del lado de la fuente y el voltaje en el lado de la carga de cualquier parte del sistema de distribución.

#### Regulación de voltaje.

Es la caída de voltaje de una parte del sistema expresada en porcentaje del voltaje en el lado de la carga.

$$R_v = \frac{\Delta V}{E_c} \times 100 = \frac{E_f - E_c}{E_c} \times 100$$

Donde  $E_f$  y  $E_c$  son los voltajes del lado de la fuente y de la carga respectivamente.

NOTA: La regulación y caída de voltaje de un sistema, se expresa normalmente en porcentaje de un voltaje de referencia. En nuestro medio el voltaje base es de 120 voltios.

#### Variación de voltaje.

Es la diferencia entre los voltajes máximo y mínimo que existe en un punto del sistema de distribución, para una cierta clase de voltaje, en condición de operación estacionarias.

No se incluyen los cambios de voltaje de carácter transitorio como los debido al arranque de motores, conexión de soldaduras, etc; los mismos que se les conoce como depreciones de voltaje.

#### 1.1.2 Cálculo de caída de voltaje y regulación.

La caída de voltaje en estado estacionario es causado por el flujo de corriente

eléctrica a través de la impedancia que pueda presentar un transformador, un conductor, un cable, etc.

Para su cálculo es necesario conocer la impedancia, la corriente y el factor de potencia del circuito.

El empleo de métodos de cálculos rigurosos puede tomar mucho tiempo y ser complicado, lo cual ha motivado el uso de analizadores de Redes o de métodos digitales procesados en computador. Para efectos de su aplicación en sistemas de distribución, los métodos aproximados son satisfactorios.

### 1.1.3. Variaciones de voltaje.

El valor del voltaje medido en los terminales del equipo de utilización (voltaje de utilización) tiene una variación que depende del punto de localización del consumidor.

Una banda de voltaje ocurre en cada punto de utilización. El ancho de banda y la localización de la misma con respecto al

voltaje base depende de la localización eléctrica del consumidor.

Una banda de voltaje ocurre en cada punto de utilización. El ancho de banda y la localización de la misma con respecto al voltaje base depende de la localización eléctrica del consumidor respecto del sistema de distribución.

La fig. 1.1., ilustra las variaciones de voltaje en un sistema de distribución.

Vale indicar que en términos generales, las variaciones de voltaje en los puntos de utilización son más amplios para sistemas de distribución rural que para urbanos, porque los circuitos urbanos son más cortos en longitud y usan conductores de mayor diámetro.

#### 1.1.4 Efectos de la variación de voltaje.

Siempre que el voltaje aplicado a los terminales de un equipo de utilización es diferente del voltaje nominal o de placa, el comportamiento y la vida del equipo también

BARRA  
SUBESTACION

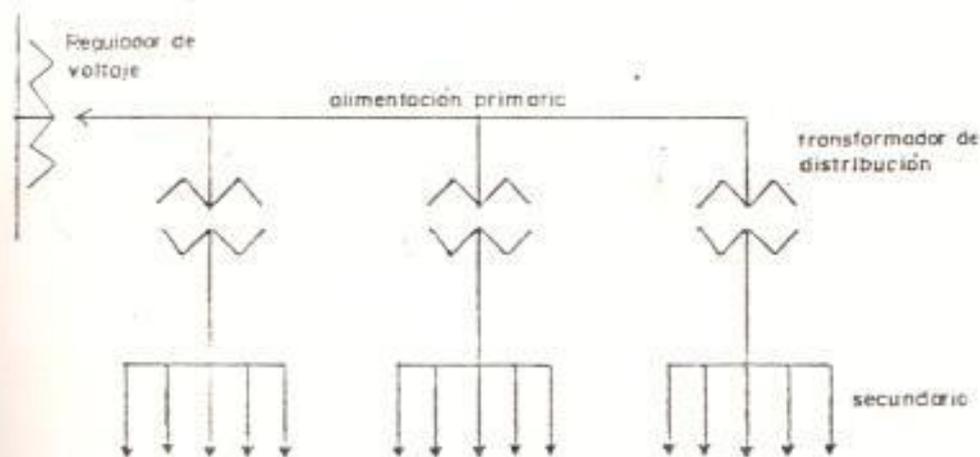
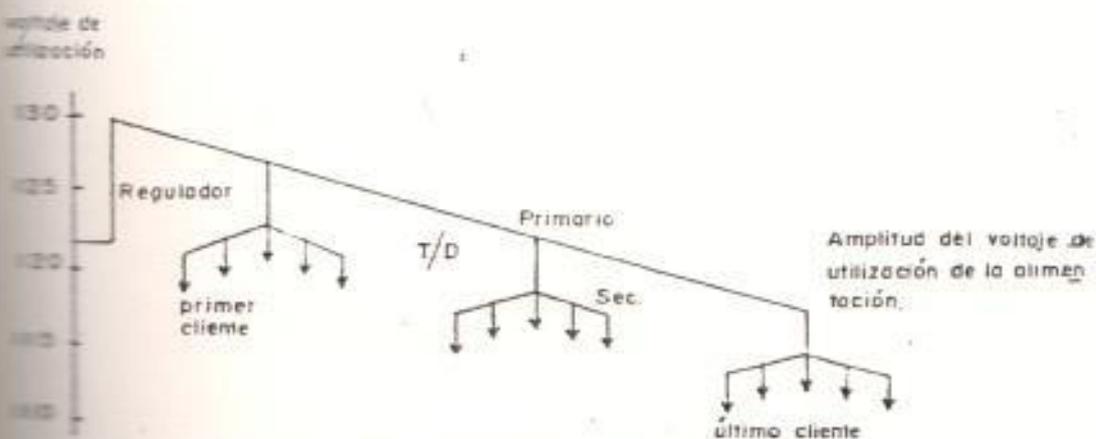
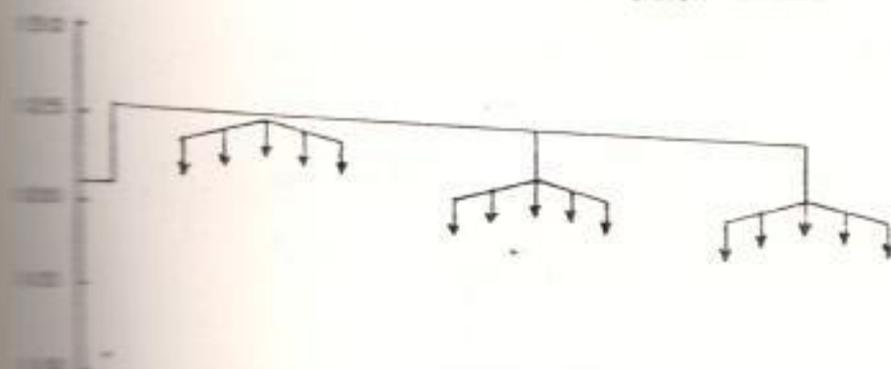


DIAGRAMA DE ALIMENTACION DE UNA LINEA DE DISTRIBUCION



PERFIL DE VOLTAJE EN CONDICIONES DE CARGA MAXIMA



PERFIL DE VOLTAJE EN CONDICIONES DE CARGA MINIMA

COMPARACIONES DE VOLTAJE EN LOS DIFERENTES COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

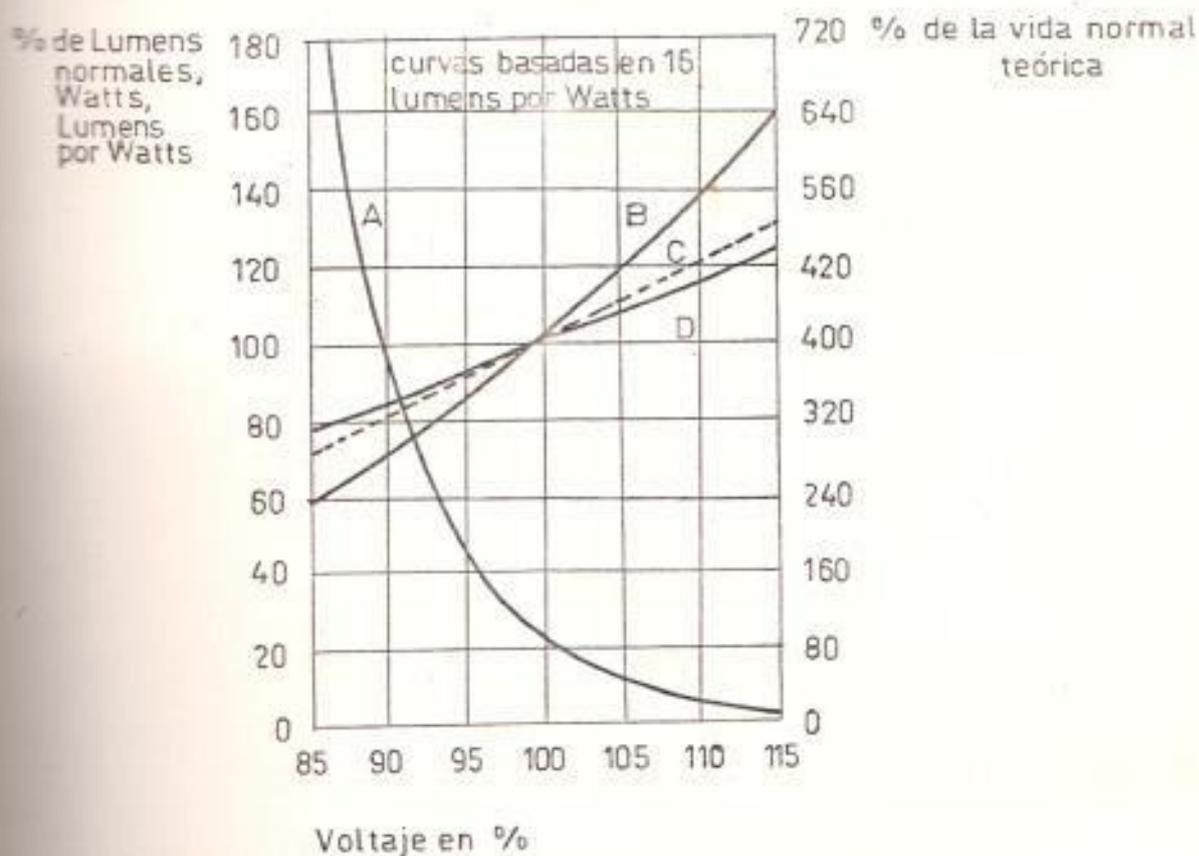
cambian. La magnitud de este cambio puede ser menor o mayor dependiendo del aparato, y de la magnitud de la variación de voltaje con respecto al voltaje nominal. Hay que recalcar que cada aparato puede ser accionado dentro de una variación de voltaje determinada sin mengua de sus características de funcionamiento.

Con el objeto de tener una idea más clara de la necesidad de una buena regulación de voltaje en un sistema de distribución, se indican a continuación los efectos de la variación de voltaje en algunos equipos eléctricos de uso común.

#### Efectos en iluminación.

En lámparas incandescente tanto la eficiencia luminica como la vida teórica, son seriamente afectadas por las variaciones de voltaje como puede observarse en la fig. 1.2.

Hay que aclarar que si bien con una disminución de voltaje, existe un incremento en la vida de la lámpara; esto en realidad



- A Vida teórica
- B Lumens
- C Lumens por Watts
- D Watts

Fig.12 Características de lámparas incandescente como una función del Voltaje aplicado

no representa una ventaja apreciable, puesto que la función de este artefacto es iluminar, y no permanecer como adorno.

En lámparas fluorescentes, el efecto del voltaje en la emisión luminica, no es tan acentuada como en lámparas incandescentes (ver fig. 1.3 ); pero es un factor en el arranque el mismo que puede ser insatisfactorio o inciertos con voltajes muy bajos o puede causar sobrecalentamiento del balasto con voltajes muy altos. En cualquier caso la vida de la lámpara se verá reducida.

El efecto de la variación del voltaje de lámparas de mercurio es indicado en la fig. 1.4.

#### Efectos en dispositivos resistivos.

La energía suministrada a este tipo de equipos, es proporcional al cuadrado del voltaje aplicado, siempre que la resistencia eléctrica permanezca constante. La fig. 1.5 muestra la variación de carga en función del voltaje aplicado.

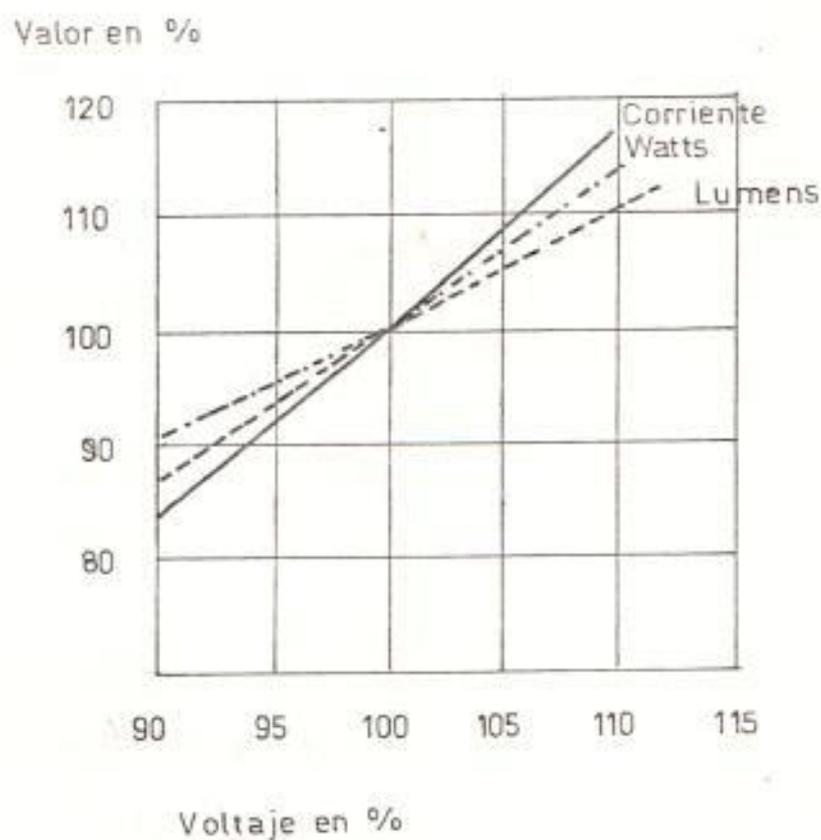


Fig.13 Características de lámparas fluorescentes como una función del voltaje aplicado al balasto.

