

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"USO DE CAPACITORES SERIE EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN"

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE:
INGENIERO ELECTRICO

LUIS VINICIO ANDRADE VILLAVICENCIO

JULIO DEL 2000

CERTIFICADO

Certifico que el presente trabajo ha sido realizado en su totalidad por el Sr. Luis Vinicio Andrade Villavicencio.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Riofrío', is written over a light blue rectangular background.

Ing. Carlos Riofrío
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mi abuelita (+), mis padres, mi esposa, mis
hijas y hermana por su permanente apoyo.

AGRADECIMIENTO

Mi mas sincero agradecimiento para:

Ing. Carlos Riofrío.

Y todas las personas e instituciones que de una u otra manera colaboraron en la realización del presente trabajo.

Introducción	1
CAPITULO I	
GENERALIDADES	
1.1 Justificación.	3
1.2 Métodos utilizados en redes de distribución para la regulación de voltaje.	4
1.2.1 Capacitores shunt.	4
1.2.2 Reguladores de voltaje.	15
1.2.3 Capacitores serie.	22
1.2.4 Otros.	23
1.3 Comparación entre las diferentes alternativas.	26
1.3.1 Metodología para el estudio técnico económico.	26
1.3.2 Ventajas y desventajas.	28
CAPITULO II	
CAPACITORES SERIE	
2.1 Descripción general.	31
2.2 Fundamentos teóricos.	33
2.2.1 Perfil de tensión de línea.	36
2.2.2 Reducción de las fluctuaciones de voltaje.	39
2.2.3 Mejora del factor de potencia.	43
2.2.4 Reducción de las pérdidas.	44
2.2.5 Soporte en el arranque de motores.	45
2.3 Problemas de aplicación de los capacitores serie y soluciones.	46
2.3.1 Régimen transitorio, energización y cortocircuito.	47
2.3.2 Ferroresonancia.	51

2.4 Aspectos constructivos y de instalación.	57
2.5 Rangos de aplicación.	69
2.6 Restricciones.	69
CAPITULO III	
APLICACIÓN A UN ALIMENTADOR DE LA E.E.Q.	
3.1 La regulación de voltaje en la E.E.Q.	74
3.1.1 Métodos utilizados.	74
3.2 Selección de un alimentador típico de la E.E.Q.	78
3.2.1 Alternativas de compensación.	82
3.2.2 Simulación técnica.	82
3.2.3 Evaluación técnica económica.	109
3.2.4 Conclusiones.	116
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1 Conclusiones.	118
4.2 Recomendaciones.	118
ANEXO: Flujos de carga del alimentador Tumbaco E-36 al 100% - 80% - 60% y 40% de la carga máxima.	120
BIBLIOGRAFÍA.	156

"USO DE CAPACITORES SERIE EN REDES DE DISTRIBUCION"

INTRODUCCION

La compensación serie es teóricamente un método conocido para mejorar el funcionamiento de líneas de transmisión y también de distribución. Esta es una tecnología aceptada generalmente para sistemas de transmisión. Sin embargo, para líneas radiales de sistemas de voltajes más bajos esta técnica no fue usada en el pasado.

Para reducir la reactancia, la línea debe convertirse en eléctricamente corta. Algunos de los efectos positivos son mejorar el perfil de voltaje, reducir fluctuaciones de voltaje, aumentar la capacidad de transmisión y reducir las pérdidas de transmisión.

Durante los pasados 50 años diferentes tipos de capacitores serie de distribución han sido instalados y probados alrededor del mundo. Sin embargo, esto no ha resultado en una aceptación general, básicamente debido a la escasez de comercialización del equipo disponible.

Nuevos requerimientos técnicos del sistema así como restricciones económicas aumentan el interés por la compensación serie en distribución. Al mismo tiempo nuevas técnicas y materiales abren posibilidades para diseños simples y menos costosos.

Además, métodos modernos de simuladores de redes pueden convertirse en útiles herramientas para la evaluación de los efectos positivos tanto como las limitaciones.

Los capacitores serie están cumpliendo con éxito a nivel de distribución en otros países desde 1.990, por lo que

se ha visto la necesidad de realizar un estudio de la posible aplicación de esta técnica en nuestro país.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 JUSTIFICACION

La compensación capacitiva serie es una técnica que se ha utilizado con éxito en líneas de transmisión por más de 40 años. El desarrollo de la tecnología ha permitido que las empresas fabricantes de equipos a nivel mundial, propongan actualmente equipamientos de este tipo para los niveles de distribución, lo que amerita realizar un análisis de su posible utilización por las grandes ventajas que la compensación serie puede representar con relación a mejorar los perfiles de voltaje, reducir las variaciones de voltaje, autorregulación instantánea con las variaciones de carga, pequeña reducción de pérdidas en las líneas, leve mejora del factor de potencia e incrementa la capacidad de conducción de las líneas para solventar crecimientos de carga.

Hasta hace poco tiempo esta técnica era de muy difícil y costosa aplicación, sin embargo la información comercial de empresas como ABB la catalogan como de posible y económicamente viable a nivel de distribución.

Anteriormente este tipo de compensación no tuvo el éxito deseado debido a lo complicado del equipo de protección contra sobretensiones y "by-pass" de las corrientes de cortocircuito y energización en las líneas, que en sistemas de distribución se presentan con mayor frecuencia. Otras razones han sido el riesgo de fenómenos de resonancia y su alto costo.

Pero las grandes ventajas que ofrece este método han llevado a las industrias a estudiar y resolver los problemas

antes citados, de ahí que se han desarrollado los varistores de óxido metálico que abren nuevas posibilidades en la protección de sobretensiones, así también, equipos de control de mejor respuesta y a costos razonables y en lo que respecta a los fenómenos de ferresonancia pueden utilizarse equipos de amortiguamiento.

Por todo lo anterior se ha visto la necesidad de realizar un estudio de la compensación serie en redes de distribución.

1.2 METODOS UTILIZADOS EN REDES DE DISTRIBUCION PARA LA REGULACION DE VOLTAJE.

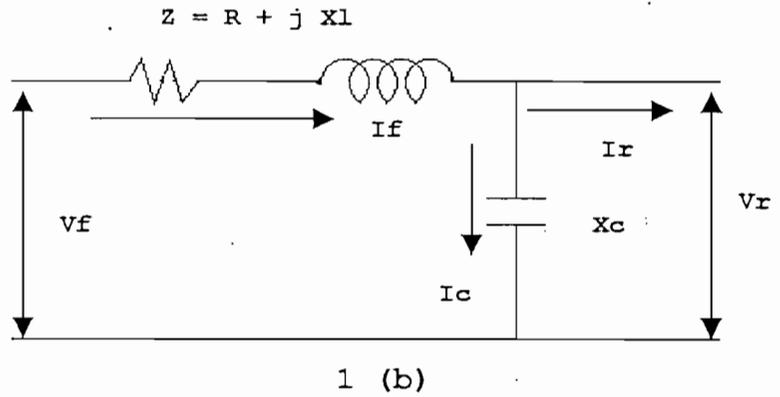
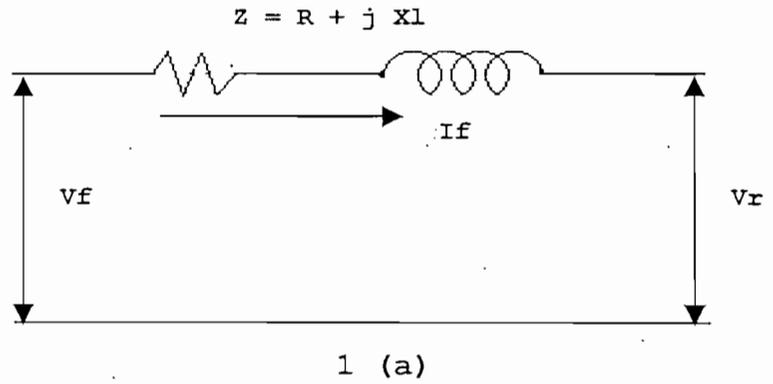
La selección de la técnica o técnicas utilizadas para regulación de voltaje en redes de distribución depende de los requerimientos del sistema en particular. Sin embargo, la regulación automática de voltaje está siempre condicionada por:

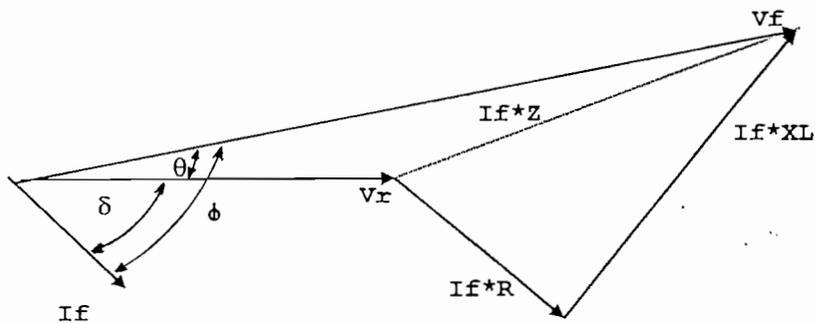
- 1) Regulación de la barra en la subestación
- 2) Regulación individual del alimentador en la subestación
- 3) Regulación suplementaria a lo largo del alimentador principal.

1.2.1 CAPACITORES SHUNT

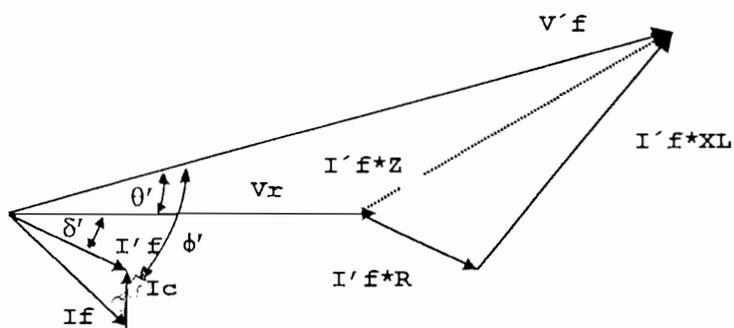
Los capacitores conectados en paralelo son ampliamente usados en sistemas de distribución. Esta técnica compensa la potencia reactiva tanto de la carga como de la propia inductancia de las líneas.

En la siguiente figura se indica la aplicación de un capacitor shunt en la línea, la magnitud de la corriente de la fuente se reduce, el factor de potencia se mejora, y consecuentemente la caída de voltaje entre la fuente y la carga también se reduce.





1 (c)



1 (d)

FIGURA 1.

Considerando que las líneas de distribución en general son cortas, la caída de voltaje en la línea puede representarse de la siguiente manera:

$$\Delta V = I_r * R + I_x * X_1(V)$$

Donde:

ΔV = Caída de voltaje en la línea en voltios.

R = Resistencia total de la línea en ohmios.

X_1 = Reactancia inductiva total de la línea en ohmios

I_r = Componente real de la corriente (por fase) en amperios.

I_x = Componente reactiva de la corriente en retraso
(por fase) en amperios.

Cuando se instala el capacitor la caída de voltaje en la línea puede representarse de la siguiente manera:

$$\Delta V = I_r * R + I_x * X_l - I_c * X_l (V)$$

Donde:

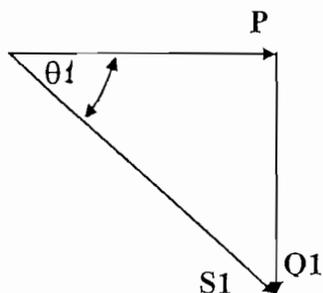
I_c = Componente reactiva de la corriente en adelanto
(por fase) en amperios.

La diferencia entre las caídas de voltaje sin y con capacitor, y que representa la disminución de esta caída de voltaje al utilizar el capacitor, se puede expresar de la siguiente manera:

$$V_{re} = I_c * X_l (V)$$

De los fasores de las figuras 1(c) y 1(d) se puede ver claramente el mejoramiento del factor de potencia al colocar el capacitor en paralelo.

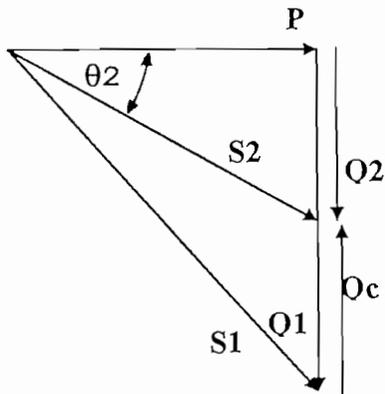
Sin capacitor:



$$\cos \theta_1 = \frac{P}{S_1}$$

$$\cos \theta_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}}$$

Con capacitor:



$$\cos \theta_2 = \frac{P}{S_2}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_2^2}}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}}$$

$$Q_2 < Q_1$$

$$S_2 < S_1$$

$$\frac{P}{S_2} > \frac{P}{S_1}$$

$$\cos \theta_2 > \cos \theta_1$$

$$fp_2 > fp_1$$

CONTROL DE VOLTAJE

De la aplicación de los capacitores shunt en los sistemas de distribución resulta un aumento en el voltaje del sistema desde el punto de instalación hacia atrás hasta la generación y hacia la carga, en primarios con factores de potencia en retraso.

Una fórmula comúnmente usada para estimar el aumento de voltaje producido por la instalación de capacitores shunt se indica a continuación:

$$V_e = \frac{K \text{ var} * X_l}{10 * (KV)^2} \%$$

Donde:

V_e = Es el porcentaje de aumento de voltaje en el punto de instalación del condensador.

KV= Son los KV línea - línea del primario sin el condensador en servicio.

K var = Son los KVAR trifásicos del banco de condensadores.

X_1 = Es la reactancia inductiva del sistema hasta el punto de instalación del condensador en ohmios.

LOCALIZACION DE CONDENSADORES SHUNT

Para obtener un beneficio óptimo al aplicar capacitores shunt en sistemas de distribución, los bancos de capacitores deben estar localizados donde produzca la máxima reducción de pérdidas y provoquen los máximos beneficios de voltaje. Para lograr este objetivo, existen varias reglas que pueden ser utilizadas para la localización del banco.

Estas incluyen las siguientes:

- a) Para cargas uniformemente distribuidas, los condensadores paralelo pueden ser localizados a los dos tercios de la distancia desde la subestación.
- b) Para cargas decrecientes uniformemente distribuidas, los condensadores se localizan a la mitad de la distancia desde la subestación.
- c) Para máxima elevación de voltaje, el condensador debe ser localizado cerca al final de la línea.

Mas específicamente, la localización óptima del banco de capacitores se puede realizar previas mediciones en el campo que indiquen problemas de bajo voltaje o bajo factor de potencia. Esta información puede ser obtenida de la siguiente

manera:

- a) Tomando mediciones de voltaje durante condiciones de plena carga y sin carga en varios puntos del alimentador; y
- b) Tomando mediciones de Kilowatts y Kilovoltamperios en el alimentador a mínima y máxima carga, durante un período típico de 24 horas.

Este procedimiento se lo puede realizar con un analizador de carga.

Una vez obtenidas estas mediciones se puede utilizar la ecuación de V_e para determinar los parámetros aumento de voltaje y Kilovar.

TAMAÑO Y NUMERO DE UNIDADES DEL BANCO

La capacitancia shunt requerida está determinada por la optimización de beneficios descritos anteriormente para ajustar los requerimientos del sistema. El tamaño de los capacitores de la subestación de distribución muchas veces suple los requerimientos de los voltamperios reactivos de la carga.

Después de conocer los VAR requeridos y el tamaño y tipo de unidades que existen en el mercado, el tamaño (Megavar individual de las unidades del banco de capacitores) está determinado. Las ventajas económicas asociadas con el equipo estandarizado, son limitaciones que influyen en el mínimo y máximo tamaño del banco a ser usado.

TAMAÑO MAXIMO

El tamaño máximo del banco está influenciado por los siguientes factores:

- a) Cambios en el voltaje por la entrada del banco de capacitores.
- b) Limitaciones de corriente en operaciones de conexión y desconexión del banco.

(Ver ref. 2, Pg. 18)

Cuando el banco de capacitores es energizado o desenergizado, el voltaje del primario aumenta o disminuye respectivamente. En orden a tener un efecto mínimo en las cargas de los consumidores, estos cambios de voltaje son a menudo limitados a valores en el rango del 2% al 3%. Este cambio de voltaje (ΔV) puede ser estimado con la siguiente fórmula:

$$\Delta V = \frac{MVA_r}{MVA_{sc}} * 100\%$$

Donde:

MVA_r = Es el tamaño de MVA del banco de capacitores.

MVA_{sc} = Son los MVA trifásicos de corto circuito en el punto de localización del banco.

El dispositivo de conexión y desconexión usado para controlar el banco de capacitores es seleccionado dependiendo del tamaño del mismo. La capacidad nominal del dispositivo usualmente es determinada por la multiplicación de la corriente nominal del capacitor por 1,25 para operación sin

tierra y por 1,35 para bancos con conexión a tierra. (Ver ref. 2, Pg 18)

TAMAÑO MINIMO DEL BANCO

El mínimo tamaño está influenciado por los siguientes factores:

- a) Consideraciones de desbalance del banco de capacitores.
- b) Coordinación de protecciones.

Cuando se produce una falla en una unidad del banco el fusible opera, se provoca un desbalance en las unidades y de igual manera un sobrevoltaje a 60 Hz. Un criterio que se aplica comúnmente es el limitar este sobrevoltaje hasta el 110% al perder una unidad. Estos requerimientos del número mínimo recomendado de unidades en paralelo por grupos serie para limitar el voltaje al 110% con unidades permanentes y una unidad fuera están dados en la tabla 1.

(Tomado de la tabla 2 de la Ref . 2)

TABLA 1

NUMERO MINIMO RECOMENDADO DE UNIDADES EN PARALELO POR GRUPOS SERIE PARA LIMITAR EL VOLTAJE AL 110%.			
NUMERO DE GRUPOS SERIE	<u>Y</u> CON TIERRA O DELTA	<u>Y</u> SIN TIERRA	DOBLE <u>Y</u> SIN TIERRA (SEC. IGUALES)
1	--	4	2
2	6	8	7
3	8	9	8
4	9	10	9
5	9	10	10
6	10	10	10
7	10	10	10
8	10	11	10
9	10	11	10
10	10	11	11
11	10	11	11
12 y más	11	11	11

Cuando un capacitor se cortocircuita, otros grupos serie dentro del banco de capacitores son sujetos a sobrevoltajes de 60 Hz. hasta que el fusible de la unidad despeje. Los fusibles deben despejar lo suficientemente rápido para que no exista daño en las unidades sometidas a este sobrevoltaje.

(Ver ref. 2, Pg.18-19)

La IEEE Std. 18-1992 indica que, un capacitor debe

resistir durante su vida normal de servicio, una combinación de 300 operaciones de sobrevoltajes (sin transitorios superpuestos o contenidos armónicos), de las magnitudes y duraciones que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2.- Voltaje máximo permisible por el capacitor.

Duración	Máximo voltaje permisible (Multiplicar el factor por el rango de voltaje rms aplicado).
6 ciclos	2,2
15 ciclos	2,0
1 s.	1,7
15 s.	1,4
1 min.	1,3

Quando una unidad falla en la fase A, los voltajes a 60 Hz. en los otros grupos serie en el banco se indican en la tabla 3. (Ver ref. 2, Pg. 19)

Tabla 3.- Voltajes por unidad en los capacitores buenos

# DE GRUPOS SERIE	DELTA O <u>Y</u> CON TIERRA			<u>Y</u> SIN TIERRA			DOBLE <u>Y</u> SIN TIERRA		
	Va	Vb	Vc	Va	Vb	Vc	Va	Vb	Vc
1	--	1.00	1.00	--	1.73	1.73	--	1.73	1.73
2	2.00	1.00	1.00	1.50	1.15	1.15	1.71	1.08	1.08
3	1.50	1.00	1.00	1.29	1.08	1.08	1.38	1.04	1.04
4	1.33	1.00	1.00	1.20	1.05	1.05	1.26	1.03	1.03
5	1.25	1.00	1.00	1.15	1.04	1.04	1.20	1.02	1.02

Los valores de las tablas 2 y 3, asociados con el tamaño del fusible usado, nos indican el mínimo número de unidades capacitivas a ser usadas. El banco de capacitores puede ser diseñado para la duración de sobrevoltajes definido en la tabla 3 y que no exceda los tiempos definidos en la tabla 2. Los factores que influyen en el diseño son la conexión del banco, el número de grupos serie, el número de unidades en paralelo y las características del fusible.

1.2.2 REGULADORES DE VOLTAJE

Los reguladores de voltaje corrigen las variaciones de voltaje y reducen la faja de esta variación en aquellos alimentadores en los que son instalados.

En sistemas de distribución se utiliza con frecuencia los reguladores de voltaje por pasos, que no es mas que un transformador especial de dos devanados donde el devanado secundario se convierte en un devanado serie cuando es configurado como un autotransformador.

El devanado serie es construido con un número de derivaciones para que un aparato interruptor pueda moverse a lo largo de las derivaciones y por lo tanto regular el voltaje del lado de la carga, más comúnmente con cambios por pasos de voltaje de 5/8% del voltaje de línea. La figura 2 ilustra los componentes básicos de un regulador, incluyendo el control y sus entradas sensoras.