Valor en %

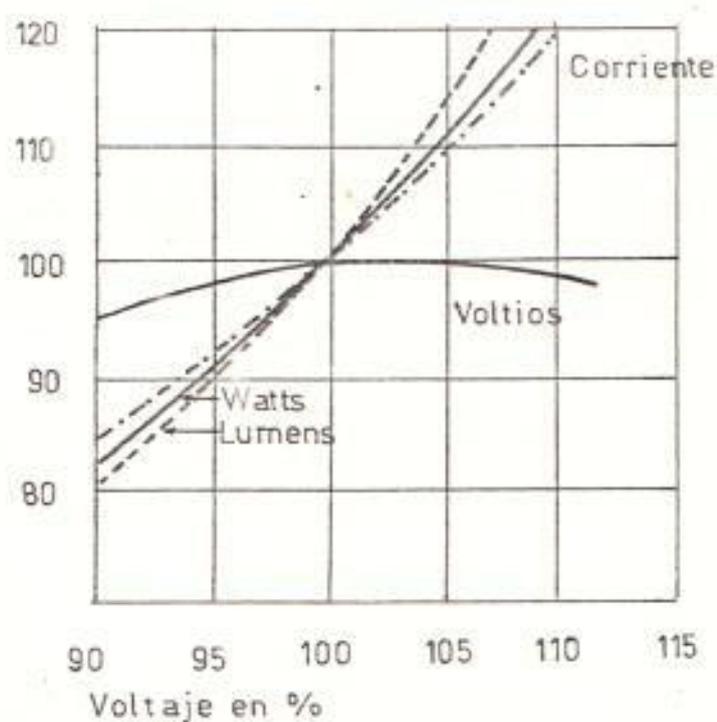


Fig.14 Características de lámparas de mercurio como una función del voltaje aplicado al balasto

Potencia  
normal en %

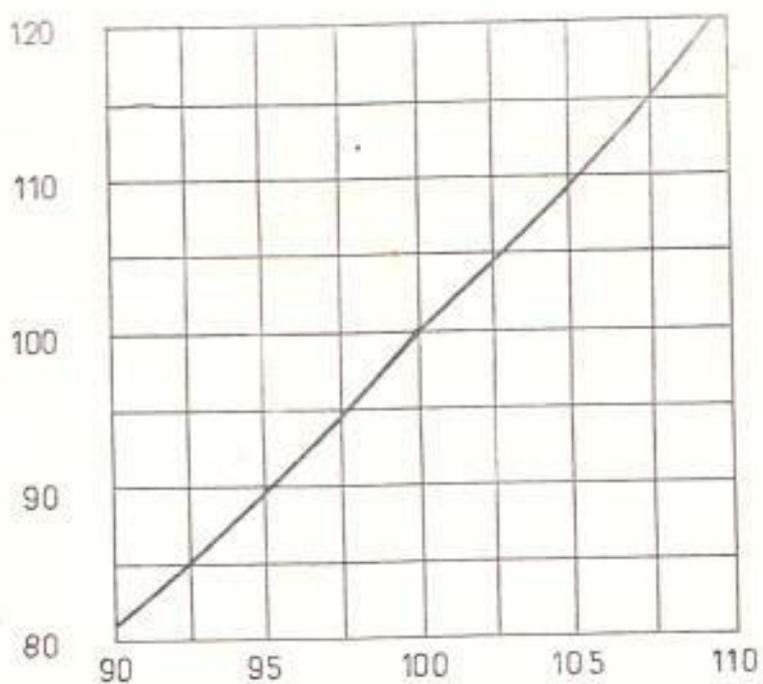


Fig.15 Potencia como una función del voltaje para una carga resistiva

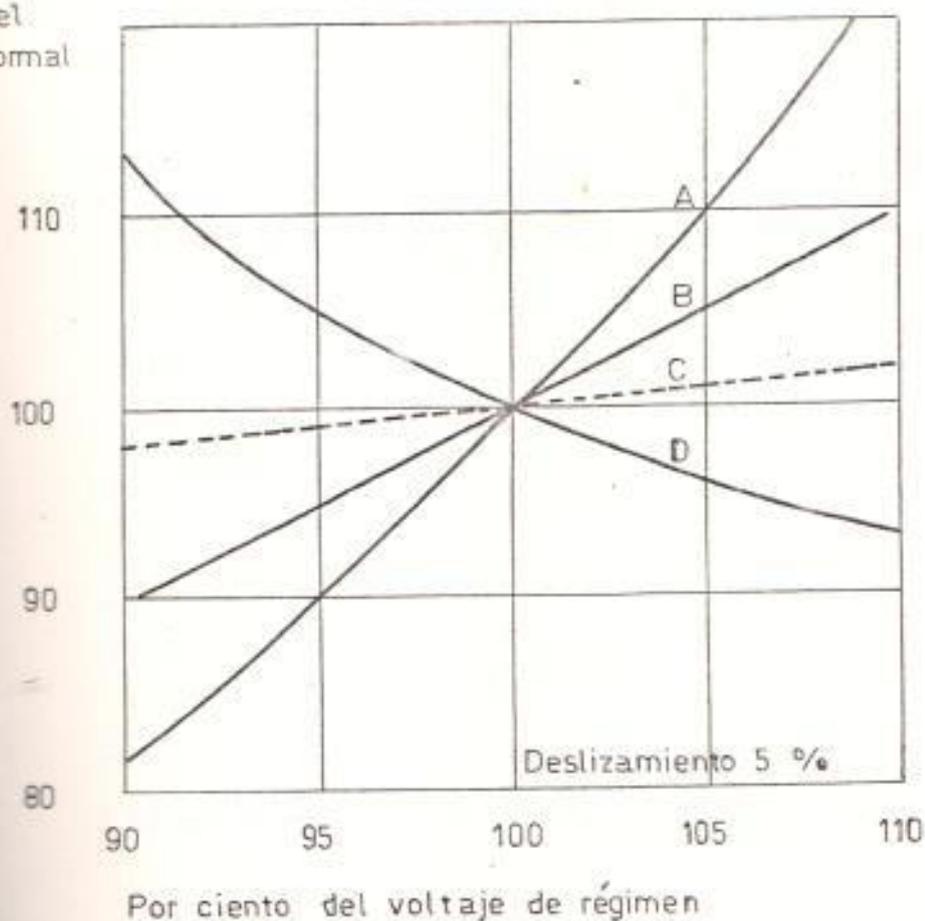
Las variaciones del voltaje en el uso residencial no tienen la importancia que en el uso industrial. La energía calórica se emplea residencialmente en aparatos de cocinar, secadoras o calefacción, por lo que las variaciones de voltaje solo afectan al tiempo necesario para calentar el equipo. Por otra el aumento en el calentamiento en el proceso industrial pueden afectar y aún dañar la producción. En general la vida útil de los elementos resistivos es afectada por las variaciones de voltaje.

#### Efectos en motores de inducción.

Las características de los motores de inducción standard en función del voltaje aplicado se muestran en la fig. 1.6 . Cuando el voltaje disminuye por debajo de su valor normal, el par de arranque disminuye considerablemente pues ésta varía con el cuadrado del voltaje, así una reducción del 10 % del voltaje, reduce el par al 81 % de su valor normal. La reducción de voltaje es un inconveniente en equipos de gran inercia.

Para bajo voltaje y el motor a plena carga,

Torque,  
Corriente,  
Velocidad,  
en % del  
valor normal



- A Par de arranque
- B Corriente de arranque
- C Velocidad
- D Corriente a plena carga

Fig. 55 Característica de los motores de inducción en función del voltaje aplicado

la corriente aumenta así como la temperatura del motor que se traduce en una reducción de la vida del aislamiento. Para reducción de 10 % de voltaje, la corriente a plena carga aumenta de un 10 a un 15 por ciento según el diseño del motor. Para aumento de voltaje, el par de arranque y la corriente de arranque aumentan y el factor de potencia disminuye.

Las variaciones de velocidad son muy pequeñas para variación de voltaje de más o menos 10 por ciento.

#### Efectos en equipos electrónicos.

La vida y la corriente de los equipos electrónicos debido a las variaciones de voltaje cambian sensiblemente y depende de la naturaleza de los mismos, tales como tubos electrónicos, etc. En el caso de los tubos electrónicos industriales, estos están diseñados para operar con variación de más o menos 5 por ciento de voltaje, sin afectar sensiblemente a la operación o la vida de los mismos. Los equipos de televisión pueden ser afectados seriamente por las variaciones

de voltaje, aunque los equipos puedan ajustarse para el voltaje promedio aplicado.

Cuando los equipos no están ajustados al valor promedio, la imagen se reduce en los periodos de bajo voltaje, algunas veces la brillantez de la imagen y la sensibilidad del equipo también son afectados.

#### 1.1.5 Zonas de voltaje.

Para cualquier nivel de voltaje específico, existen rangos de voltaje de operación que han sido considerados como satisfactorios para la operación de sistemas de distribución.

Una comisión mixta EEI-NEMA ha sugerido que los sistemas de distribución deben ser diseñados y operados de tal manera que la variación de voltaje a los terminales de la acometida de los abonados estén dentro de ciertos límites que proporcionen un cierto voltaje apropiado de utilización. Con el objeto de establecer guías para la determinación de valores nominales de equipo eléctrico, basandose en investigaciones

relativas a prácticas de operación, comportamiento del equipo y características de diseño; así como también haciendo un balance entre el diseño económico de un sistema de distribución y el diseño del equipo de utilización de tal forma de obtener una operación satisfactoria del equipo eléctrico a un costo mínimo, EEI-NEMA ha dividido el rango de variación para cada nivel de voltaje, en tres zonas de operación. Las tres zonas han sido denominadas como: Favorable, Tolerable y Extrema.

#### Zona Favorable.

Esta zona contiene la mayoría de los voltajes de operación existentes. Los sistemas de distribución deben ser diseñados de forma que la mayoría de los voltaje de operación estén dentro de esta zona; igualmente, el equipo debe ser diseñado y tener valores nominales tales que den un comportamiento adecuado y eficiente dentro de esta zona.

Las características nominales de operación

del equipo dentro de todo el rango de esta zona serán ligeramente diferentes sin dejar de ser adecuadas y satisfactorias.

#### Zona Tolerable.

Esta zona incluye voltajes de operación ligeramente mayores o menores que la zona favorable. Esta zona es reconocida como de operación normal, aunque no completamente deseable. La operación en los límites externos de esta zona debe ser limitada tanto en tiempo de operación como en el número de abonados que operen en estos límites.

#### Zona Extrema.

Esta zona no tiene límites definidos pero normalmente se extiende en 2 % a 3 % por sobre o por debajo de la zona tolerable. La operación en esta zona debe ser solamente en forma temporal; o sea únicamente en periodos de emergencia, tales como en caso de fallas, donde es necesario transferir carga o en periodo de construcción. El equipo de utilización debe ser capaz de operar en esta

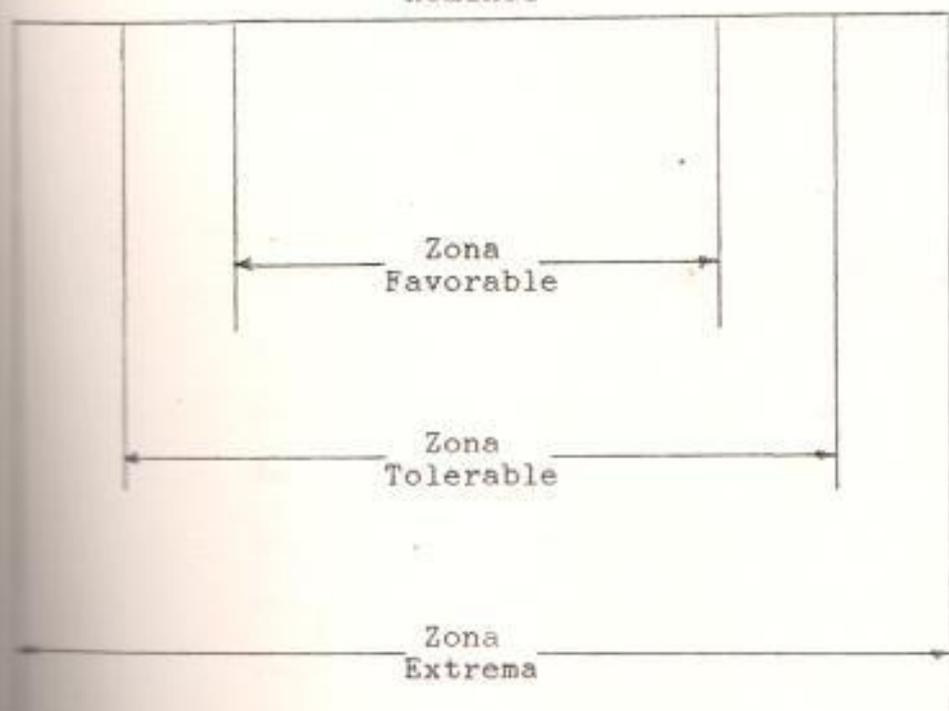
zona sin que haya mengua apreciable de sus características. La fig. 1.7. indica algunos valores de zonas de voltajes de operación para diferentes voltajes nominales. A esta clasificación debe ser agregada una "zona prohibida", la que está comprendida sobre y bajo la zona extrema.

Bajo ninguna circunstancia un sistema de distribución debe funcionar en esta zona debido al riesgo de un deterioro completo o parcial de los aparatos conectados a él.