(Ver Ref. 15, Pg. 2)

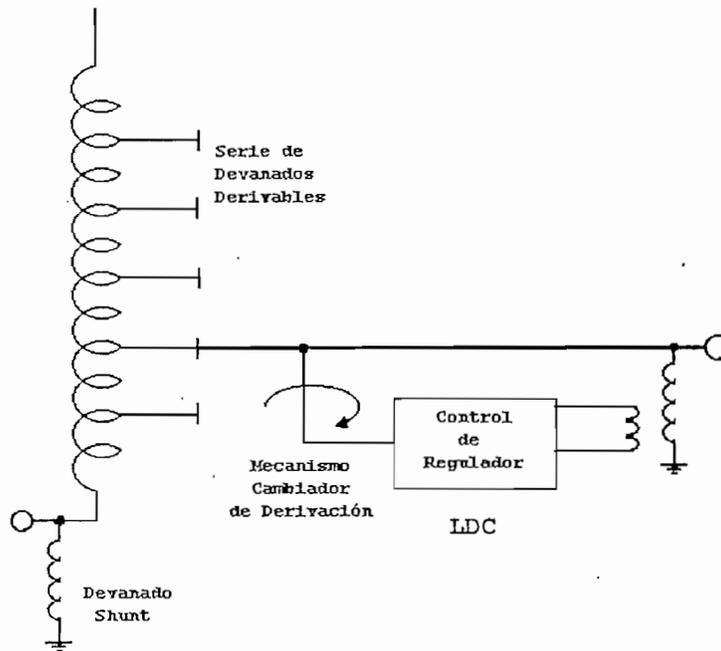


Figura 2. Esquema simplificado de un Regulador de Voltaje Escalón.

CONTROL DEL VOLTAJE

De la manera más sencilla el control se ajusta para mantener un voltaje dado en el lado de la carga con una tolerancia de un cierto ancho de banda. Esto podría ser comúnmente un voltaje con un centro de banda tal como 120 V con un ancho de banda de 2 V ($\pm 1V$). Si el regulador está diseñado para un cambio de voltaje por pasos de $5/8\%$ se notaría que un cambio en un paso resultaría en un cambio en el voltaje de carga de solo:

$$0.00625 * 120 \text{ V} = 0.75 \text{ V.}$$

Este valor está tomado en base a 120 V de control. El

control también se ajusta para incluir un retraso intencional de tiempo típicamente de 30 a 60 segundos, entre el tiempo de una condición de fuera de banda a la inicialización de una acción del cambiador de derivaciones.

Si éste fuera el control total, no habría ninguna relación con respecto a la coordinación con un banco de condensadores que responde al factor de potencia. Un control más sofisticado incluirá, sin embargo, compensación por caída de línea, que es, un medio para amplificar el voltaje en la conexión de la carga para compensar por la caída de voltaje en el alimentador entre el regulador y la carga. La figura 2 representa el diagrama simplificado, comúnmente utilizado para ilustrar la compensación de caída de línea (LDC).

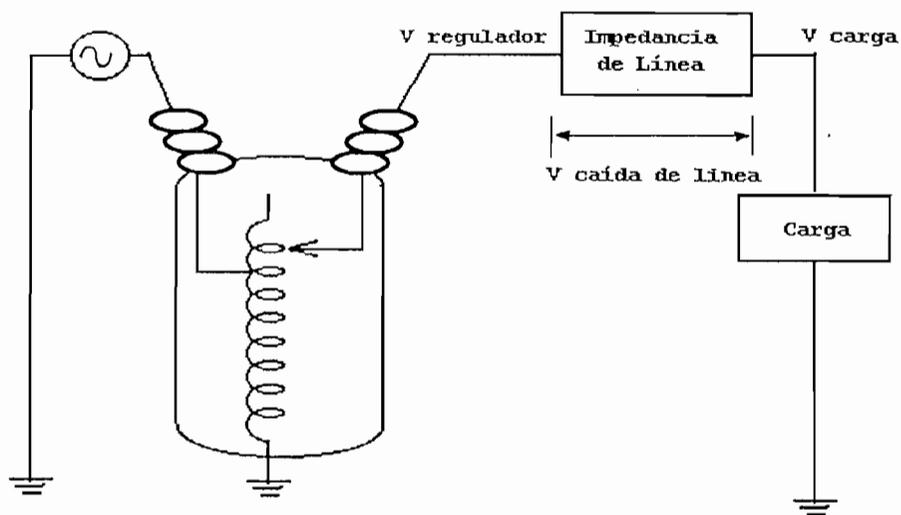


Figura 3. Diagrama ilustrando el propósito de la compensación de caída de línea del regulador de voltaje escalón.

El objetivo del regulador y su control es más complejo: mantener el voltaje deseado (120 ± 1 V) en la carga. Debido a la caída de voltaje en la línea, el valor de $V_{\text{regulador}}$ debe ser mayor que el V_{carga} más el $V_{\text{caída de línea}}$:

$$V_{\text{regulador}} = V_{\text{carga}} + V_{\text{caída de línea}}$$

Esta sería una simple expresión aritmética excepto que la impedancia de la línea es compleja ($R + jX$) y la carga no puede ser asumida con factor de potencia unitario; por lo tanto, existirá un ángulo de fase diferente a 0° entre el voltaje y la corriente en la carga. Reconociendo estos puntos:

$$V_{\text{caída de línea}} = I_{\text{carga}} * Z_{\text{línea}}$$

$$V_{\text{caída de línea}} = I_{\text{carga}} * (R + jX)$$

Volviendo a la referencia de la figura 3, el control conoce el $V_{\text{regulador}}$ e I_{carga} . Si la impedancia de la línea es modelada, el control puede calcular $V_{\text{caída de línea}}$. Entonces el control puede establecer el $V_{\text{regulador}}$ tal para mantener el V_{carga} , que es el voltaje de principal preocupación.

Claro que esa es la función de los dos controles de ajuste para compensación de caída de línea; uno es para la caída resistiva (o en fase) entre el regulador y la carga cuando la línea está conduciendo la corriente nominal, el otro para la caída reactiva (componente cuadratura) de la línea.

A continuación se ilustrarán los perfiles de voltaje de línea para el caso en cuestión, en las figuras 4a y 4b.

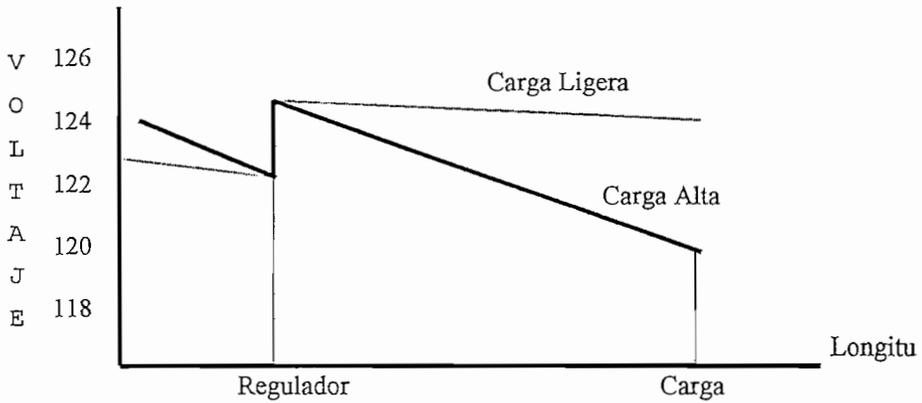


FIGURA 4a. Sistema sin utilizar compensación de caída de línea.

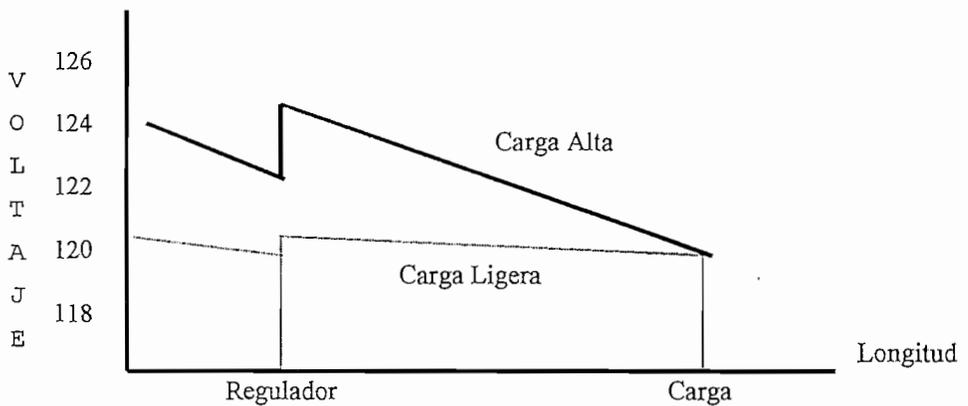


FIGURA 4b. Sistema utilizando compensación de caída de línea.

Cuando se utiliza la compensación de caída de línea, la figura 4b muestra que se mantienen 120 V en la posición de la

carga independientemente de esta en el sistema ya que el ajuste es compensado en el regulador, pues el LDC reconoce y responde a la magnitud de la carga.

(Ver Ref.15, Pg. 2-3)

DIMENSIONAMIENTO BASICO

Se define como capacidad nominal de un regulador a la capacidad máxima del bobinado serie (en KVA).

$$KVA_{(\text{no min ales})} = I_{\text{carga}} * KV_{\text{bobinado serie}}$$

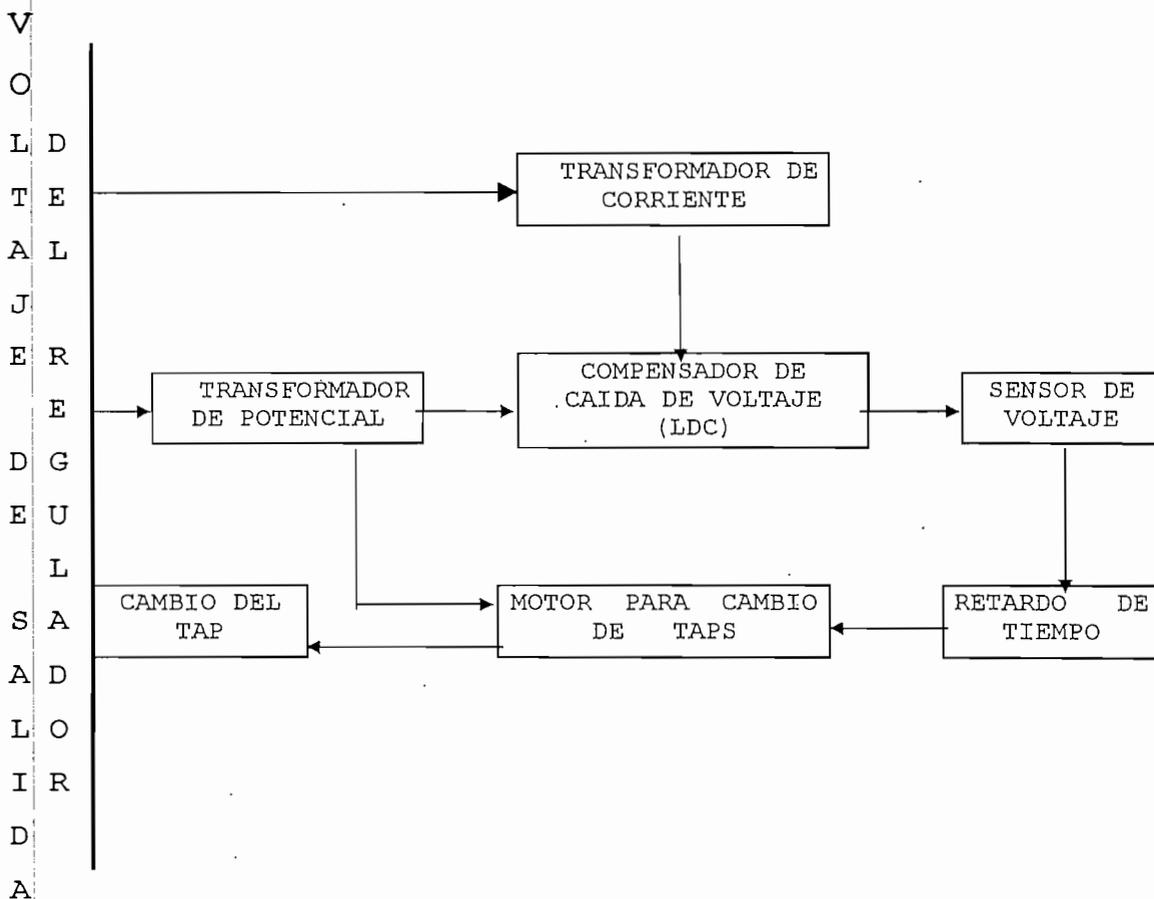
$$KVA_{(\text{no min ales})} = KVA_{\text{carga}} * \% \text{ Regulación}$$

$$KVA_{(\text{no min ales})} = 10\% * KVA_{\text{carga}}$$

Debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- a) Los KVA nominales de un regulador monofásico, se obtiene por el producto de la corriente de carga máxima en amperios y el rango nominal máximo de regulación en KV.
- b) El rango máximo de regulación es el rango que el regulador podrá elevar o bajar con relación a su voltaje nominal.
- c) El voltaje nominal de un regulador, es el voltaje para el cual se han diseñado todas las características de comportamiento del mismo, a menos que se especifiquen otras características sobre la placa del equipo.

SECUENCIA DE OPERACION DE UN REGULADOR DE VOLTAJE



LOCALIZACION DEL REGULADOR

La localización de los reguladores en una red de distribución, debe ser determinada a través del perfil de tensiones de la red, de modo que el sistema opere dentro de la faja de voltajes recomendados y que garantice una calidad de servicio adecuado a la importancia de las cargas tomando en cuenta el crecimiento futuro de la carga.

SELECCION DEL REGULADOR

Debe ser suficiente para corregir las variaciones de

voltaje en el punto de instalación y además compensar la caída de voltaje del alimentador más allá del punto de su instalación, en dirección hacia la carga.

1.2.3 CAPACITORES SERIE

La regulación de voltaje es a menudo un problema en los sistemas de distribución que alimentan a cargas tales como: soldadoras por resistencia, hornos de arco, excavadoras, etc., o cuando las corrientes de arranque de ciertos motores grandes son significativas comparadas con la corriente nominal del circuito. La mayoría de las máquinas anteriormente citadas se caracterizan por tener cambios rápidos y repetidos en la corriente de carga por ellos absorbida, teniendo estas además un bajo factor de potencia que causa serios problemas de regulación de voltaje y parpadeo.

Los métodos normales de regulación de voltaje tales como el empleo de reguladores por pasos, no son lo suficientemente rápidos en su respuesta como para anular estos cambios súbitos y repetidos en el voltaje, ya que estos cambios son usados como señal para iniciar la operación de corrección.

Mientras tanto, un capacitor conectado en serie con la línea tiene una respuesta instantánea y es efectivo en eliminar las variaciones de voltaje causadas por cualquier tipo de carga fluctuante.

En nuestro país existen muchas posibilidades de utilizar los capacitores en serie en los circuitos de distribución, ya sea en los alimentadores primarios radiales

largos, en los transformadores de distribución que alimentan a cargas fluctuantes o en circuitos donde predominan las condiciones de arranque de grandes motores. En estos casos la instalación de un capacitor serie puede ser más práctico que instalar otro transformador u otra línea.

Las ventajas de instalar capacitores serie en sistemas de distribución son muchas tales como:

- Aumentan la capacidad de transmisión
- Disminuyen las pérdidas en la línea
- Aumentan levemente el factor de potencia
- Regulan las variaciones de voltaje en forma instantánea.
- Reducen las variaciones de voltaje
- Soporte en el arranque de motores

Este método también tiene algunas restricciones que han sido solucionadas con las nuevas tecnologías. Tanto las ventajas como las restricciones de este método serán estudiadas en el siguiente capítulo.

1.2.4 OTROS:

A continuación se va a señalar brevemente otros métodos utilizados en nuestro país por las empresas eléctricas para la regulación de voltaje en sistemas de distribución.

SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION CON TRANSFORMADORES EQUIPADOS CON LTC.

Este es un método que generalmente utilizan todas las empresas eléctricas para la regulación de voltaje, pues en la actualidad se utilizan en las subestaciones de distribución

transformadores equipados con LTC que no son más que transformadores que realizan el cambio de taps bajo carga en forma automática, la operación es similar al de los reguladores de voltaje por pasos. Una gran ventaja de este método es que la inversión adicional no es muy alta y su tiempo de aplicación es inmediato.

BALANCE DE CARGAS EN LOS ALIMENTADORES

Esta técnica también es muy utilizada por las empresas eléctricas. Al obtener un correcto balance de cargas en los alimentadores se puede mejorar la operación de la red y lo que es más importante para la aplicación de este método de regulación no se requiere de inversiones adicionales en equipamiento.

Como limitaciones de este método podríamos citar que no siempre se puede lograr un balance óptimo de cargas en el alimentador y además el porcentaje de mejora en la regulación de voltaje de la red no siempre es significativo, pero que pese a estas limitaciones este es un método que siempre se debe utilizar paralelamente con otras técnicas de regulación de voltaje pues del balance general de todos los alimentadores dependerá el correcto funcionamiento del sistema de distribución.

INSTALACION DE NUEVAS SUBESTACIONES Y ALIMENTADORES PRIMARIOS

Para la aplicación de este método debe existir un estudio técnico-económico minucioso de la red con problemas pues así como presenta grandes ventajas como son el aumento de la capacidad del sistema, mejora el nivel de voltaje, etc., también existen desventajas como son el tiempo largo de instalación y su alto costo lo que limita su aplicación.

CAMBIO DEL NIVEL DE VOLTAJE

Al aumentar el nivel de voltaje del sistema de distribución se disminuye la corriente y como consecuencia se disminuye las pérdidas de la línea, mejorando el voltaje de servicio al usuario.

Al igual que el método anterior este es muy costoso pues se tienen que cambiar los transformadores de las subestaciones a los voltajes requeridos, el aislamiento del sistema, los transformadores de distribución, etc.

MANIPULACION DE TAPS EN LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Este es otro de los métodos que utilizan las Empresas Eléctricas para regulación de voltaje en conjunto con otras técnicas. Para la aplicación de este método no se necesita de una inversión en equipamiento pues todos los transformadores de distribución vienen con sus respectivos taps, pero si se necesita de un estudio de niveles de voltaje a plena carga y a carga ligera para ubicar correctamente los taps de los diferentes transformadores de distribución en forma manual, y llevar un registro de los mismos.

CAMBIO DEL CALIBRE DE LOS CONDUCTORES

Para utilizar este método en la regulación de voltaje de un sistema debe existir un estudio minucioso del mismo pues su aplicación demanda un desembolso importante de dinero, que puede o no justificar en el nivel de mejora del voltaje del sistema y en el ahorro de pérdidas.

1.3 COMPARACION ENTRE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS:

En el presente numeral se realizará un estudio de las consideraciones técnicas y económicas que justifican en algún caso la utilización de los condensadores serie frente a otras alternativas de compensación, así como, se indicarán las ventajas y desventajas de los métodos mas utilizados para el efecto antes indicado, señalando en forma mas detallada las ventajas de utilizar capacitores serie por ser este el tema de la Tesis.

1.3.1 METODOLOGIA PARA EL ESTUDIO TECNICO ECONOMICO:

En el siguiente capítulo se verán las ventajas técnicas que se consiguen con la inserción de capacitores serie en líneas de distribución, ventajas tales como mejoramiento de la regulación, mejora del factor de potencia y disminución del flicker. Todas estas ventajas técnicas deberían verse reflejadas en ventajas económicas para que la aplicación del equipo tenga sentido, ya que cualquier inversión se justifica siempre y cuando los costos de operación, mantenimiento, depreciación y rentabilidad del capital invertido sean menores que el ahorro producido por el equipo en el cual se invierte el capital. En otras palabras, se debe cumplir la ecuación:

$$a + b + c < d$$

Donde: a= Rentabilidad del capital invertido

b= Depreciación del equipo

c= Costos de operación y mantenimiento

d= Ahorro conseguido

Ahora bien, es necesario estudiar cada una de las ventajas técnicas para tratar de encontrar el provecho económico que en cada una de ellas se encuentra.

MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA

Como ya se indicó anteriormente, el insertar en la línea capacitores en serie provoca una leve mejora del factor de potencia, pero para la corrección del mismo el uso de capacitores en paralelo resulta ser el más económico y con el que se obtiene mejores resultados, razón por la cual en nuestro país es el que se utiliza en la práctica.

MEJORAMIENTO DE LA REGULACION

Al insertar un condensador serie en un alimentador de distribución se produce un mejoramiento de la regulación de voltaje.

DISMINUCION DE PERDIDAS

El alimentador que se escogerá posteriormente es de tipo industrial por lo que se utilizará para su estudio un modelo de potencia constante.

Al ser el voltaje receptor mayor, menor va a ser la corriente que circula por el sistema y como las pérdidas son directamente proporcionales al cuadrado de la corriente, estas pérdidas en los sistemas de distribución que estamos tratando van a ser menores.

En resumen las ventajas técnicas que se consiguen al insertar capacitores serie en un sistema de son:

- a) Regulación instantánea de voltaje
- b) Mejora en la calidad de servicio
- c) Disminución de pérdidas

En lo que respecta a capacitores en paralelo podemos decir que la influencia que estos tienen en la regulación de voltaje del sistema es reducida.

DISMINUCION DEL FLICKER

En cuanto al flicker, su efecto es sentido por los consumidores, de tal manera que cualquier intento por disminuirlo traería como consecuencia un mejor servicio al usuario, lo que acarrearía un incremento en la venta de energía. Sin embargo, no se realizará un análisis económico de esta ventaja pues no se puede apreciar de manera cuantitativa la ventaja económica que se lograría al reducir el flicker.