#### 1.1.6 Caídas de voltaje en los componentes de un sistema de distribución.

Se había indicado que es recomendable que las redes de distribución sean diseñadas de tal manera que los voltajes en los terminales del equipo de utilización de los abonados estén en la zona favorable. Si tomamos el voltaje nominal de 120 voltios, éste rango de operación está comprendida entre 110 y 125 voltios. El diseño de alimentadores primarios debe ser tal que el abonado más cercano eléctricamente a la fuente (barra de bajo voltaje de la subestación de

Voltaje  
nominal



Zona  
Favorable

Zona  
Tolerable

Zona  
Extrema

110-125

110-127

103-131

110/220-125/250 107/214-127/254 103/209-131/260

114/197-125/217 111/193-127/220 107/190-131/225

210-240

200-250

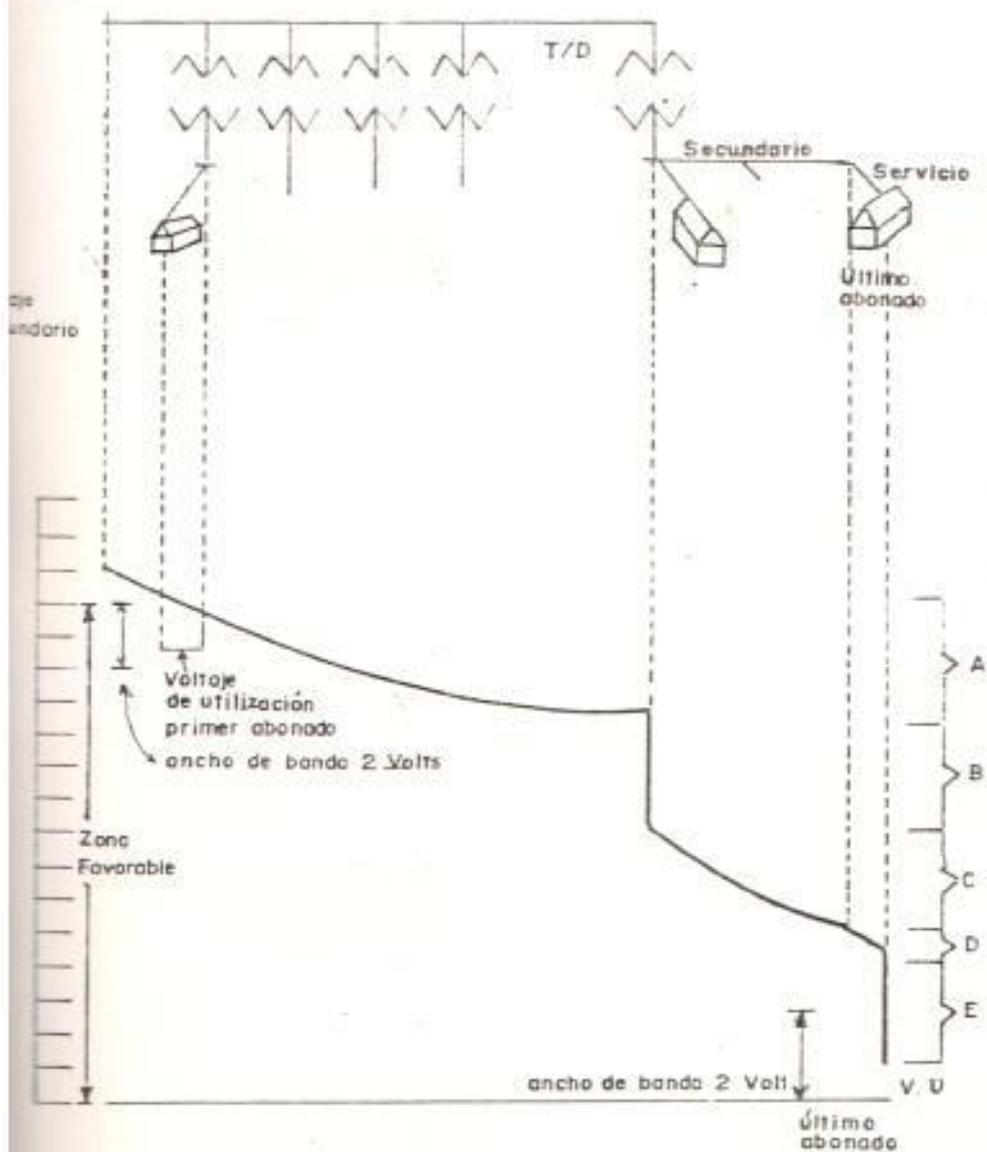
190-260

Fig. 1.7 Zonas de voltaje de operación.

distribución) tenga un bajo voltaje permisible de 125 voltios durante condiciones de máxima carga y que el abonado más alejado eléctricamente de la fuente, tenga el mínimo voltaje permisible de 110 voltios. Considerando que la caída de voltaje promedio en alambrado de distribución interior es de 3 voltios, es necesario que en los terminales de la acometida y medidor del último abonado, se tenga un voltaje igual o mayor a 113 voltios, teniéndose por tanto un rango de 12 voltios como caída de tensión a ser localizada entre los diferentes componentes del sistema de distribución primario y secundario.

De estudios de diseño de redes de distribución de tipo residencial se ha demostrado que para una máxima economía, es posible determinar cierta cantidad de caída de voltaje para cada componente del sistema de distribución. La fig. 1.8 indica los diferentes componentes de un sistema de distribución donde se presentan caídas de voltaje. La tabla I resume las recomendaciones de diferentes empresas.

RA  
ESTACION



Línea primaria 3.5 Volts

Transformador de distribución T/D 3 Volts

Línea secundaria 3.5 Volts

Servicio 1 Volts

Cableado interior 3 Volts

LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION EN EL QUE SE PRESEN  
TAN CAIDAS DE VOLTAJE.

TABLA I  
CAIDAS DE VOLTAJE EN COMPONENTES DE UN SISTEMA DE  
DISTRIBUCION

EMPRESA	A/P	T/D	C/S
<u>EEQ</u>			
Abonado Tipo			
A	2.0 %	-	3.0 %
B-C-D	3.5 %	-	3.5 %
E	6.0 %	-	4.0 %
<u>EMELEC</u>			
En la ciudad	3.0 %	≤ 6 %	
En zona periferica	5.0 %	≤ 4 %	
<u>INECEL</u>			
Pueblos ( < 300000 Hab. )	≤ 3.0 %	-	≤ 5.0 %
Pueblos ( > 300000 Hab. )	≤ 2.0 %	-	≤ 4.0 %
<u>USA</u>			
* M.U.	3.5 V	3.0 V	3.5 V
* m.u.	1.0 V	1.0 V	1.0 V
* M.R.	6.0 V	3.0 V	-
* m.R.	2.0 V	1.0 V	-

A/P : Alimentador primario  
 T/D : transformador de distribución  
 C/S : circuito secundario  
 \* M.U.: carga máxima - zona urbana  
 \* m.u.: carga mínima - zona urbana  
 \* M.R.: carga máxima - zona rural  
 \* m.R.: carga mínima - zona rural

## 1.2 Aplicación de Reguladores y Capacitores para regulación y control de voltaje

En vista de que un Sistema de Distribución debe brindar un buen servicio a sus abonados, es decir operar de tal forma que la variación de voltaje a los terminales de la acometida de los abonados estén dentro de ciertos límites que proporcionen un voltaje apropiado de utilización.

Este objetivo se logrará mediante la regulación y control de voltaje del sistema, existiendo diferentes métodos para lograrlo, uno de los métodos utilizados son mediante la aplicación de reguladores de voltaje y capacitores.

A continuación se describen los diversos métodos de regulación y control de voltaje utilizando estos equipos.

### a) Reguladores de voltaje en las barras de la subestación.

La regulación de voltaje en las barras de la subestación, se efectúan con 2 tipos de equipos:

#### 1. Transformadores de subestación con LTC

(cambiador de tap bajo carga) en una parte del transformador.

2. Regulador de voltaje entre el transformador y las barras de la subestación.

Este método tiene el inconveniente que regula los circuitos simultáneamente independiente de la naturaleza de su carga.

También cuando hay dos bancos en paralelo en la subestación es necesario agregar un sistema de control "master-slave" para poder operar en paralelo.

3. Reguladores de voltaje en la subestación para cada circuito.

Este método elimina los inconvenientes antes señalados, pero aumenta el costo inicial y de operación de la subestación.

4. Reguladores de voltajes en postes, instalados a distancia de la subestación.

Cuando la caída de voltaje a lo largo de un circuito es excesiva, es necesario instalar reguladores de voltaje instalados en postes, en los

12

puntos donde la caída es excesiva, etc. etc. etc.

En líneas rurales a veces se instalan hasta dos juegos de reguladores en postes, en dos lugares de la línea.

Los reguladores en postes tienen el inconveniente de su mayor costo por voltio de mejora y de limitar la capacidad del circuito.

d) Capacitores en la subestación.

La instalación de capacitores en paralelo (shunt) puede dividirse en dos grupos : capacitores fijos y capacitores variables.

Los capacitores por el hecho de tomar una corriente a 90 grados en adelanto, produce un aumento de voltaje en el circuito, este es independiente de la magnitud de la carga.

Otra ventaja que ofrece la instalación de capacitores al mejorar el factor de potencia del circuito, es de reducir las pérdidas de línea.

e) Capacitores en diversos puntos del circuito.

El aumento de voltaje es proporcionado a la distancia por la instalación de los capacitores a la distancia es independiente de la magnitud de la carga.

La instalación de los capacitores puede ser :

- 1) Fijos, es decir, conectado permanentemente en el circuito, por lo que la regulación no es mejorada apreciablemente, pero por otra suministran un aumento de voltaje a la distancia de su localización.
- 2) Variables, es decir que no están conectados permanentemente, su uso está determinado por un equipo de control que los conecta o los remueve de servicio de acuerdo con las condiciones de carga, etc., obteniendo una mejor regulación en el circuito.

Los capacitores se pueden también instalar en los circuitos secundarios siendo su instalación generalmente del tipo fijo; aunque tienen la ventaja de suministrar mejor regulación, tienen el inconveniente de ser más caros, a base del costo por voltio de mejora.

1.2.1 Reguladores de voltaje

Un regulador de voltaje es esencialmente un autotransformador que consiste de un devanado de excitación primario conectado en paralelo con la carga. En este devanado secundario existen tomas o derivaciones, las cuales están conectadas a un mecanismo cambiador de tomas automático que aumenta o disminuye el voltaje del circuito sin interrumpir la corriente de carga.

Los reguladores de voltaje son utilizados en sistemas de distribución rurales especialmente para controlar las variaciones de voltaje en las salidas de las subestaciones y para corregir las excesiva caída de voltaje en las alimentadoras de distribución.

Los reguladores de voltaje que encontramos en los sistemas de distribución son monofásicos y pueden entregar en la barra de salida del regulador un voltaje 10 % mayor o un voltaje 10 % menor que el voltaje de la barra de entrada del regulador.

Esta variación de voltaje se logra de manera continua con un paso por medio de 32 pasos discretos; 16 pasos para elevar el voltaje y 16 pasos para disminuirlos lo que determina que cada paso de regulación corresponda a  $5/8$  %.

Estos reguladores tienen el compensador de caída de voltaje en la línea que permite simular la impedancia de la línea pudiendo por lo tanto el regulador controlar el voltaje en un punto distante a él.

### 1.2.2 Capacitores.

Los capacitores son muy usados en las alimentadoras de 13.8 KV de los sistemas de distribución para mejorar los niveles de voltaje de las líneas, para disminuir las pérdidas y también para mejorar el factor de potencia del sistema de potencia.

Los capacitores pueden ser unidades monofásicas o trifásicas. Las unidades monofásicas son fabricadas normalmente de 50, 100, y 150 KVAR y las unidades trifásicas de 300, 450, 600, 900, 1200 KVAR.

Los capacitores presentan una capacitancia constante que depende únicamente de los materiales usados en su construcción y de las características geométricas del mismo.

La reactancia capacitiva que presenta un condensador también es constante, lo mismo que su admitancia capacitiva las cuales vienen determinadas por las siguientes fórmulas :

$$X = \frac{1}{(W) (C)}$$

$$Y = (W) (C)$$

X : Reactancia capacitiva  
 C : Capacitancia  
 W :  $2 \pi f$   
 Y : Admitancia capacitiva

Los capacitores son modelados para el análisis de sistemas de potencia como una admitancia paralelo constante.

Al trabajar en valores en por unidad la admitancia en paralelo se considera igual a la potencia reactiva también en por unidad; lo cual se demuestra si consideramos un capacitor de valores nominales V, Q; donde:

$$Q = (V^2) \cdot Y$$

V : Voltaje nominal  
Q : Potencia nominal  
Y : Admitancia capacitiva

Expresando la relación anterior en valores en por unidad tenemos :

$$Q(\text{p.u.}) = (V(\text{p.u.}))^2 * Y(\text{p.u.})$$

Si consideramos que el voltaje aplicado al capacitor es 1 p.u. tenemos:

$$Q(\text{p.u.}) = Y(\text{p.u.})$$

La potencia reactiva que es capaz de entregar un capacitor depende del voltaje real que se le aplique la expresión que representa esta relación es la siguiente:

$$\frac{Q(\text{nominal})}{Q(\text{nueva})} = \frac{V^2(\text{nominal})}{V^2(\text{nueva})}$$

De la última expresión anotamos que la potencia reactiva que es capaz de suministrar un capacitor es directamente proporcional al cuadrado del voltaje que se aplique a sus terminales.

## CAPITULO II

### DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA

#### 2.1 Antecedentes para la configuración actual

El suministro de potencia y Energía en la provincia de Los Rios, sobre todo en el área servida por EMELRIOS (ver Fig. 2.1) ha sido en los últimos años deficiente y restringido como consecuencia de los daños ocurridos en los grupos diesel eléctricos.

Esta crítica situación ha sido solucionada, a partir del mes de Octubre de 1984 cuando se produjo la integración de la Empresa al Sistema Nacional, mediante la construcción de la línea 138 KV Milagro-Babahoyo (opera inicialmente a 69 KV) y de la subestación de 10/12.5 MVA - 69/13.8 KV en la Chorrera.

La infraestructura eléctrica en el mes de diciembre de 1984 estaba compuesta por, 280 Km de líneas de 13.8 KV, y por redes de distribución con una capacidad total de 9415 KVA en transformación.

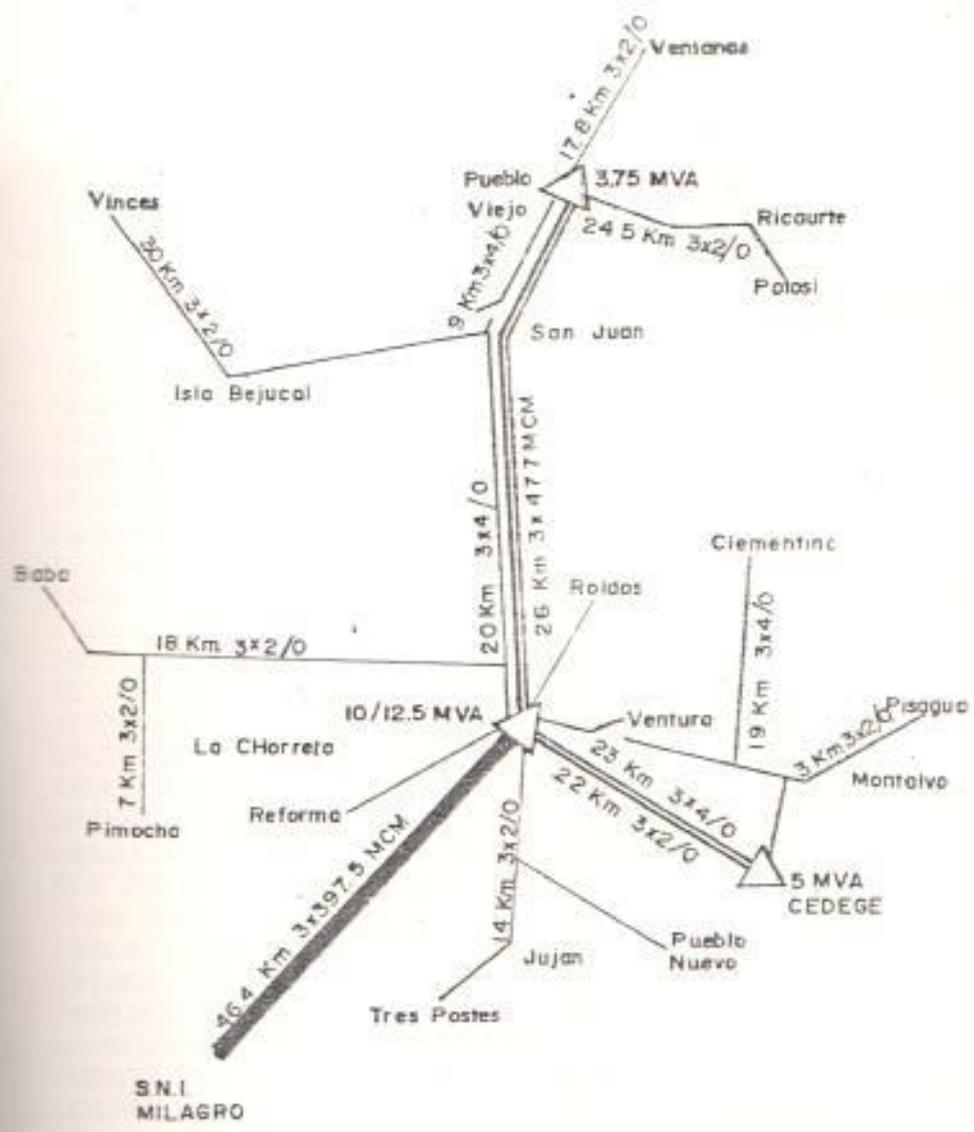
Esta infraestructura, si bien es verdad permitió recibir energía del Sistema Nacional, no logró sustancialmente mejorar la calidad de servicio a nivel de abonado, debido a la excesiva longitud de los alimentadores.