1.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

A continuación nos valdremos de un cuadro para realizar la comparación entre las ventajas y desventajas de los métodos mas utilizados para compensar líneas de distribución, métodos tales como capacitores en paralelo, reguladores de voltaje, nuevas líneas en paralelo o cambio del voltaje del sistema y capacitores serie (MINICAP).

TECNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COSTOS
CAPACITORES EN PARALELO	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de voltaje - Reduce pérdidas en la línea - Incrementa factor de potencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco efecto en caso de alto f.p (carga resistiva) - No reduce variaciones de voltaje - No regula por sí mismo 	Algo barato
NUEVA LINEA EN PARALELO O CAMBIO DEL VOLTAJE DEL SISTEMA	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta la capacidad - Incrementa el voltaje - Reduce las variaciones de voltaje - Reduce pérdidas en la línea 	<ul style="list-style-type: none"> - Período largo de instalación - Dificultades para obtener derechos de vía - Reconstrucción de alimentadores y subestaciones 	Considerablemente costoso
REGULADORES DE VOLTAJE	<ul style="list-style-type: none"> - Amplia regulación de voltaje - Sube y baja el voltaje con relación al punto de referencia 	<ul style="list-style-type: none"> - No aumenta el factor de potencia - Requiere mucho mantenimiento 	Costoso
MINICAP	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementa el voltaje - Reduce variaciones de voltaje - Autorregulación instantánea - Aumenta el perfil de voltaje - Reduce pérdidas en la línea - Incrementa el factor de potencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco efecto en caso de alto factor de potencia como es el caso de cargas resistivas 	Costoso

Como se puede ver en el cuadro de ventajas y desventajas de los diferentes métodos utilizados para

compensación de líneas de distribución el uso de capacitores ya sea en paralelo o en serie son recomendables por las muchas ventajas que estos presentan frente a las pocas desventajas, otro método que también se utiliza para este efecto son reguladores de voltaje. De ahí que nos quedaría comparar solamente entre estos tres métodos.

Para esta comparación deberíamos analizar que es lo que prima en nuestro diseño si es la parte técnica o es la parte económica. Si es la parte económica a simple vista podríamos decir que el uso de capacitores en paralelo es el más recomendable por su bajo costo, tomando en cuenta que para obtener eficientes resultados deberíamos utilizar también reguladores de voltaje lo que eleva su valor, pero si es la parte técnica podemos ver que el uso de capacitores serie nos presenta grandes ventajas que por si solas pueden justificar su utilización pese a que representa una mayor inversión.

Pero como se dijo anteriormente toda inversión debe ser justificada en lo económico, de ahí que, para todo proyecto de compensación de líneas de distribución se debe buscar un equilibrio entre la parte técnica y la parte económica y solo cuando se encuentre este equilibrio se podrá decidir sobre la técnica de compensación a ser utilizada.

CAPITULO II: CAPACITORES SERIE

2.1 DESCRIPCION GENERAL:

La compensación serie en sistemas de distribución no tuvo el éxito que sería de esperar. Una razón ha sido el equipo de protección contra sobre tensiones y "by-pass" de las corrientes de corto circuito en la línea. Este equipo hasta ahora ha sido relativamente complicado y caro. Otra razón ha sido el riesgo de fenómenos de resonancia.

Durante los últimos años, algunos factores nuevos han adquirido una importancia relevante en el interés por la compensación serie. De entre estos factores se puede nombrar los siguientes:

- Economía de transmisión.
- Calidad de la potencia eléctrica a suministrar.
- Restricciones ambientales a la construcción de nuevas líneas.

El desarrollo de los MOV (Varistores de óxido Metálico) que nos da nuevas posibilidades para la protección de sobre tensiones, han posibilitado simplificar el equipo. Otro factor importante es la aceptación extraordinaria que la compensación serie ha tenido en niveles de tensión más elevados.

Cuando comparamos con otras posibilidades como cambiar el nivel de voltaje del sistema o construir una nueva línea, el capacitor serie es una alternativa muy competitiva.

Hay otras soluciones que también pueden ser buenas alternativas, tal es el caso de los capacitores shunt, reguladores de voltaje, cambios de las líneas o la construcción de líneas en paralelo. Pero debemos recalcar que ninguna de estas otras alternativas pueden por si solas conseguir todas las ventajas que se obtienen con el capacitor serie:

- Aumento de la capacidad de transmisión.
- Control instantáneo de la tensión.
- Pequeña mejora del factor de potencia
- Reducción de las pérdidas en la línea.
- Soporte en el arranque de motores.
- Reducir las variaciones de tensión.

Cuando se considere una inversión en un capacitor serie para redes de distribución deberán tenerse en consideración los siguientes factores:

- Regulación de voltaje.
- Reducción de las pérdidas.
- Comparación con el costo para aumentar el voltaje del sistema.
- Ninguna necesidad de terreno adicional.
- Tiempo de instalación extremadamente corto.
- Facilidad de cambio del equipo a otro lugar.

Por todo lo dicho anteriormente, una combinación de tecnologías accesibles en la actualidad ha llevado a varias empresas entre estas a ABB a desarrollar equipos tales como el MINICAP, el cual es un concepto nuevo para compensación serie en líneas de distribución.

2.2 FUNDAMENTOS TEORICOS:

Miremos lo que pasa en un sistema ideal como el de la figura 5 en donde tenemos toda la carga concentrada en el extremo de la línea.

En lo que sigue, utilizaremos las siguientes designaciones para los datos del sistema:

V_1 = Tensión en el punto de alimentación

V_2 = Tensión junto a la carga

ΔV = Caída de tensión a lo largo de la línea

$\cos \phi_1$ = f.p. en el punto de alimentación

$\cos \phi_2$ = f.p. junto a la carga

R_l = Resistencia de la línea

X_l = Reactancia de la línea

X_c = Reactancia del capacitor serie

P_2 = Potencia activa de la carga

Q_2 = Potencia reactiva de la carga

S_2 = Potencia aparente de la carga

I = Corriente en la línea

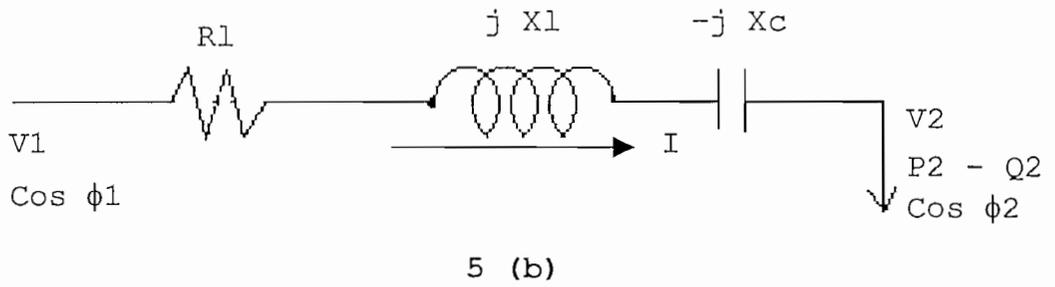
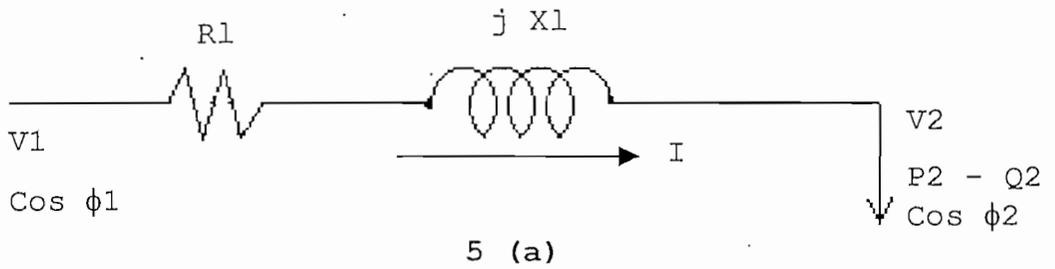


FIGURA 5

La figura 5 representa el esquema monofásico de una línea radial sin compensación y con compensación serie y carga concentrada en el extremo.

En la figura 6 se indica el diagrama fasorial de las tensiones de una línea radial sin compensación serie.

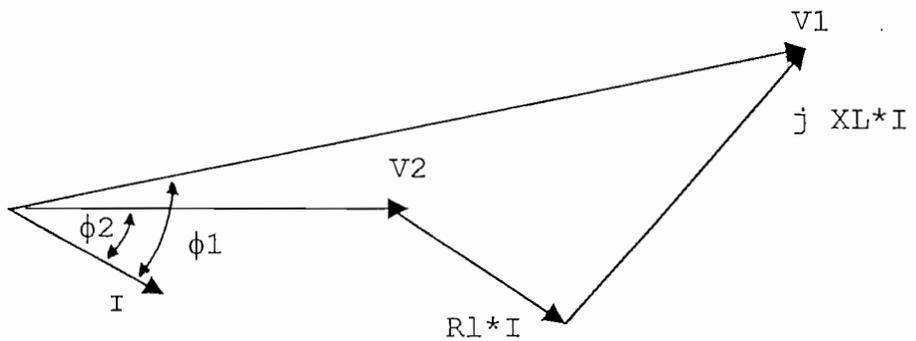


FIGURA 6

Como se puede observar en la figura 6 la tensión V_2 es menor que la tensión V_1 mientras que ϕ_1 es ligeramente mayor que ϕ_2 . Se puede observar que la caída de tensión depende no solamente de la reactancia de la línea sino también de la resistencia de la línea.

Si un capacitor serie con una reactancia X_c se instala en la línea, el diagrama fasorial tendrá el aspecto de la fig. 7. Este diagrama se ha dibujado asumiendo que la tensión en el punto de recepción V_2 se mantiene con un valor constante y que ϕ_2 e I no se alteran.

Comparando las fig. 6 y 7 se puede ver que el capacitor serie ha disminuido la diferencia entre las tensiones V_1 y V_2 o sea redujo la caída de tensión al mismo tiempo que mejoró el f.p ($\cos \phi_1$) en el punto de alimentación de la línea.

Se puede ver también que si el ángulo de fase ϕ_2 es suficientemente grande, es teóricamente posible utilizar un capacitor serie con una reactancia suficientemente grande para que las tensiones V_1 y V_2 sean iguales ($\Delta V=0$). Por otro lado si el ángulo de fase ϕ_2 está próximo a cero, el capacitor serie reduciría la caída de tensión de una forma insignificante. Una condición necesaria para que un capacitor serie reduzca la caída de tensión de una forma significativa es que la carga sea inductiva. Si la carga es capacitiva, el capacitor serie baja aún más la tensión junto a la carga.

Por razones de sencillez, en el diagrama fasorial de la

fig. 7, se ha asumido que la intensidad de carga en la línea era la misma antes y después de la instalación del capacitor serie. Si consideramos que en el caso de cargas industriales se utiliza un modelo de carga de potencia constante un aumento de la tensión V_2 es acompañada de una reducción de la corriente de línea I . Las pérdidas en la línea, por lo tanto disminuirán al igual que la caída de tensión ΔV .

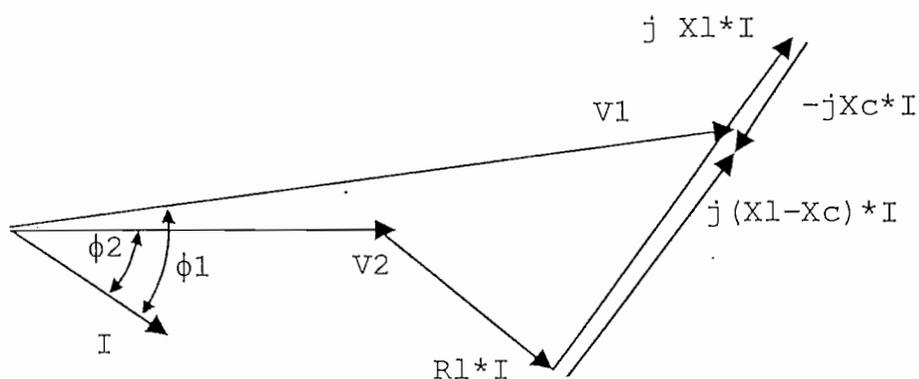


FIGURA 7. Diagrama fasorial de las tensiones de un alimentador radial con capacitor serie

A continuación se hará un estudio de las diferentes ventajas del método en mención:

2.2.1 PERFIL DE TENSION DE LINEA:

El capacitor serie da un control continuo y automático de la tensión, control que es determinado por la corriente de la línea.

Para una línea como la de la fig. 5(a) la caída de

tensión ΔV a lo largo de la línea puede escribirse de la siguiente forma:

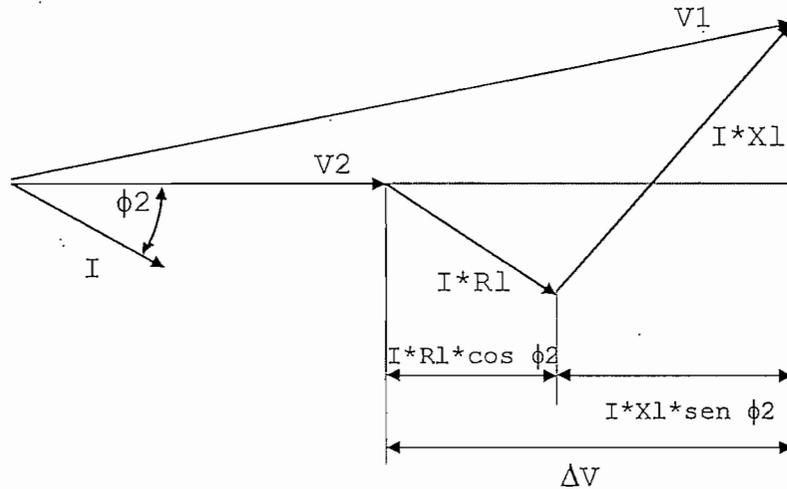


FIGURA 8

Caída de tensión ΔV en la línea:

$$\Delta V = I \cdot R_1 \cdot \cos \phi_2 + I \cdot X_1 \cdot \sin \phi_2$$

Si $\cos \phi_2 \approx 1$ entonces fp alto

$$\sin \phi_2 \approx 0$$

$$\Delta V = I \cdot R_1$$

→ No necesita compensación

Para una línea con compensación como la de la figura 5 (b) la caída de tensión de la línea se escribe de la siguiente forma:

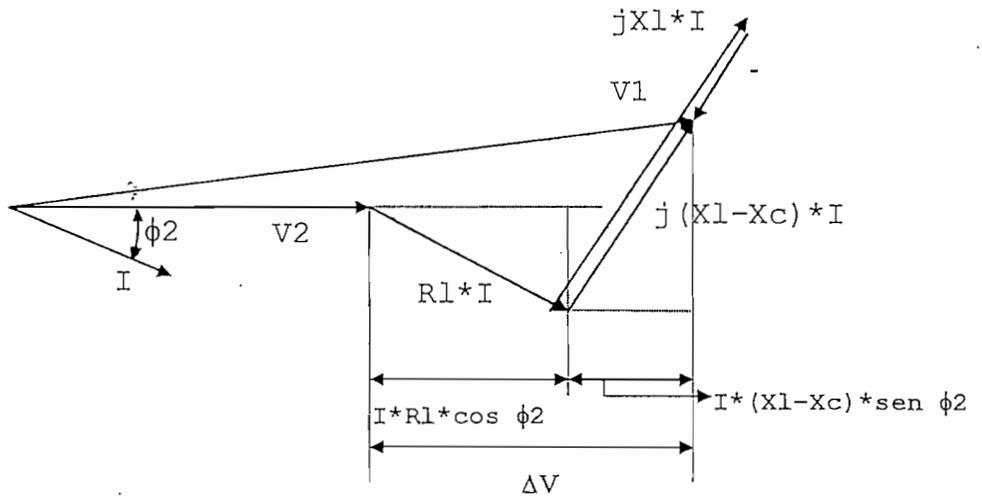


FIGURA 9

$$\Delta V = I \cdot R_1 \cdot \cos \phi_2 + I \cdot (X_1 - X_c) \cdot \sin \phi_2$$

$$P_2 = V_2 \cdot I \cdot \cos \phi_2$$

$$I \cdot \cos \phi_2 = \frac{P_2}{V_2}$$

$$Q_2 = V_2 \cdot I \cdot \sin \phi_2$$

$$I \cdot \sin \phi_2 = \frac{Q_2}{V_2}$$

$$\Delta V = R_1 \cdot \frac{P_2}{V_2} + (X_1 - X_c) \cdot \frac{Q_2}{V_2}$$

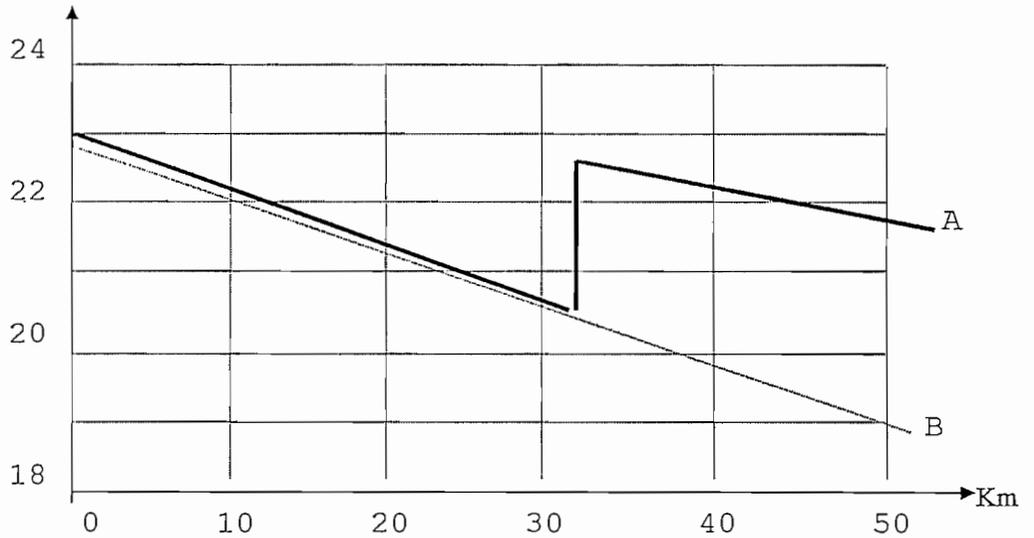
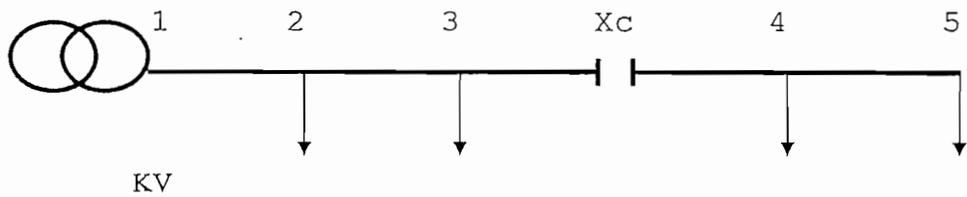
$$\Delta V = \frac{[R_1 \cdot P_2 + (X_1 - X_c) \cdot Q_2]}{V_2}$$

Considerando que: $R_1 = \text{cte.}$ $P_2 = \text{cte.}$ $Q_2 = \text{cte.}$

→ A menor $(X_1 - X_c)$ menor ΔV

⇒ Se reduce la caída de tensión.

La figura 10 nos ilustra una línea típica y su perfil de tensión con y sin compensación:



A ---- SISTEMA COMPENSADO
 B ---- SISTEMA SIN COMPENSACION

FIGURA 10

2.2.2 REDUCCION DE LAS FLUCTUACIONES DE VOLTAJE:

Al principio, cuando la industria eléctrica empezaba, era aceptado por los consumidores un grado mas o menos grande de variación de voltaje debido a que los mismos no estaban acostumbrados aún a tener intensidad luminosa constante.

Sin embargo, actualmente existe una mayor exigencia para que el voltaje esté dentro de los límites aceptables, ya que cuando el voltaje es demasiado bajo, las lámparas no dan suficiente intensidad luminosa y cuando el voltaje es

demasiado alto, la vida de las lámparas disminuye. Además con el desarrollo de nuevos equipos se han introducido cargas que provocan rápidas y frecuentes oscilaciones de voltaje y la práctica ha demostrado que estos cambios rápidos y frecuentes son más perjudiciales que los lentos, de tal manera que los efectos del flicker o parpadeo pueden limitar la capacidad de transporte de los circuitos.

El monto permisible de las fluctuaciones de voltaje no puede ser determinado exactamente debido a varias razones. En primer lugar se tiene el elemento humano, ya que un individuo puede pensar que es indeseable un flicker que no lo es para otro. Otro elemento de importancia es el tipo de iluminación usado, ya que por ejemplo las lámparas fluorescentes son más sensibles que las incandescentes a las variaciones de voltaje. También el carácter de las fluctuaciones es de importancia, ya que los cambios cíclicos y repetidos de voltaje son más perjudiciales que los no cíclicos. Estos y otros factores complican enormemente el problema de asignar límites permisibles para las fluctuaciones de voltaje.