Para superar esta deficiencia INECEL y EMELRIDS construyeron las líneas de 69 KV: Babahoyo-Pueblo viejo y Babahoyo-Cedegé, con sus respectivas subestaciones de reducción. Operando entonces el Sistema con tres subestaciones de Distribución tal como lo muestra la fig. 2.1.

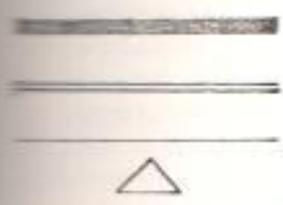
#### 2.1.1 Cargas actuales.

Según informe del personal técnico de EMELRIDS, la demanda actual del sistema es de 16.5 MW repartidos como se indica en la tabla II (todas las barras son mostradas en la configuración actual del sistema ver fig. 2.2.). Las cargas de mayor importancia son:

La Reforma	2.70	MW
Ventanas	1.68	MW
Vinces	1.10	MW
Cedegé	0.85	MW
Clementina	0.47	MW
Ventura	0.62	MW
Catarama	0.48	MW
Indubasa	1.57	MW
Montalvo	0.40	MW



LEYENDA



- LÍNEA A 138 KV CONSTRUIDA
- LÍNEA A 69 KV CONSTRUIDA
- LÍNEA A 13.8 KV
- SUBESTACION

Áreas servida por EMELRIOS

TABLA II

## CARGAS ACTUALES EN LAS BARRAS DEL SISTEMA EMELRIOS

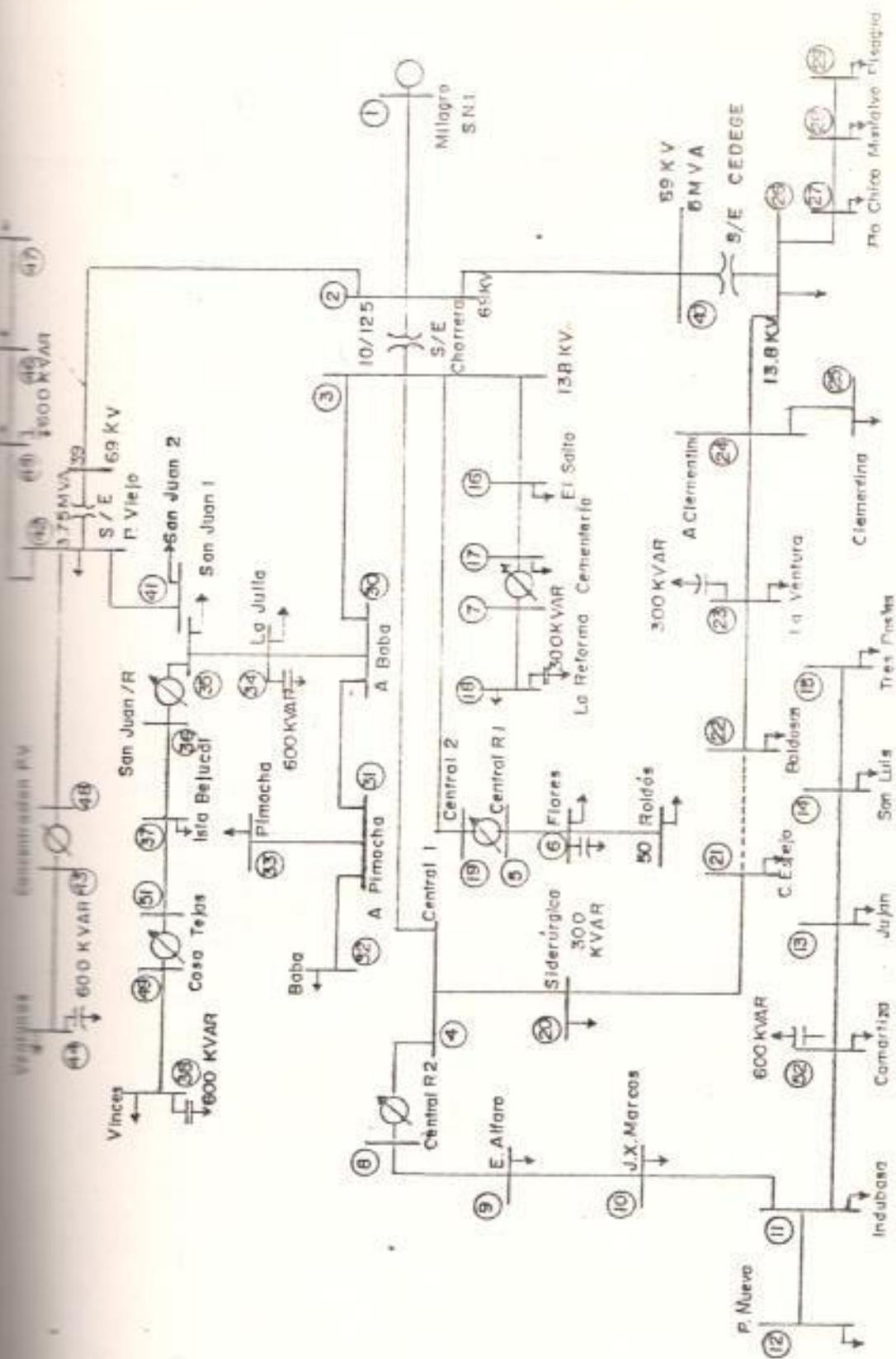
BARRAS	DEMANDA MAXIMA		DEMANDA MINIMA	
	KW	KVAR	KW	KVAR
CEMENTERIO	150	70	60	20
ELDY ALFARO	520	200	210	100
J.X. MARCOS	270	100	120	20
INDUBASA	1570	730	880	380
PUEBLO NUEVO	150	70	70	30
CAMARTIZA	360	150	200	90
JUJAN	310	160	160	90
SAN LUIS	70	30	30	20
TRES POSTES	90	40	40	20
SIDERURGICA	340	160	150	80
C. ESPEJO	260	140	120	60
CENTRAL	470	210	220	110
FLORES	1000	470	430	300
ROLDOS	290	120	130	60
PIMDCHA	70	30	20	10
BABA	130	70	50	20
LA JULIA	100	50	40	10
SAN JUAN	200	80	100	40
ISLA BEJUCAL	320	160	120	30
VINCES	1100	650	350	250
PUEBLO VIEJO	240	120	140	80
CONCENTRACION	340	190	130	50
VENTANAS	1680	810	640	430
CATARAMA	480	230	110	50
RICAUARTE	280	130	120	50
POTOSI	90	40	30	10
REFORMA	2700	1280	2220	1370
EL SALTO	70	30	30	10
CEDEGE	850	400	120	50
RIO CHICO	60	20	40	20
MONTALVO	400	180	150	70
PISAGUA	150	70	100	50
CLEMENTINA	470	230	330	170
VENTURA	620	300	290	160
BALDOSAS	260	140	120	60
TOTAL	16500	7860	8070	4370

La tabla II muestra la demanda activa y reactiva de todas las barras del sistema, tanto a máxima como mínima demanda.

## 2.2 Descripción de la configuración actual.

Debido a que el punto de partida indispensable para planear la configuración a corto plazo de un sistema de distribución primario, es sin lugar a duda mediante el conocimiento detallado de la forma en que opera el sistema existente donde podremos observar sus limitaciones y sus holguras ante las exigencias de la demanda actual, el cual nos permitirá realizar un diagnóstico de sus condiciones para enfrentar una demanda futura. Así tenemos que, la configuración está compuesta por tres subestaciones de distribución (Chorrera, Cedegé y Pueblo Viejo) y bancos de capacitores, contando además con reguladores automáticos como muestra la fig. 2.2. El punto de suministro de energía es la barra de 69 KV de la subestación Milagro SNI.

En la tabla III se puede observar los niveles de voltajes de las diferentes barras del sistema, apreciándose niveles bajos de voltajes en las



CONFIGURACION ACTUAL DEL SISTEMA

TABLA III

RESULTADOS DE FLUJO DE CARGA PARA LA CONFIGURACION ACTUAL

BARRAS	VOLTAJE (P.U.)	CARGA EN LAS S/E (MVA)	
CHORRERA 69	0.968		
CHORRERA	1.000	CHORRERA	10.70
J.X. MARCOS	0.994		
INDUBASA	0.956	PUEBLO	3.27
PUEBLO NUEVO	0.945	VIEJO	
CAMARTIZA	0.952		
JUJAN	0.945	CEDEGE	2.95
SAN LUIS	0.941		
TRES POSTES	0.938		
SIDERURGICA	0.966	TAP REGULADORES	
FLORES	1.027		
ROLDOS	1.026	ALIM. A JUJAN	1.05
PIMOCHA	0.981		
BABA	0.979	ALIM. A ROLDOS	1.05
LA JULIA	0.977		
SAN JUAN	0.934	ALIM. S.JUAN-	
ISLA BEJUCAL	0.965	VINCES	1.09
VINCES	0.982		
PUEBLO VIEJO	0.997	ALIM. VINCES	1.08
CONCENTRACION	1.029		
VENTANAS	0.992	ALIM. CONCENT-	
CATARAMA	0.986	VENTANAS	1.1
RICARTE	0.984		
POTOSI	0.978	ALIM. REFORMA	1.05
REFORMA	0.985		
EL SALTO	0.982	PERDIDAS (KW)	1690
CEDEGE	0.988		
RIO CHICO	0.977		
MONTALVO	0.960		
PISAGUA	0.958		
CLEMENTINA	0.950		
VENTURA	0.951		
BALDOSAS	0.951		

barras de Juján, Tres Postes y Pueblo Nuevo, pues por ser una alimentadora rural estos niveles no representan bajos niveles de voltajes notables ya que más adelante definiremos 0.93 p.u. como voltaje mínimo impuesto en algunas barras para la ubicación de equipos de control de voltaje, para la corrección de estos bajos niveles de voltaje. El control del nivel del voltaje de las alimentadoras se lo realiza mediante la fijación del tap en los transformadores y los equipos de control de voltaje conectados en el sistema.

Las alimentadoras radiales que salen en distintas direcciones, al salir del centro urbano prácticamente se convierten en alimentadores rurales, por su longitud y carga representa un problema de regulación y control de voltaje, un caso particular es la alimentadora Chorrera-San Juan-Vinces que, por su gran longitud utiliza dos reguladores en cascada para resolver la inconveniencia de bajo voltaje.

La carga respectiva de los transformadores son mostradas en la tabla III, observándose en la subestación Chorrera una demanda de (10.70 MVA) cercana a su carga nominal, por tal razón se hace necesario la operación de una nueva subestación,

debido a que las diferentes poblaciones que conforman el área de fluencia de EMELRIOS son agrícolas y comerciales, representando de esta forma desarrollo y por ende crecimiento de la demanda, que según para el estudio de modificación a corto plazo del sistema y considerando la demanda esperada las subestaciones instaladas no podrán satisfacer los requerimientos de la demanda.

Se puede observar además que las pérdidas y bajos voltajes que soporta el sistema es como consecuencia de la operación de la línea Milagro-Babahoyo a 69 KV, por este motivo se hace necesario realizar un estudio de ubicación de equipos de control de voltaje, como alternativa de solución para mejorar el nivel de voltaje y reducir las pérdidas, estudio que se lo realizará de acuerdo a la configuración a corto plazo con su respectiva demanda esperada.

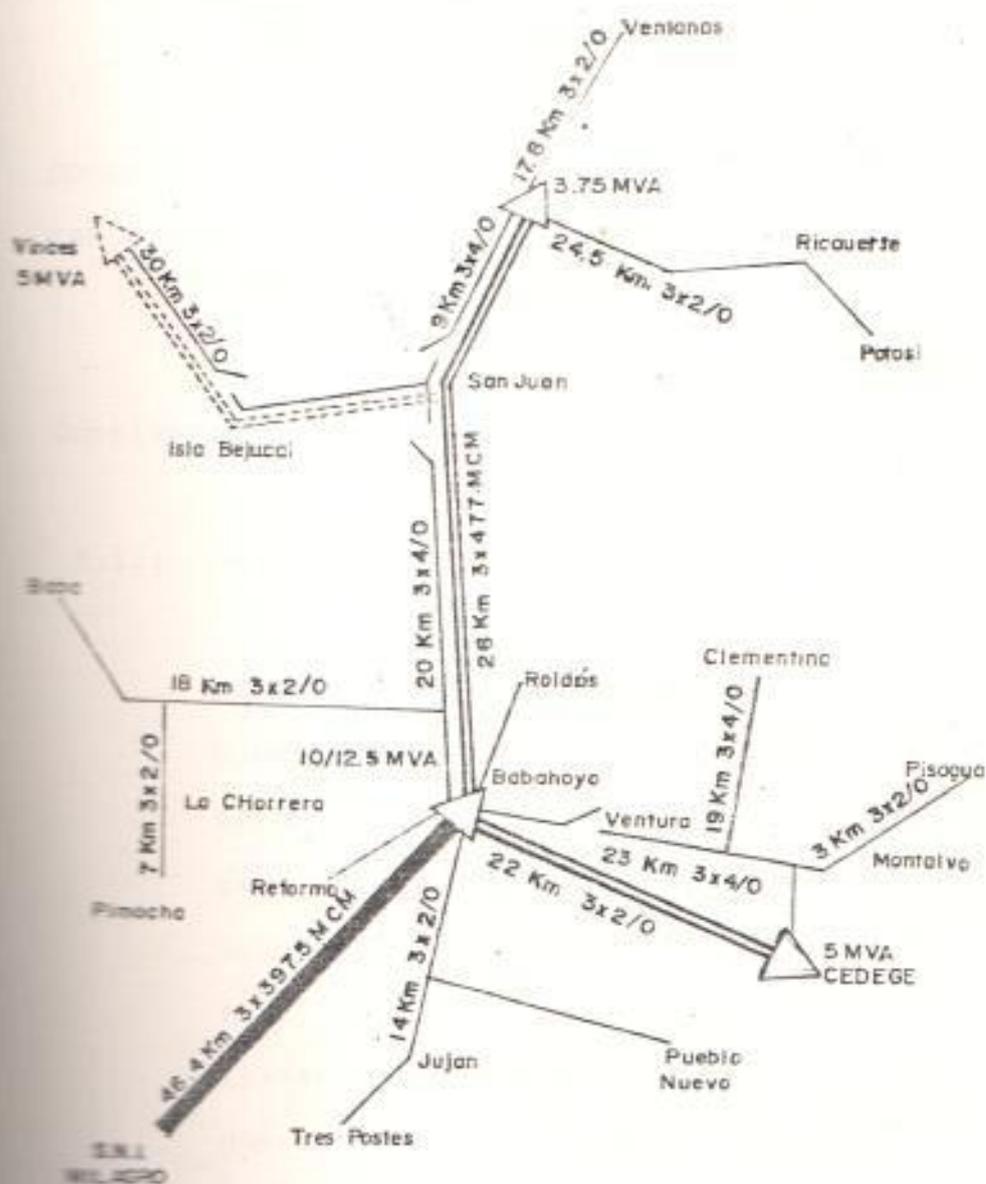
### 3.3 Modificaciones a corto plazo.