Las causas más comunes para la producción de flicker son:

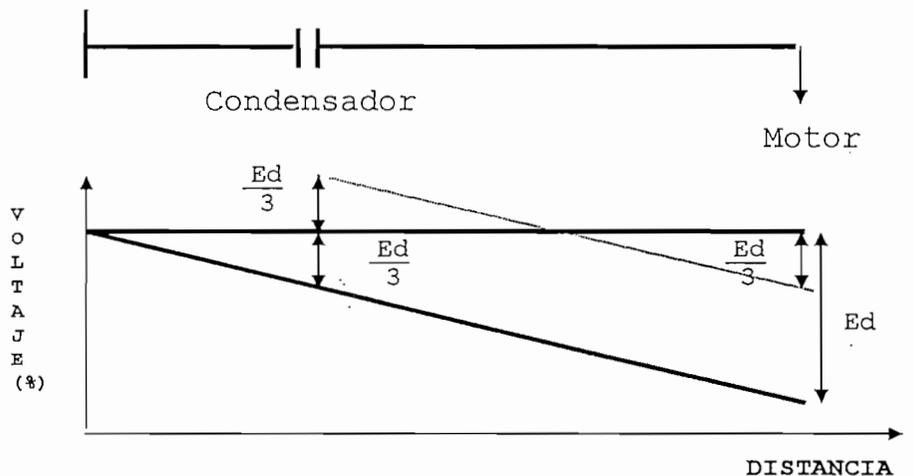
- a) Los motores son los que generalmente causan este parpadeo debido a que cuando arrancan la potencia absorbida por ellos es mucho mayor que la absorbida en funcionamiento normal, especialmente cuando hay arranques repetidos. Otra causa son los motores que están moviendo cargas variables o pulsantes como compresores de aire, bombas, refrigeradoras, cortadoras, etc.

- b) Hornos eléctricos de inducción y de arco.
- c) Soldadoras eléctricas.

El uso de capacitores serie con el sistema tiene un efecto correctivo instantáneo y esta es tal vez su mayor ventaja debido a que cualquier cambio en la corriente de línea causa un cambio inmediato en el voltaje compensador introducido por el capacitor.

Debido a que el capacitor produce una elevación brusca de voltaje en su punto de aplicación, las cargas que están inmediatamente antes y después del condensador diferirán en voltaje por una cantidad igual al aumento producido por el capacitor.

La referencia #8 indica que en general la mejor localización para el condensador en serie es a un tercio de la distancia eléctrica entre la fuente y la carga productora del flicker como muestra la siguiente figura. (Ver ref. 8, Pg. 104)



d= distancia eléctrica.

FIGURA 11. Localización del condensador en serie.

En principio el capacitor serie es efectivo para reducir el parpadeo causado por prácticamente todas las cargas fluctuantes. Sin embargo su efecto se siente únicamente detrás de su punto de aplicación y por lo tanto no corrige a todo el sistema.

En la siguiente figura se aprecia un cambio típico de voltaje de "Flicker" con y sin compensación.

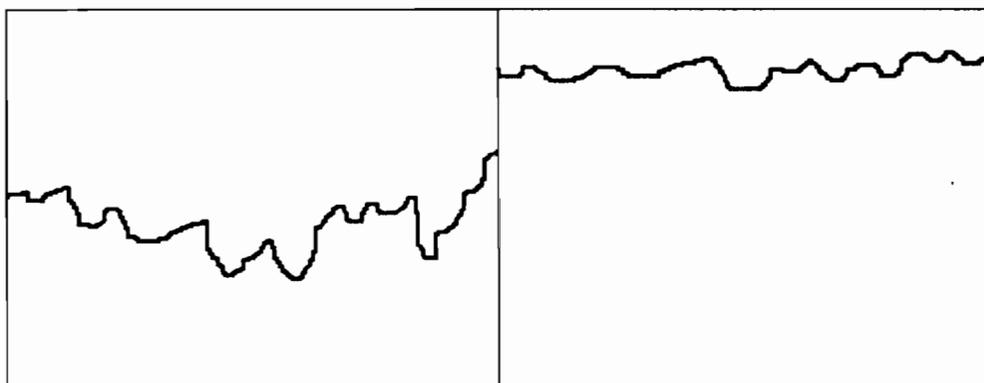


FIGURA 12. Registros típicos enseñando las reducciones de fluctuaciones de voltaje.

Se debe anotar también que el capacitor debe ser lo suficientemente grande como para poder soportar toda la corriente que alimenta a las cargas situadas detrás de él. Consecuentemente, si la carga productora del flicker es pequeña comparada con la carga normal, el costo del capacitor es demasiado grande en comparación con la corrección que se obtiene.

2.2.3 MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA:

Un capacitor serie genera potencia reactiva de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Q_c = I^2 * X_c$$

Visualizando esta fórmula en un diagrama e introduciendo los ángulos de los factores de potencia, es evidente que el capacitor serie mejora levemente el factor de potencia (fp):

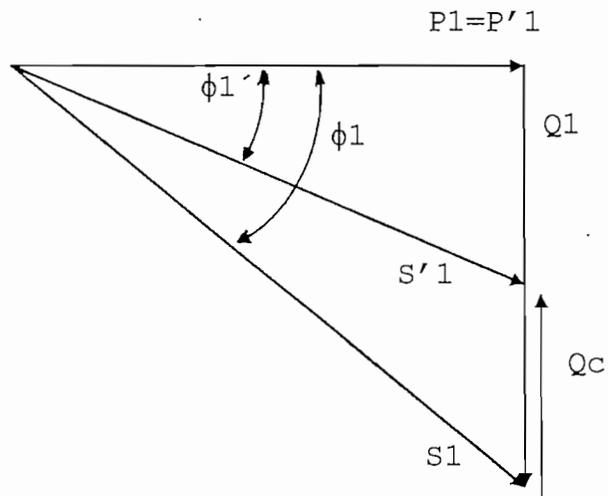


FIGURA 13

$$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

$$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad \text{Sin compensación}$$

$$\cos \phi_1' = \frac{P_1'}{S_1'}$$

$$\cos \phi_1' = \frac{P_1'}{\sqrt{P_1'^2 + Q_1'^2}} \quad \text{Con compensación}$$

$$\text{Como : } P_1 = P_1' \quad \text{i} \quad Q_1' = Q_1 - Q_c$$

$$\cos \phi_1' = \frac{P_1'}{\sqrt{P_1'^2 + (Q_1 - Q_c)^2}}$$

Con compensación:

$$\rightarrow \cos \phi_1' = \cos \phi_1$$

\Rightarrow Se mejora el factor de potencia

Si: $X_c = X_l$ se estaría compensando los reactivos de la línea resultando de esto un aumento del factor de potencia, y los únicos reactivos que se deberían considerar son los provocados por los transformadores y por la misma carga.

2.2.4 REDUCCION DE LAS PERDIDAS:

Introduciendo un capacitor serie en una línea con carga inductiva, la tensión junto a la carga aumenta tal como hemos visto anteriormente. Al tener un modelo de potencia constante, al aumentar el voltaje la corriente de la línea se reduce con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{S_2}{V_2}$$

Esto afecta las pérdidas en la línea, las cuales son proporcionales al cuadrado de la corriente en la línea.

$$P_{\text{per}} = I^2 * R_l$$

Si el voltaje se incrementa en aproximadamente un 10% la corriente disminuirá también aproximadamente en un 10%, y las pérdidas se reducirán en un 19 %.

⇒ Las pérdidas se reducen en un 19%

$$\Rightarrow \Delta P = (\Delta I^2 - 2 * \Delta I) * P_{\text{per}1} \quad \text{FORMULA SIMPLIFICADA}$$

donde: ΔI = Reducción de la corriente en porcentaje

I_1 = Corriente inicial

I_2 = Corriente final (compensada)

$$I_2 = I_1 - 0,1 * I_1$$

$$P_{\text{per} 1} = I_1^2 * R_l$$

$$P_{\text{per} 2} = I_2^2 * R_l$$

$$P_{\text{per} 1} = I_1^2 * R_l$$

$$P_{\text{per} 2} = (0,9 * I_1)^2 * R_l$$

$$\frac{P_{\text{per} 1}}{P_{\text{per} 2}} = \frac{1}{0,81}$$

$$P_{\text{per} 2} = 0,81 * P_{\text{per} 1}$$

$$\rightarrow P_{\text{per} 2} < P_{\text{per} 1}$$

2.2.5 SOPORTE EN EL ARRANQUE DE MOTORES:

El pico de la demanda de potencia de un motor durante

su arranque, será eficientemente soportado por un condensador serie en la línea. Las variaciones de tensión serán limitadas por el hecho de que el capacitor hace la línea más fuerte una vez que reduce su reactancia.

Sin embargo, en instalaciones que tienen motores de potencias elevadas, tiempo de arranque muy largo o un torque mecánico muy fuerte, deberá realizarse un estudio previo para evitar autoexcitación de los mismos. (Ver Ref. 8, Pg. 123)

2.3 PROBLEMAS DE APLICACION DE LOS CAPACITORES SERIE Y SOLUCIONES:

Conjuntamente con las ventajas que presentan los capacitores serie instalados en sistemas de distribución existe la posibilidad de que se produzcan ciertos fenómenos indeseables en el sistema.

Existen algunas perturbaciones que pueden promover un estado transitorio en el sistema, pero las que se considera requieren especial atención son las de energización y cortocircuito.

Otros fenómenos indeseables están relacionados generalmente con ciertas clases de resonancia, los mismos que hasta épocas recientes no han permitido que instalaciones de capacitores en serie sean usadas aún cuando estas eran la mejor solución para resolver ciertos problemas de operación del sistema.

En muchos de los casos las dificultades que se van a

encontrar pueden ser anticipadas y por lo tanto pueden tomarse las precauciones adecuadas para que el sistema funcione sin problemas.