De acuerdo al crecimiento de la demanda que se tendrá para 1990 y en vista de que las subestaciones que se encuentran en operación no pueden satisfacer dicha demanda, EMELRIOS e INECEL realizaron un estudio de expansión del sistema a corto

plazo en base a análisis de costo y operación, determinándose que, el Area de Vinces sea servida a 69 KV desde la subestación de seccionamiento en San Juan, el cual involucra las siguientes obras.

AÑO	OBRAS
1990	- S/E de seccionamiento en San Juan - S/E 69/13.8 KV, 5/6.25 MVA en Vinces - Línea San Juan - Vinces a 69 KV, 2/0, 29.5 Km.

Debido a que esta nueva subestación permite la disminución en longitud de la alimentadora San Juan - Vinces con la consiguiente disminución de carga, se observa la necesidad de realizar un estudio de alternativas de operación, con la finalidad de determinar la configuración óptima del sistema de distribución con las cuatro subestaciones en servicio (la configuración a corto plazo del Sistema Eléctrico de Los Ríos se muestra en la fig. 2.3. ). Luego de determinarse la configuración óptima del sistema se realizará la ubicación de equipos de control de voltaje (capacitores y/o reguladores) para tener una mejor regulación de tensión y de esta forma brindar un buen servicio a nivel de abonado.



## LEYENDA



LINEA A 138 KV CONSTRUIDA



\*LINEA A 69 KV CONSTRUIDA



LINEA A 38 KV



SUBESTACION



SUBESTACION PROYECTADA



LINEA A 69 KV PROYECTADA

PROYECTO DE COMPENSACION A CORTO PLAZO DEL SISTEMA LOS RIOS

## CAPITULO III

### CONSIDERACIONES TECNICAS Y ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA PREVIO A LA INSTALACION DE EQUIPOS DE CONTROL DE VOLTAJE

#### 3.1 Consideraciones técnicas.

##### 3.1.1 Configuración

La configuración considerada incluye cuatro Subestaciones de Distribución, todos trabajando con el tap en la posición de máxima ganancia de voltaje (5) y seis reguladores automáticos, ubicados como se muestra en la fig. 3.1. Los valores de impedancias de líneas y transformadores fueron suministrados por personal técnico de EMELRIDOS. El punto de energía es la barra de 69 KV de la S/E Milagro SNI.

Los transformadores Chorrera, Cedegé y Vines tienen como relación nominal de voltajes los valores de 69/13.8 KV, el transformador Pueblo Viejo, 67/13.2 KV.

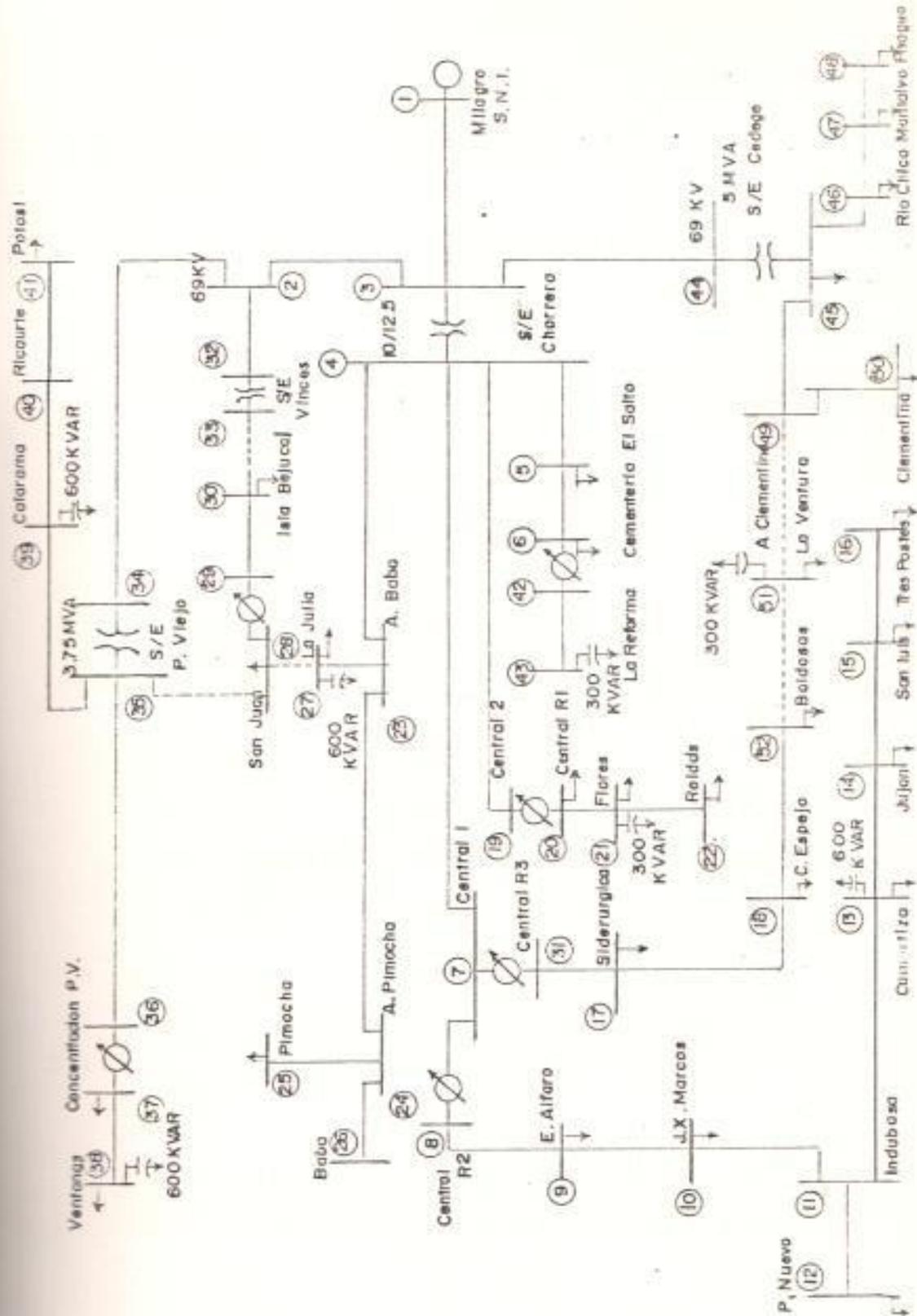


Fig. 3.1 CONFIGURACIÓN CON LA S/E VINCES EN OPERACION

En la configuración se han considerado también la existencia de 7 bancos fijos de capacitores, ubicados en las siguientes barras :

Ventanas	600 KVAR
Reforma	300 KVAR
Ventura	300 KVAR
Flores	300 KVAR
Camartiza	600 KVAR
La Julia	600 KVAR
Catarama	600 KVAR

No se considera el banco de 600 KVAR de Vinces, debido a que el control del voltaje se lo realiza a través del tap de la S/E instalada en Vinces, quedando de esta manera disponible para su respectiva reubicación en las barras que tengan mayor problemas de voltaje.

### 3.1.2 Cargas esperadas.

Conforme indicaciones de personal técnico de EMELRIOS, la carga del sistema se espera a que llegue a un valor de (19.735 MW), repartidos como se encuentran en la tabla IV. Las cargas de mayor importancia que se han considerado son:

TABLA IV

CARGAS ESPERADAS EN LAS BARRAS DEL SISTEMA EMELRIDOS  
PARA EL AÑO DE 1990

BARRAS	DEMANDA MAXIMA		DEMANDA MINIMA	
	KW	KVAR	KW	KVAR
CEMENTERIO	160	80	63	30
ELOY ALFARO	530	220	212	108
J.X. MARCOS	290	120	128	60
INDUBASA	1590	750	1470	650
PUEBLO NUEVO	180	80	72	35
CAMARTIZA	375	160	225	108
JUJAN	400	160	190	95
SAN LUIS	90	40	34	20
TRES POSTES	110	50	44	20
SIDERURGICA	380	180	166	80
C. ESPEJO	300	140	133	65
CENTRAL	520	220	232	148
FLORES	1060	490	457	222
ROLDOS	330	130	140	70
PIMOCHA	80	40	30	15
BABA	190	100	75	36
LA JULIA	200	90	102	50
SAN JUAN	230	110	100	45
ISLA BEJUCAL	390	170	155	75
VINCES	1330	670	458	225
PUEBLO VIEJO	245	150	96	45
CONCENTRACION	370	190	140	70
VENTANAS	1720	840	430	215
CATARAMA	490	250	114	50
ERICAUARTE	280	130	120	60
POTOSI	110	80	40	20
REFORMA	3010	1530	2800	950
DEL SALTO	80	40	32	15
DEDEGE	2370	1140	126	60
FRIO CHICO	75	40	30	15
MONTALVO	405	180	170	85
PISAGUA	180	80	72	35
OLEMENTINA	515	230	206	100
VENTURA	790	330	300	140
BALDOSAS	320	150	133	65
TOTAL	19735	9360	9300	4082

La Reforma	3.01 MW
Ventanas	1.72 MW
Vinces	1.33 MW
Cedegé	2.37 MW
Clementina	0.51 MW
Ventura	0.79 MW
Catarama	0.49 MW
Indubasa	1.59 MW

La tabla IV muestra la demanda activa y reactiva de todas las barras del sistema, tanto a máxima como a mínima demanda.

### 3.1.3. Voltajes en barra de entrega del SNI.

Según de datos de nivel de voltajes, indicados por personal de EMELRIOS, se estima que los valores de voltajes de la barra Milagro/SNI/69 KV son los siguientes:

A demanda máxima: 1.01 p.u.

A demanda mínima: 1.01 p.u.

Estos valores han sido considerado para el presente estudio.

### 3.2 Estudio de flujo de carga previo a la instalación de equipos de control de voltaje.

#### 3.2.1. Alternativas planteadas.

##### Alimentación a San Juan e Isla Bejucal:

Puede ser efectuada de tres maneras, desde Pueblo Viejo (alimentador Pueblo Viejo-San Juan), desde La Chorrera abriendo el alimentador Pueblo Viejo-San Juan y conectando la alimentadora Chorrera - La Julia - San Juan - Isla Bejucal, ó desde Vinces abriendo las alimentadoras respectivas de Pueblo Viejo-San Juan y La Julia-San Juan, y conectando el alimentador Vinces-Isla Bejucal.

##### Alimentación a Ventura:

Desde la S/E Chorrera a través del alimentador Chorrera - Central 1 - Baldosas - Ventura, ó desde la S/E Cedegé abriendo el tramo Baldosas - Ventura y conectando el alimentador Clementina-Ventura.

Este estudio se realizará a demanda máxima y se analizará la combinación de estas posibilidades de alimentación, obteniéndose 6 alternativas.

### 3.2.2. Resultados y observaciones.

Un resumen de los resultados se muestran en la tabla V. Se nota que la alternativa que representa menores pérdidas (1991 KW) es la segunda, alimentando Isla Bejucal desde la Chorrera y Ventura desde Cedegé. La segunda mejor alternativa, con pérdidas de (2008 KW), es la número 6, alimentando San Juan desde Vincés y Ventura desde Cedegé, la tercera mejor alternativa, con pérdidas de (2031 KW) es la primera; sin embargo; la alternativa 1 presenta una gran sobrecarga en la S/E Chorrera, cuya carga nominal es de 12.5 MVA, soportando en esta configuración 13.22 MVA.

Las alternativas 3 y 5, que alimentan Ventura desde la S/E Chorrera producen mayores pérdidas, lo mismo sucede con la alternativa cuatro, que alimenta Ventura desde Cedegé, por lo que no son recomendables.

TABLA V

CONDICIONES ALTERNATIVAS DE OPERACION DEL SISTEMA LOS RIOS EN DEMANDA MAXIMA

SAN JUAN-ISLA BEJUCAL DESDE :		CHORRERA		PUEBLO VIEJO		VINCES		
VENTURA		DESDE	CHORRERA	CEDEGE	CHORRERA	CEDEGE	CHORRERA	CEDEGE
		(ALT. 1)	(ALT. 2)	(ALT. 3)	(ALT. 4)	(ALT. 5)	(ALT. 6)	(ALT. 6)
PERDIDAS	( KW )	2031	1991	2072	2033	2046	2008	
CHORRERA	69	0.929	0.930	0.929	0.929	0.930	0.930	
CHORRERA	13.8	0.954	0.956	0.955	0.957	0.956	0.958	
SAN JUAN	69	0.925	0.925	0.923	0.923	0.924	0.925	
SAN JUAN	13	0.916	0.918	0.896	0.896	0.898	0.899	
VINCES	69	0.918	0.918	0.916	0.916	0.913	0.914	
VINCES	13.8	0.956	0.956	0.954	0.954	0.946	0.946	
INDESA		0.915	0.926	0.917	0.928	0.918	0.929	
TRES POSTES		0.890	0.901	0.891	0.903	0.893	0.904	
VENTURA		0.957	0.892	0.959	0.891	0.960	0.892	
INDESA		0.901	0.895	0.900	0.894	0.902	0.896	
INDESA		0.897	0.897	0.880	0.880	0.896	0.896	
INDESA		0.881	0.882	0.858	0.859	0.880	0.881	
INDESA		0.928	0.930	0.935	0.937	0.936	0.938	
INDESA		0.977	0.980	0.955	0.955	0.892	0.893	
PUEBLO VIEJO	69	0.907	0.907	0.900	0.901	0.906	0.906	
PUEBLO VIEJO	13.8	0.930	0.931	0.914	0.915	0.929	0.906	
INDESA	69	0.914	0.912	0.914	0.911	0.915	0.912	
INDESA	13.8	0.934	0.929	0.934	0.928	0.935	0.929	

CARRA S/E (MVA)						
CHORRERA	13.22	12.32	12.49	11.58	12.48	11.58
VONCES	1.48	1.48	1.48	1.48	2.21	2.21
PUEBLO VIEJO	3.68	3.68	4.41	4.41	3.68	3.68
CEBEGE	3.96	4.76	3.96	4.76	3.96	4.76
TAP REGULADORES						
ALM. JUAN	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
ALM. BALDOSAS	1.095	1.095	1.095	1.095	1.095	1.065
REFORMA	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090
ALM. VENTANAS	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
TAN JUAN / REG	1.090	1.090	1.090	1.090	0.978	0.978
ALM. ROLDOS	1.067	1.067	1.067	1.067	1.067	1.067

BAJO VOLTAJE

En lo que se refiere a nivel de voltaje, la que presenta ligera mejoría es la alternativa de conectar Isla Bejucal desde Chorrera y Ventura desde Cedegé; sin embargo, en esta no dejan de existir niveles significativamente bajos de voltaje en Ventura, Potosí, Pisagua, Ventanas y Clementina.

Se observa que el regulador en la alimentadora Pueblo Viejo - Ventanas no eleva mayormente el voltaje por recibir un bajo nivel en su primario (0.85).

### 3.2.3. Reubicación del regulador para reducción de pérdidas y mejoramiento de voltaje.

Según las observaciones realizadas hasta aquí, la recomendación es la de alimentar Isla Bejucal desde la Chorrera y Ventura desde Cedegé. Sin embargo el hecho de que el regulador de Ventanas no esté siendo bien aprovechado en su potencial, permite reubicar dicho regulador como sigue:

Regulador de Ventanas: Ubicarlo en el arranque del alimentador Pueblo Viejo-Ventanas.

Esta reubicación permitirá elevar el nivel de voltaje en Ventanas.

Con esta recomendación se repitió los flujos de carga para las 6 alternativas y se dieron los resultados resumidos en la tabla VI.

Según estos nuevos resultados, la alternativa de menores pérdidas es la segunda, alimentando Isla Bejucal desde la Chorrera y Ventura desde Cedegé (1939 KW). La alternativa 1, alimentando Isla Bejucal y Ventura desde Chorrera se nota que persiste aún la sobrecarga mencionada en el numeral anterior para la subestación Chorrera y las pérdidas son de (1979 KW) inferior a la anterior.

Las alternativas de mayores pérdidas son las que alimentan Ventura desde la S/E Chorrera.

En lo que se refiere a niveles de voltaje se nota que, la reubicación del regulador de Ventanas permite; ganar en nivel de

TABLA VI

ALTERNATIVAS DE OPERACION DEL SISTEMA LOS RIOS, EN DEMANDA MAXIMA REUBICANDO EL REGULADOR DE VENTANAS

ISLA BEJUCAL DESDE :		CHORRERA		PUEBLO VIEJO		VINCES	
VENTURA	DESDE	CHORRERA (ALT. 1)	CEDEGE (ALT. 2)	CHORRERA (ALT. 3)	CEDEGE (ALT. 4)	CHORRERA (ALT. 5)	CEDEGE (ALT. 6)
		1979	1939	2014	1975	1994	1955
CHORRERA	69	0.930	0.930	0.929 #	0.930	0.930	0.931
CHORRERA	13.8	0.954	0.956	0.956	0.957	0.957	0.958
SAN JUAN	69	0.926 #	0.926 #	0.924 #	0.924 #	0.925 #	0.925 #
SAN JUAN	13	0.917 #	0.919 #	0.899 #	0.899 #	0.899 #	0.899 #
VINCES	69	0.919 #	0.919 #	0.917 #	0.917 #	0.914 #	0.914 #
VINCES	13.8	0.957	0.957	0.955	0.955	0.947	0.947
INDUBASA		0.916 #	0.927 #	0.918 #	0.929 #	0.919 #	0.930
TRES POSTES		0.891 #	0.902 #	0.892 #	0.904 #	0.894 #	0.905
VENTURA		0.958	0.892 #	0.960	0.892 #	0.961	0.893 #
MONTALVO		0.902 #	0.896 #	0.901 #	0.895 #	0.902 #	0.896 #
POTOSI		0.899 #	0.900 #	0.883 #	0.883 #	0.899 #	0.896 #
VENTANAS		0.902 #	0.903 #	0.881 #	0.881 #	0.901 #	0.902 #
SABA		0.929	0.931	0.936	0.938	0.937	0.939
ISLA BEJUCAL		0.978	0.980	0.958	0.959	0.893 #	0.895 #
PUEBLO VIEJO	69	0.908 #	0.908 #	0.902 #	0.902 #	0.907 #	0.908 #
PUEBLO VIEJO	13.8	0.933	0.933	0.917 #	0.918 #	0.932	0.932
CEDEGE	69	0.915 #	0.912 #	0.914 #	0.912 #	0.915 #	0.913 #
CEDEGE	13.8	0.935	0.929	0.934	0.928	0.935	0.929

CARBA S/E (MVA)						
CHORRERA	13.22	12.32	12.48	11.56	12.48	11.56
VINCES	1.50	1.48	1.48	1.48	2.21	2.21
PUEBLO VIEJO	3.71	3.62	4.35	4.35	3.63	3.63
CEDEGE	4.08	4.76	3.96	4.76	3.96	4.76
TAP REGULADORES						
ALIM. JUJAN	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
ALIM. BALDOSAS	1.095	1.095	1.095	1.095	1.095	1.065
REFORMA	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090	1.090
ALIM. VENTANAS	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
SAN JUAN / REG	1.090	1.090	1.090	1.090	0.978	0.978
ALIM. ROLDOS	1.067	1.067	1.067	1.067	1.067	1.067

\* INDICA BAJO VOLTAJE

Ventanas 2.10 % y mejorar los niveles en las cargas que se encuentran entre la S/E Pueblo Viejo y Ventanas.

Otra reubicación sería la del regulador de la alimentadora a Baldosa, ubicándolo este en cascada con el regulador de la alimentadora a Tres Postes, pero según observaciones del análisis de flujo se nota mejoría en nivel de voltaje en dicha alimentadora, pero sin embargo las pérdidas quedan aumentadas en el Sistema (1952 KW), además se tienen niveles bajos de voltajes en las barras de Espejo y Baldosas por cuanto el voltaje en el punto de recepción en Central 1 es bajo (0.90). Por consiguiente no se considera dicha reubicación.

#### 3.2.4 Recomendaciones para configuración del Sistema sin incluir equipos de control de voltaje.

Según el análisis realizado, se nota que, la alternativa que en general representa mejoría en nivel de voltaje es la de alimentar Isla Bejuca! desde la Chorrera y Ventura desde Cedegé. Por consiguiente,

17

tanto por ahorro de Pérdidas como por evitar sobrecargas y mejorar los niveles de voltaje se recomienda energizar Isla Bejucal desde Chorrera y Ventura desde Cedegé, reubicando el regulador de Ventanas en la forma anteriormente indicada.

Un hecho que en verdad llama la atención y que es importante mencionar del análisis detallado de los flujos, es que las pérdidas en la línea Milagro -Chorrera de 69 KV, son de 900 KW en demanda máxima, lo que representa cerca del 46 % del total de pérdidas de potencia activa, con una caída de voltaje de 7.9 %, niveles que son significativos en la evaluación total de pérdidas y caída de tensión.

Considerese que al energizar esta línea a 138 KV las pérdidas se reducirán a la quinta parte y la caída de voltaje a la mitad aproximadamente, lo que significan alrededor de 720 KW menos de pérdidas de potencia, y alrededor de 160000 KW-H mensuales menos de energía.

## CAPITULO IV

### UBICACION DE EQUIPOS DE CONTROL DE VOLTAJE

#### 4.1 General.

Se ha observado que, aún optimizando las configuraciones del Sistema y adoptando la recomendación de conectar Isla Bejucal desde Chorrera y Ventura desde Cedegé, persiste la existencia de barras con bajos voltajes, por lo que se tendrá como alcance el de corregir estos bajos voltajes utilizando bancos de capacitores y/o reguladores de voltaje.

En el presente trabajo se planteará la corrección de los bajos voltajes mediante la ubicación de estos equipos, por consiguiente tendremos tres alternativas :

- 1.- Ubicando Capacitores.
- 2.- Ubicando Reguladores.
- 3.- Ubicando Capacitores y Reguladores.

La alternativa ha escogerse, según el análisis tendrá que ser la más óptima desde el punto de

vista de mejoramiento de voltaje, reducción de pérdidas y económico.

## 4.2 Ubicación de Capacitores.

### 4.2.1 Disponibilidad de equipos.

Como equipo disponible tenemos un banco de Capacitor de 600 KVAR y 13.2 KV de voltaje nominal sin equipo de desconexión perteneciente a la barra de Vinces que salió de servicio debido a la operación de la Subestación Vinces.

### 4.2.2 Definición de Voltajes mínimos.

Para garantizar de alguna manera un voltaje apropiado a los usuarios en el secundario a demanda máxima, se tratará de lograr como mínimo lo siguiente :

Tres Postes	0.90
Baba	0.92
Potosi	0.92
Clementina	0.90
Otras barras	0.93

Para evitar sobrevoltajes, si esta ubicación resulta, se correrán flujos de carga en demanda mínima para poder observar si

es posible operar con bancos fijos o si se hace necesaria la adquisición de equipos de desconexión.

#### 4.2.3 Aplicación de un Programa de Ubicación Óptima de Capacitores.

Para el presente trabajo se utiliza como herramienta un programa de ubicación óptima de capacitores para mejorar el voltaje por el método de Programación Dinámica, este programa ubica los bancos de capacitores estáticos en las barras de carga, de tal forma que cada uno de ellos eleve su voltaje por un sobre mínimo predeterminado, y además que la cantidad total de KVAR instalados sea mínima.

$$V_i \geq V_{\min i} \quad i = \text{barras de carga}$$

$$\sum_i Q_i = \text{mínimo}$$

Esos valores de capacitancia están sujetos a respetar las siguientes restricciones :

1. Para cada barra de carga, su voltaje deberá permanecer bajo un nivel máximo permitido.

$$V_i = V_{\max i}$$

47

2. Para cada barra de carga, la cantidad de capacitancia instalada deberá ser menor o igual a un valor máximo permitido

$$Q_i \leq Q_{\max i}$$

3. Para el sistema, la cantidad de capacitancia instalada deberá ser menor o igual a un valor máximo.

$$\sum_i Q_i \leq Q_{\max \text{ sis}}$$

4. Para evitar excesivos sobrevoltajes en la conexión del banco la capacitancia instalada en cada barra no excederá aquel valor que eleve el voltaje de la misma en un 4.5 % del valor inicial.

$$V_i \leq 0.045 V_{oi}$$

5. En cada barra de carga no se compensará más allá del 100 % de su carga reactiva (factor de potencia siempre atrasado).

$$Q_i \leq Q_i$$

Esta última restricción es opcional.

El estudio se efectuó considerando dos posi-

bilidades en cuanto al tamaño de los bancos de capacitores de 300 KVAR y 600 KVAR, con un criterio de ubicar reactivo para corregir los bajos voltajes.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Barra recomendada para conexión capacitores.	bancos de 300 KVAR	bancos de 600 KVAR
-----	-----	-----
Montalvo	2 bcos. (600 KVAR)	1 bco. (600 KVAR)
Potosí	1 bco. (300 KVAR)	1 bco. (600 KVAR)
Ventura	1 bco. (300 KVAR)	1 bco. (600 KVAR)
Juján	1 bco. (300 KVAR)	
Catarama	1 bco. (300 KVAR)	
	-----	-----
	6 bcos. (1800 KVAR)	3 bcos. (1800 KVAR)

Se observa que con la conexión de bancos de 300 KVAR se logra corregir todos los voltajes a valores sobre el mínimo impuesto, y además se reducen pérdidas de 1939 KW a 1779 KW (160 KW) y de 1939 KW a 1818 KW (121 KW) en el caso de bancos de 600 KVAR.

#### 4.2.4 Reubicación del Capacitor para mejoramiento de voltaje y reducción de pérdidas.

De acuerdo a los resultados obtenidos del Programa de ubicación óptima, se nota que ubicando bancos de 300 KVAR se obtienen una reducción de pérdidas de (160 KW) y se necesitan 2 bancos de 300 KVAR y un banco de 600 KVAR adicionales. Si se adoptara esta ubicación, estos bancos y el disponible se repartirían en la forma siguiente:

Montalvo	1 bco	(600 KVAR)
Ventura	1 bco	(600 KVAR)
Potosí	1 bco	(300 KVAR)
Jujan	1 bco	(300 KVAR)
Catarama	1 bco	(300 KVAR)

Siendo posible su conexión si retiramos el banco de 300 KVAR de La Ventura e instalamos uno de 600 KVAR.

El banco retirado de La Ventura se traslada a la barra de Potosí.

En la segunda posibilidad ubicando bancos de 600 KVAR la reducción de pérdidas obtenidas es de (121 KW) y se observan que se necesitan 2 bancos de 600 KVAR adicionales, estos bancos y el disponible se los repartirían en

la forma siguiente:

Montalvo 1 bco (600 KVAR)  
 Potosi 1 bco (600 KVAR)  
 Ventura 1 bco (600 KVAR) adicionales

Según las observaciones obtenidas en las dos posibilidades, vemos que la mejor posibilidad es la primera por la reducción de pérdidas que se logran en esta, sin embargo se realizó la posibilidad de reubicar los bancos de capacitores existentes en las diferentes barras, con el objeto de optimizar la operación del Sistema. Luego de un estudio detallado de reubicación se determinó que, si retiramos el banco de 300 KVAR de La Reforma e instalamos un banco de 600 KVAR en dicha barra lograremos ventajas tanto en pérdida y niveles de voltaje cuando ubiquemos bancos de capacitores a través del programa de ubicación óptima. Según los resultados de esta nueva corrida los bancos ubicados en las diferentes barras serían :

Montalvo 1 bco (600 KVAR)  
 Potosi 1 bco (300 KVAR)  
 Ventura 1 bco (300 KVAR) adicionales

Siendo posible esta instalación si retiramos

el banco de 300 KVAR de La Ventura e instalamos un banco de 600 KVAR.

Los bancos de 300 KVAR retirados de La Ventura y La Reforma se trasladarían a las barras de Potosí y Juján respectivamente.

Notese que para esta posibilidad se necesitan 2 bancos de 600 KVAR adicionales.

Luego realizando un estudio de flujo de carga con todos los bancos instalados bajo estas consideraciones, se determinan que las pérdidas quedan en un valor de (1757 KW) presentando un buen nivel de voltaje sobre el mínimo en todas las barras como se puede apreciar:

Barras	Voltaje
Chorrera	0.973
Pisagua	0.947
Vinces	0.971
Catarama	0.943
Cedege 13	0.958
Perdidas (KW)	1757

## Ubicación de Reguladores.

En esta alternativa se considero varias posibilidades de ubicación de Reguladores en distintas alimentadoras. con un criterio de corregir los niveles bajos de voltaje: según este análisis de ubicación de reguladores se pudo observar que desde el punto de vista de reducción de perdidas y mejoramiento de voltaje se obtienen dos posibilidades de ubicación óptima, las cuales son las siguientes:

### Ubicación a.

Un banco en la alimentadora a Potosí en la barra (39) de Catarama y otro en la alimentadora a Pisagua en la barra (47) de Montalvo.

### Ubicación b.

Un banco de regulador adicional a los anteriores, pero ubicado en cascada con el regulador que alimenta a tres postes, en la barra (11) de Indubasa.

Luego de realizarse esta instalación, los resultados de niveles de voltaje y perdidas del

Sistema son los siguientes :

Barras	Ubicación a	Ubicación b
FOTOS:	0.98	1.00
VENTANAS	0.91 *	0.92 *
S. BEJUCAL	0.99	0.99
TRES POSTES	0.91	1.02
PISAGUA	0.98	0.99
REFORMA	0.97	0.98
VENTURA	0.89 *	0.90 *
S. JUAN	0.92 *	0.93
PERDIDAS (KW)	1882	1858

\* Indica Bajo Voltaje.

Se nota que la ubicación de Reguladores corrigen los niveles de voltaje en las diferentes barras de la alimentadora hasta valores casi unitarios donde ellos son instalados, sin embargo las barras de las otras alimentadoras donde no son ubicados estos equipos no hay mejoras en el nivel de voltaje.

Las pérdidas del Sistema al ubicarse reguladores se observa que disminuyen, así tenemos que para la ubicación (a) las pérdidas se reducen de 1939 KW a 1882 KW (57 KW) y de 1939 KW a 1858 KW (81 KW) para la ubicación (b).

Por consiguiente se puede observar que la ubicación (b), ubicando un regulador en cascada con el regulador que alimenta a Tres Postes adicionalmen-

ta a los dos reguladores ubicados en las barras de Montalvo y Catarama, desde el punto de vista de reducción de pérdidas y mejoramiento en el nivel del voltaje representa ser la mejor, sin embargo se nota que no dejan de existir niveles bajos en las barras de Ventanas y Ventura.

Por lo tanto al escogerse esta ubicación para esta alternativa, notamos que se necesitan tres bancos de reguladores.

#### Ubicación de Capacitores y Reguladores.

Para la ubicación de Capacitores y reguladores, se procedió de la siguiente manera, se ubican primeramente los reguladores en la alimentadora que tengan mayor problemas de voltaje y luego se ubican los bancos de capacitores a través del programa de ubicación óptima.

Para esta alternativa, en la ubicación de los reguladores utilizamos las mismas posibilidades de ubicación óptima de la alternativa anterior, según esta ubicación y ubicando capacitores optimamente en el Sistema se tendrán los siguientes resultados de ubicación, niveles de voltaje y pérdidas.

	(a)	(b)
Barras recomendada para conexión de Capacitores	Reguladores en Catarama y Mon - VC	Reguladores en Montalvo Indubase y Catarama
JUCAL	300 KVAR	300 KVAR
VENTANAS	300 KVAR	600 KVAR
VENTURA	600 KVAR	
Barras	Ubicación a	Ubicación b
POTOSI	1.01	1.02
VENTANAS	0.96	0.95
L. SEJUCAL	1.01	1.00
TRES POSTES	0.94	1.02
REFORMA	0.99	0.98
VENTURA	0.95	0.94
SAN JUAN	0.94	0.93
Pérdidas (KW)	1750	1770

Se observa que para la ubicación (a), ubicando un regulador en Catarama y otro regulador en Montalvo, se logra corregir todos los voltajes a valores sobre el mínimo y además se reducen las pérdidas de 1939 KW a 1750 KW (189 KW) y de 1939 KW a 1770 KW (169 KW) para la ubicación (b).

En la comparación de estas dos alternativas podemos establecer que, desde el punto de vista de reducción de pérdidas, mejoramiento de voltaje y de requerimientos de equipos de control de voltaje se

86

nota que la ubicación (a), ubicando bancos de Capacitores en Juján (300 KVAR), en Ventanas (300 KVAR) y Ventura (600 KVAR) y los reguladores mencionados, resulta ser la mejor, necesitandose 2 bancos de 300 KVAR, 1 banco de 600 KVAR (disponible) y de 2 bancos de reguladores adicionales.

Cabe indicar que, según los resultados de las alternativas de ubicación, la tercera alternativa es la que nos proporciona un mejor nivel de voltaje y menor reducción de pérdidas en demanda máxima como podemos apreciar al compararlos con las otras dos alternativas en el cuadro siguiente:

ALTERNATIVA	(1)	(2)	(3)
<u>BARRAS</u>			
Pimocha	0.95	0.94	0.95
I. Bejucal	1.01	0.99	1.01
Vinces	0.97	0.96	0.97
Potosí	0.94	0.99	1.01
Pisagua	0.94	0.99	1.01
Catarama	0.94	1.01	1.02
Cedege	0.95	0.91	0.95
Ventanas	0.94	0.92	0.96
PERDIDAS (KW)	1757	1858	1750

Sin embargo en la alternativa tres se utilizan la mayor cantidad de equipos de control de voltaje, por consiguiente para establecer la mejor alterna-

tiva debemos analizar según el aspecto económico de cada una de ellas tanto en beneficios y costos de inversión, para establecer con exactitud cual es la mas conveniente para la empresa, análisis que veremos en el subcapitulo siguiente.

#### Breves Aspectos Económicos.

##### 4.5.1. Análisis de Beneficios y costos de inversión.

Según los resultados obtenidos de la ubicación de equipos de control de voltaje, mencionaremos la cantidad de equipos que se necesitan en cada alternativa, por lo tanto tendremos lo siguiente:

Alternativa 1 (Ubicando Capacitores).

2 Bancos de Capacitores de 600 KVAR.

Alternativa 2 (Ubicando Reguladores).

3 Bancos de Reguladores.

Alternativa 3 (Ubicando Capacitores y Reguladores).

2 Bancos de Capacitores de 300 KVAR

2 Bancos de Reguladores.

Luego para cada alternativa de ubicación de equipos de control de voltaje, se calculan los beneficios anuales y se asume un gasto anual total de operación y mantenimiento de los equipos de control de voltaje que se instalen.

De costos de importación de EMELGUR se tiene la siguiente información:

Banco de 300 KVAR fijos a \$ 1512 US dólares (FOB).

Banco de 600 KVAR fijos a \$ 2212 US dólares (FOB).

Banco de Regulador de 100 Amp a \$ 6804 US dólares (FOB).

Donde FOB quiere decir precio libre a bordo (Siglas en Inglés de Free on Board), es decir que esto es el costo de los bancos comprados en la misma casa de vendedores.

El costo de los equipos en Guayaquil se lo ha tomado 1.73 veces el (FOB) que a un cambio de 520\* sucres por dolar, se obtiene

los siguientes costos :

Costos de Alternativa 1 (Ubicando Capacitores)

2 X 600 KVAR (1200 KVAR) fijos:

$$3'979830 + 15 \% = S/. 4'576804$$

Costo de Alternativa 2 (Ubicando Reguladores)

3 Bancos de Reguladores:

$$18'362635 + 15 \% = S/. 21'117030$$

Costo de Alternativa 3 (Ubicando Cap. y Reg.)

2 X 300 KVAR (600 KVAR) fijos:

$$2'720390 + 15 \% = S/. 3'128448$$

2 Bancos de Reguladores:

$$12'241756 + 15 \% = S/. 14'078070$$

$$\text{Total } S/. 17'206468$$

Al costo de los equipos se le ha sumado el 15 % de su costo por gastos de montaje dando un nuevo costo.

Dentro de los gastos se asumen gastos de

Se consideró como beneficio para el sector Eléctrico global, el costo de reducción de pérdidas promedio de Energía. Para el cálculo del costo de ahorro de Energía consideramos el promedio de venta de Energía de 7 S/./KWH.

De los resultados de la tabla VII tendremos los beneficios siguientes de cada alternativa :

	Beneficios (S/.)
Alternativa 1	6'223980
Alternativa 2	2'728740
Alternativa 3	6'009360

Luego de obtenerse estos datos se procede al análisis económico, mediante el cual se determina la alternativa que ofrezca el mayor Valor Actual Neto (VAN) positivo, ya que según el criterio del VAN dice que :  
 "Si el Valor Actual Neto de una inversión es positiva, la inversión debe aceptarse y rechazarse si es negativa".

Donde el VAN de una inversión es igual a la suma algebraica de los valores actualizados

COMPARACION DE PERDIDAS EN LAS ALTERNATIVAS

	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
	DEM. MAXIMA	DEM. MINIMA	DEM. MAXIMA	DEM. MINIMA	DEM. MAXIMA	DEM. MINIMA
	Sin Conec.	Sin Conec.	Sin Conec.	Sin Conec.	Sin Conec.	Sin Conec.
	Conec.	Conec.	Conec.	Conec.	Conec.	Conec.
PERDIDAS (KW)	1939	453	1939	432	1939	453
DISMINUCION DE PERDIDAS (KW)	182	21	81	8	189	7
PERDIDAS PROMEDIO (KW)	101.5		44.5		98	
DISMINUCION DE PERDIDAS DE ENERGIA (KWH)	689140		389820		858480	
AHORRO DE ENERGIA (S/.)	6'223980		2'728740		6'069360	

92

de los Flujos Netos de Caja (FNC) asociado a esa inversión; es decir :

$$VAN_n = \sum_{k=0}^n \frac{FNCK}{(1+r)^k}$$

$$= \frac{FNC \text{ año } 0}{(1+r)^0} + \frac{FNC \text{ año } 1}{(1+r)^1} + \dots + \frac{FNC \text{ año } n}{(1+r)^n}$$

Donde FNCK es el Flujo Neto de Caja del año k y r es la tasa de actualización, el valor del FNCK lo hallamos de acuerdo al siguiente procedimiento:

$$\text{Utilidades de Operación} = \text{Beneficios} - \text{Gastos}$$

$$FNC = \text{Utilidades de Operación} - \text{Inversión}$$

finalmente en este estudio tenemos para cada año :

$$FNC = \text{Beneficios} - \text{Gastos} - \text{Inversión}$$

El FNC para un periodo de 25 años, asumiendo que durante este periodo de vida útil estimado para los Bancos de Capacitores y Reguladores, el Sistema permanece estatico.

Con el FNC se calcula el Valor Actual Neto

(VAN): para cada alternativa, asumiendo tasas del 30, 40 y 50 %, para nuestro estudio hallamos el VAN de cada alternativa para el periodo considerado con los valores de las tablas VIII, IX y X respectivamente. Los resultados obtenidos son los siguientes:

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

(Miles de S/.)

Tasa	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
30	15988.050	- 14494.281	1737.653
40	10865.283	- 16143.998	- 2981.375
50	7779.131	- 17136.555	- 5824.314

Comparando estos resultados se aprecia que el VAN positivo ocurre para la alternativa 1 para todas las tasas asumidas, esta ocurrencia es debido a que en esta alternativa se obtiene el mayor beneficio anual, también tiene menor costo de inversión inicial, y menor costo de operación y mantenimiento anual, todo esto incide en la ocurrencia de un VAN positivo.

Adicionalmente se determina la alternativa que ofrezca la mayor tasa interna de retorno TIR, ya que a mayor TIR recupere más rápido el capital invertido hallamos el

TABLA VIII

## FLUJO DE FONDOS NETO, ALTERNATIVA 1

MES	GASTOS	BENEFICIOS	20%	40%	50%
			BEN.NETO(ACT.)	BEN.NETO(ACT.)	BEN.NETO(ACT.)
0	-4576804	0	-4576804	-4576804	-4576804
1	47568	6223980	4752471	4413009	4118818
2	47568	6223980	3685747	3182142	2745872
3	47568	6223980	2812113	2251535	1830581
4	47568	6223980	2163164	1608205	1220786
5	47568	6223980	1663972	1148742	813592
6	47568	6223980	1279379	826530	582794
7	47568	6223980	934599	586693	361596
8	47568	6223980	737364	418638	241084
9	47568	6223980	592603	299027	160765
10	47568	6223980	448156	213591	107140
11	47568	6223980	344735	153565	71426
12	47568	6223980	265181	108975	47618
13	47568	6223980	203985	77839	31745
14	47568	6223980	156912	55599	21163
15	47568	6223980	120701	39714	14109
16	47568	6223980	92847	28367	9406
17	47568	6223980	71401	20362	6271
18	47568	6223980	54939	14473	4180
19	47568	6223980	42261	10338	2787
20	47568	6223980	32509	7384	1858
21	47568	6223980	25006	5274	1339
22	47568	6223980	19076	3767	926
23	47568	6223980	14797	2691	581
24	47568	6223980	11282	1922	367
25	47568	6223980	8755	1373	248
TOTAL ACTUAL NETO (MILES \$/.)			15962.05	10962.28	3399.175



TABLA 1

## FLUJO DE FONDOS NETO, ALTERNATIVA 2

AÑO	GASTOS	BENEFICIOS	30 %	40 %	50 %
			BEN.NETO.ACT.	BEN.NETO.ACT.	BEN.NETO.ACT.
0	-17206468	0	-17206468	-17206468	-17206468
1	318058	6004360	4201994	3901759	3641841
2	318058	6004360	3332226	2786970	2427761
3	318058	6004360	2486328	1990693	1619507
4	318058	6004360	1612560	1421924	1079005
5	318058	6004360	1471200	1015660	719333
6	318058	6004360	1131692	725471	479558
7	318058	6004360	670532	518194	319705
8	318058	6004360	669640	370138	217137
9	318058	6004360	515108	264385	142061
10	318058	6004360	396237	168846	94727
11	318058	6004360	304798	134890	67182
12	318058	6004360	234460	96350	42101
13	318058	6004360	180354	68821	29067
14	318058	6004360	138754	49156	18712
15	318058	6004360	106718	35177	12474
16	318058	6004360	82051	25081	9316
17	318058	6004360	67147	17915	5544
18	318058	6004360	48874	12796	3696
19	318058	6004360	37365	9140	2464
20	318058	6004360	25742	6529	1693
21	318058	6004360	22109	4663	1095
22	318058	6004360	17007	3331	750
23	318058	6004360	13683	2379	487
24	318058	6004360	10063	1699	324
25	318058	6004360	7741	1214	216
VALOR ACTUAL NETO (MILES DE \$)			1727.65	-2961.77	-5824.21

valor del TIR tal que en el periodo de estudio (25 años) el VAN sea igual a cero

$$VAN = \frac{FNC_0}{25} + \frac{FNC_1}{(1+TIR)^1} + \dots + \frac{FNC_{25}}{(1+TIR)^{25}} = 0$$

la tasa interna de retorno en ningún caso debe ser menor que la tasa social de descuento que se tome como referencia, que puede ser la más alta tasa de interés bancaria:

$$t > 32\%$$

puesto que de lo contrario el proyecto sería relativamente malo. De los cálculos se obtuvieron los siguientes resultados:

Alternativa	1	2	3
TIR (%)	134.9896	9.42198	33.0765

Observando los resultados del TIR de cada alternativa, se nota que el mayor valor del TIR es para la alternativa 1 y por consiguiente el mayor beneficio se obtiene para esta alternativa.

Finalmente se ha establecido que la alternativa 1, la cual consiste en la ubicación

de Capacitores es la mas conveniente.

#### Ubicación Recomendada.

Luego de observarse la evaluación técnica y económica de las alternativas nos queda recomendar la alternativa (1), la de ubicar bancos de capacitores, puesto que esta nos proporciona una buena calidad de servicio (buen nivel de voltaje) y además rentabilidad para la empresa, debido al menor valor inicial, menor costo de operación y mantenimiento, y mayor beneficio anual. Las otras alternativas tienen mayor costo tanto en inversión inicial como en operación y mantenimiento anual, puesto que para mejorar el servicio se hace necesario una mayor cantidad de estos equipos.

Por ejemplo en la alternativa (2), la de ubicar reguladores se observa que, al ubicar reguladores en las alimentadoras que tienen mayor problema de voltaje no se obtienen mejoras en los niveles de las otras barras del Sistema, ya que en esta alternativa solo se mejoran las barras de las alimentadoras, donde estos reguladores son ubicados. Además es la alternativa en la que menor beneficio económico anual (2 728 740 \$/a) se tienen.

Mientras que en la alternativa (3), la de ubicar reguladores y capacitores, se obtienen un buen nivel de voltaje en las barras pero a cambio de una mayor inversión de los equipos. Por tal razón en estas dos últimas alternativas se obtienen VAN negativos.

Por consiguiente nos queda por último recomendar, la reubicación de los bancos de 300 KVAR de La Reforma y La Ventura a las barras de Potosí y Juján respectivamente, además de la adquisición de 2 bancos de Capacitores de 600 KVAR adicional al banco de 600 KVAR disponible, y ubicarlos en las barras de Montalvo, Ventura y Reforma.

#### 4.7 Estudio a demanda mínima y determinación de equipos de desconexión.

La magnitud del voltaje a nivel de consumidor puede ser corregida mediante el uso adecuado de los taps de los transformadores de distribución. Además, al existir transformadores para voltajes en primario de 13.8 y 13.2 KV., su distribución adecuada será otro elemento que permitirá corregir el voltaje a nivel de usuario. En general, los transformadores de 13.8 KV deberán colocarse en las barras cercanas a la subestación y los de 13.2 KV en las más

alejadas.

El problema de la diferencia excesiva de voltajes entre horas de demanda máxima y mínima es de más difícil solución; en general, se puede considerar conveniente evitar diferencias superiores al 10 %, para lo cual se deberá optar por utilizar capacitores desconectables o reguladores de voltaje.

Adicionalmente, se observa que al tener conectados en demanda mínima un número excesivo de capacitores, se producen mayores pérdidas, por lo que resulta conveniente la desconexión de aquellos capacitores que produzcan este efecto indeseable.

El procedimiento fue el siguiente:

1. Se consideraron inicialmente todos los bancos como fijos, manteniéndose conectados en demanda mínima, para establecer cuáles eran las barras con mayores problemas de sobrevoltajes o de variación excesiva.
2. Se efectuaron diversas corridas de flujo de carga desconectando diferentes bancos de capacitores con el objeto de establecer un orden

de prioridad en cuanto a la ventaja que representa para el sistema al hacerlo desconectables.

Los resultados se encuentran en la tabla XI, donde se presentan cinco casos.

Caso 1. Todos los capacitores fijos: Se puede observar que se producen voltajes superiores a 1.05 p.u. en varias barras; variaciones de voltaje entre demanda máxima y mínima superiores al 10 %, y pérdidas de potencia de 479 KW. El voltaje en Potosí es excesivo así también como la variación de voltaje en Catarama, Pisagua y Ventura.

Caso 2. Desconectando el capacitor de Potosí, se corrige el sobrevoltaje en dicha barra; pero aún persiste variaciones de voltaje superiores al 10 % en las barras mencionadas en el caso anterior. Las pérdidas se reducen de 479 KW a 458 KW.

Caso 3. Al desconectar el capacitor de Montalvo adicionalmente al de Potosí, los voltajes de la mayoría de las barras son inferiores

BARRAS	VOLT. A CAPACITORES		POTOSI		POTOSI-MONTALVO		POTOSI-MONTALVO-POTOSI		POTOSI-MONTALVO-POTOSI-MONTALVO		CATAPAMA		CATAPAMA-VENTURA	
	DEM. MAX.	FIJOS	VOLT. A	VARIACION	VOLT. MIN.	VAR. (%)	VOLT. MIN.	VAR. (%)	VOLT. MIN.	VAR. (%)	VOLT. MIN.	VAR. (%)	VOLT. MIN.	VAR. (%)
CHORRERA 13	0.973	1.054	8.30	1.052	8.10	1.048	7.70	1.044	7.30	1.041	7.00			
TRES PUESTES	0.944	0.952	0.80	0.949	0.50	0.945	0.10	0.941	0.30	0.937	0.70			
EL SALTO	0.952	1.040	8.80	1.038	8.20	1.034	8.20	1.030	7.80	1.026	7.40			
CEDEFE 13	0.958	1.073	11.50	1.071	11.13	1.059	9.70	1.052	9.40	1.037	7.90			
PISAGUA	0.947	1.066	13.90	1.083	13.60	1.042	9.50	1.038	9.10	1.024	7.70			
SAN JUAN 13	0.937	1.050	11.30	1.048	11.10	1.044	10.70	1.040	10.30	1.036	9.90			
VINCES	0.971	1.057	8.60	1.054	8.30	1.051	8.00	1.046	7.50	1.042	7.10			
VENTANAS	0.935	1.028	9.30	1.017	8.20	1.014	7.90	0.993	5.80	0.990	5.50			
POTOSI	0.944	1.109	16.50	1.076	13.20	1.072	12.80	1.038	9.42	1.034	9.00			
VENTURA	0.934	1.081	14.70	1.079	14.50	1.063	12.90	1.059	12.50	1.021	8.70			
CATAPAMA	0.943	1.097	15.40	1.080	13.70	1.076	13.30	1.041	9.80	1.038	9.50			
PERDIDAS (KW)	1757	479		458		445		436		432				

103

al 10 %. excepto en las barras de Ventura, Catarama y San Juan, las pérdidas se reducen a 445 KW.

Caso 4. La desconexión adicional del banco de Catarama determina leves mejoras en los voltajes. Las pérdidas se reducen a 436 KW.

Caso 5. La desconexión adicional del banco en La Ventura si producen beneficios en cuanto a voltaje y pérdidas se refieren, de forma tal que las variaciones de voltajes de todas las barras son inferiores al 10 % y pérdidas reducidas a 432 KW.

Caso 6. Para este último caso, se analizó la contingencia de la salida de la carga de la Reforma en horas de demanda mínima estableciéndose que esta situación, con todos los capacitores conectados, determinarían sobrevoltajes de hasta 10.7 % considerados inaceptables. La desconexión de los bancos de capacitores de Reforma, Potosí y Montalvo reducirían el problema, a pesar de lo cual en algunas barras se tendrían voltajes superiores al 1.05 p.u.

Solamente la desconexión adicional de los bancos de La Julia, Ventura y Catarama eliminarían todos los voltajes superiores a 1.05 p.u.

Considerando inicialmente que los bancos recomendados son fijos, se nota que en demanda mínima existen sobrevoltajes en ciertas barras y grandes variaciones de voltajes entre demandas máxima y mínima, como se puede apreciar a continuación:

BARRA	DEMANDA MINIMA	DEMANDA MAXIMA	VARIACION (p.u.)
Chorrera 13	1.054	0.973	0.081
El Salto	1.040	0.952	0.088
Clementina	1.064	0.921	0.143
Ricaurte	1.098	0.941	0.157
San Juan	1.050	0.937	0.113
Rio Chico	1.077	0.954	0.123
Pueblo Viejo	1.084	0.956	0.128

Estos niveles implican una variación grande de voltaje entre máxima y mínima demanda, especialmente en Clementina y Ricaurte por este motivo, se plantean dos alternativas:

- a) instalar tres equipos de desconexión para los bancos recomendados en Potosí, Montalvo y Catarama;

b) Adquirir adicionalmente a los anteriores un equipo más para desconectar el banco de Ventura.

Los resultados que se obtuvieron en estas condiciones son:

Alternativa a:

Barra	voltaje Dem. Min.	voltaje Dem. Max.	variación (p.u.)
Central	1.023	0.931	0.092
San Juan	1.040	0.937	0.103
Ventanas	0.993	0.935	0.058
Pisague	1.038	0.947	0.091
Ventura	1.059	0.934	0.125

Se puede observar que ningún voltaje sobrepasa el valor de 1.05 p.u., a excepción de La Ventura, donde también ocurre la máxima variación.

Alternativa b:

Barra	Voltaje Dem. Min	Voltaje Dem. Max.	Variación (p.u.)
Central	1.020	0.931	0.089
San Juan	1.035	0.937	0.099
Ventanas	0.99	0.935	0.055
Potosí	1.034	0.944	0.090
Pisague	1.024	0.947	0.077
Ventura	1.021	0.934	0.087

Todos los voltajes son inferiores a 1.04: la maxima variacion se produce en San Juan, con 0.099 p.u. bajo estos factores solo queda recomendar, que se opere con la ubicacion recomendada y bancos desconectables en Potosi, Catarama, Montalvo y Ventura.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como Conclusiones tendremos lo siguiente :

- El Regulador de Voltaje cercano a Ventanas puede ser mejor aprovechado instalándolo al inicio de la alimentadora Pueblo Viejo-Ventanas.
- Desde el punto de vista de reducción de pérdidas, una vez reubicado el regulador de voltaje, resultaría conveniente alimentar Isla Bejucal desde la S/E Pueblo Viejo; pero, debido a la sobrecarga a que estaría sujeto dicho transformador, Isla Bejucal deberá alimentarse desde la subestación La Chorrera.
- La alimentación de la barra Ventura resulta conveniente hacerla desde la S/E Cedege. A partir de este punto hacia Central 1, las demás barras deben alimentarse de la Subestación Chorrera.
- La ubicación de capacitores contribuye a reducir las pérdidas y a solucionar los problemas de voltaje en las diferentes barras a máxima demanda. De acuerdo al análisis realizado en la ubicación de Capacitores se establece el siguiente orden de prioridad en cuanto a los beneficios económicos y de operación aportados al Sistema :

Montalvo	600	KVAR
Potosí	300	KVAR (actualmente en Reforma)
Juján	300	KVAR (actualmente en Ventura)
Ventura	300	KVAR (adicionales)
Reforma	300	KVAR (adicionales)

- En operación normal, bajo condiciones de demanda mínima, se estableció el siguiente orden de prioridad en cuanto a la instalación de equipos de desconexión de capacitores:

- a. POTOSÍ
- b. MONTALVO
- c. CATARAMA
- d. VENTURA

- La salida de la carga de La Reforma en Demanda Mínima, sin tomar medidas de desconexión de bancos de capacitores ocasionaría serios problemas. Se presentan dos opciones, que serían: el exigir a La Reforma el aviso previo para proceder a la desconexión de capacitores normalmente fijos; o, instalar equipos automáticos de desconexión exclusivamente para cubrir esta contingencia en por lo menos 6 bancos de capacitores.

- Las pérdidas de potencia en La línea Milagro - Babahoyo son bastantes elevadas al operar en 69 KV. La caída de voltaje en esta línea es sig. ficet. <a.

Las Recomendaciones serian :

- Reubicar el regulador de voltaje cercano a Ventanas en el inicio de la alimentadora Pueblo Viejo - Ventanas.
- Alimentar Isla Bejuical desde Chorrera y Ventura desde Cedege.
- Adquirir dos bancos de Capacitores de 600 KVAR y con el un banco de 600 KVAR disponible instalarlos en las siguientes barras :

MONTALVO

VENTURA

REFORMA

- Trasladar los bancos de 300 KVAR existentes en Ventura y en Reforma a las barras de Juján y Potosí respectivamente.
- Adquirir e instalar equipos de desconexión para los bancos de capacitores de 600 KVAR de Montalvo, Catarama y Ventura, y para el banco de 300 KVAR de Potosí.
- Instalar equipo de desconexión para banco de capacitores de La Reforma para condición de contingencia de salida de dicha carga.
- Exigir a la Reforma previo aviso para desconexión de su carga.
- Distribución adecuada de transformadores de

distribucion segun su voltaje primario, los de 13.8 KV cerca de las subestaciones y, los de 13.2 KV en los puntos alejados.

- Selecccion adecuada de Taps en transformadores de distribucion.
- Realizar gestiones necesarias para obtener en el menor tiempo posible la operacion de la linea Milagro - Babahoyo a 138 KV.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) D. Castillo, " Consideraciones al Plan Nacional de Electrificación Sistema Guayas - Los Rios Area de Influencia Babahoyo " (Tesis, Facultad de Ingenieria Eléctrica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1978).
- 2) W. D. Stevenson, Elements of Power System Analysis , (New york, New York : McGraw - Hill, 1975 ).
- 3) Westinghouse Electric Corporation East Pittsburgh, Distribution Systems , ( Pennsylvania, Volume 3 ).
- 4) Instituto Ecuatoriano de Electrificación, Estudio de Factibilidad para el Sistema Eléctrico de Los Rios, (Quito:INECEL, 1984).
- 5) Empresa Eléctrica Regional Guayas-Los Rios Dirección de Planificación, Sistema Eléctrico Los Rios - Estudios de Configuración a Corto Plazo y Ubicación de Capacitores , (Guayaquil: EMELGUR, Agosto 1986).

- 6) E. Castro. " Modelos de Programación en la Ubicación Óptima de Capacitores para Regulación de Voltaje ", (Tesis, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1984).
  
- 7) V.H. Orejuela, Distribución Eléctrica. (Folleto, Escuela Superior Politecnica Nacional, 1984).
  
- 8) Empresa Eléctrica Regional Guayas Los Rios, Dirección de Planificación, Programa de Ubicación Óptima de Capacitores, (Guayaquil: EMELGUR, 1984).