2.3.1 REGIMEN TRANSITORIO, ENERGIZACION Y CORTOCIRCUITO:

ENERGIZACION:

Para encontrar la forma de onda de la corriente del sistema el instante de la energización nos valdremos del siguiente modelo:

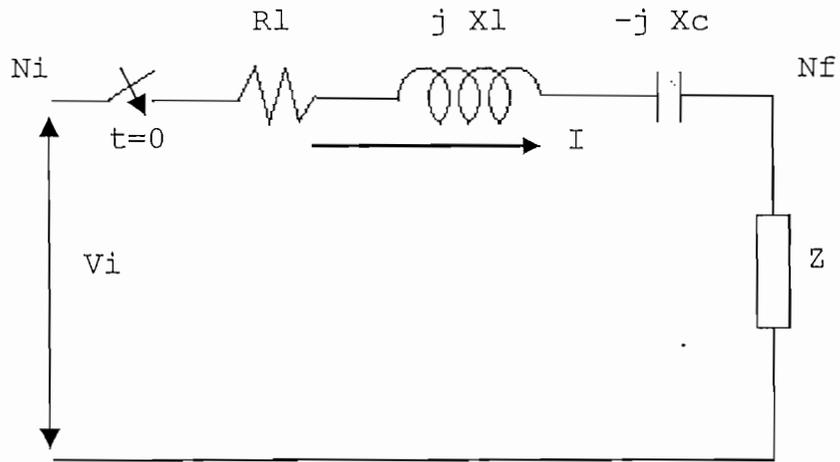


FIGURA 14

Donde:

- Ni= Nodo inicial
- Nf= Nodo inmediatamente posterior al condensador
- Rl= Resistencia de la línea entre Ni - Nf
- Xl= Reactancia inductiva de la línea entre Ni-Nf
- Xc= Reactancia capacitiva por fase del capacitor serie.
- Z= Impedancia de carga
- Vi= Voltaje del Ni por fase

Témos un sistema RLC serie cuya corriente esta representada por la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d^2}{dt^2} I + \frac{R_t}{L_t} \frac{d}{dt} I + \frac{I}{C * L_t} = \sqrt{2} * w * V_{ef} * \frac{\cos(wt + \delta)}{L_t}$$

Donde:

R_t = Resistencia total

R_t = $R_l + R_{carga}$

X_{lt} = Reactancia inductiva total

X_{lt} = $X_l + X_{lcarga}$

L_t = Inductancia total

Las formas de onda de la corriente, voltaje en el capacitor y voltaje en la carga en energización podrá verse cuando se realice la compensación serie en un alimentador típico de la E.E.Q.

Para evitar problemas de ferresonancia durante la energización de la línea el MINICAP tiene algunas funciones básicas que se indicarán en el siguiente numeral.

CORTOCIRCUITO:

En el sistema se analizará el cortocircuito cerca del condensador pues este es un punto crítico por el alto valor de corriente que puede producirse.

Para el estudio del sistema en cortocircuito se utilizará el siguiente modelo eléctrico:

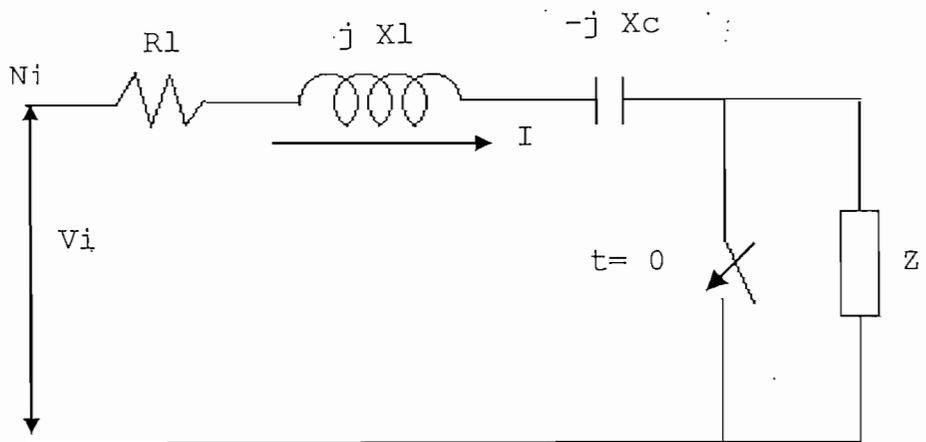


FIGURA 15

La ecuación diferencial que representa la corriente total en cortocircuito es exactamente igual a la que se obtuvo en energización lo que cambia son los valores de la resistencia y reactancia pues ya no se toma en cuenta la impedancia de la carga, y también cambian las condiciones iniciales.

De igual manera que en la energización las formas de onda de la corriente y voltaje sobre el condensador en cortocircuito se observará cuando se realice la compensación serie de un alimentador de la E.E.Q.

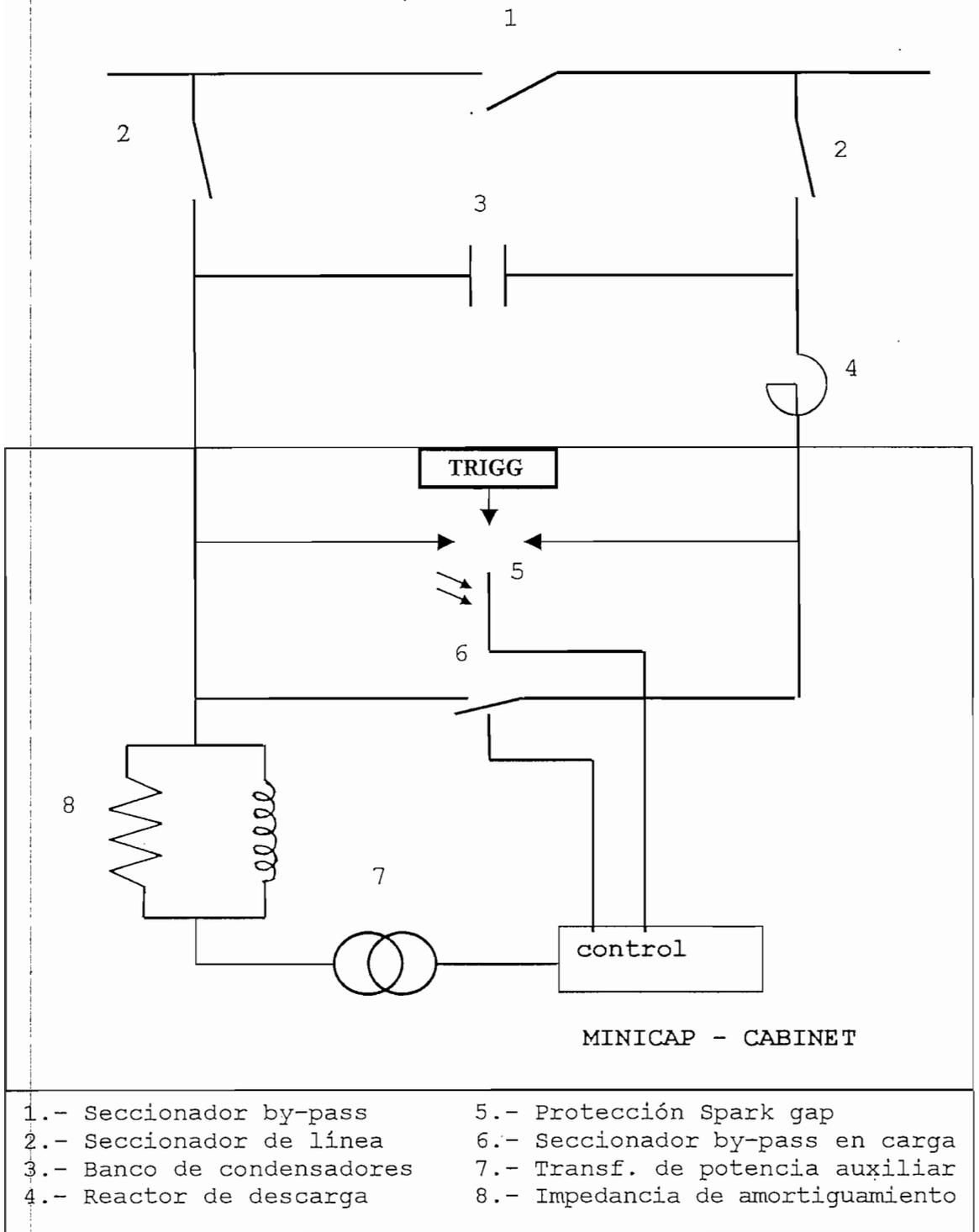


FIGURA 16: DIAGRAMA UNIFILAR DEL MINICAP

El MINICAP en condiciones de falla funciona de la siguiente manera:

1. Al ocurrir fallas después del capacitor serie, la corriente de falla origina una sobre tensión a los terminales del capacitor. Cuando esta sobre tensión llega a un determinado valor, la resistencia de óxido de zinc activa el spark gap (5) que bypasa el capacitor. La impedancia de la línea no compensada reduce la corriente de falla.
2. Tan pronto una de las fases del spark gap dispara, la luz provocada por el arco eléctrico es detectada por vía óptica y a través de fibras ópticas enviada como señal para operar el seccionador en carga (6) que corto circuita el spark gap. El seccionador en carga es siempre operado trifásicamente.
3. Normalmente el interruptor de línea opera y la línea es desconectada.
4. Un corto espacio de tiempo mas tarde el interruptor de línea cierra.
 - . Si la falla desapareció, el muelle del mecanismo de operación del seccionador en carga (6) es automáticamente cargado y el capacitor serie se incerta en la línea.
 - . Si la falla no desapareció, el seccionador de línea vuelve a abrir antes que el seccionador en carga tenga su muelle completamente cargado de forma que pueda abrir.

2.3.2 FERRORESONANCIA:

Cuando un transformador es energizado, este toma una corriente transitoria de excitación sumamente grande. Si un

capacitor está en serie en el circuito, este puede ocasionar una condición de resonancia, lo cual hace que esta corriente continúe circulando, causando un daño irreparable tanto en el capacitor como en el transformador. Este fenómeno se denomina ferresonancia.

Este fenómeno de la ferresonancia puede ocurrir particularmente si la reactancia del capacitor excede a la reactancia inductiva del circuito de alimentación y no solamente cuando el transformador es energizado sino también cuando hay rápidas fluctuaciones de carga, ya que la corriente de descarga del capacitor produce una componente unidireccional en el transformador causando una saturación, por lo cual este fenómeno está relacionado con la forma de la curva característica de magnetización del transformador.

La ferresonancia en la mayoría de los casos se elimina automáticamente por medio del gap, ya que la corriente de magnetización es probablemente de magnitud suficiente y de frecuencia suficientemente baja como para poder hacer que a través del capacitor aparezca un voltaje lo suficientemente alto como para poder hacer operar el gap. Ahora bien, conforme el período transitorio de excitación llega a su fin, la corriente que fluye a través del gap va disminuyendo y cuando se llega al estado estable la corriente de estado estacionario que circula a través del gap por un corto período es generalmente tan pequeña que no se puede cebar el arco a través del gap, lo cual hace que el condensador sea reinsertado en el circuito automáticamente.

La posibilidad de que el gap pueda prevenir la

ferroresonancia se revisa por medio de oscilogramas luego de que el capacitor ha sido instalado. Si las pruebas indican que el gap es inadecuado, la ferroresonancia puede ser eliminada poniendo una resistencia en paralelo con el capacitor, la cual puede ser la misma que se usa para prevenir la resonancia subsincrónica con los motores. También se puede hacer que en el momento de energizar el transformador, haya una carga mínima aplicada a él, ya que esto trae como consecuencia la disminución de la corriente transitoria de magnetización.

La empresa ABB fabricante del equipo MINICAP sugiere que el capacitor serie deberá estar cortocircuitado durante unos 15 segundos después de la energización del transformador, esto está automáticamente asegurado por el equipo pues el mismo tiene las siguientes funciones básicas (ver figura 16):

1. Antes de energizar la línea los seccionadores (2) están cerrados y el seccionador (1) está abierto. El seccionador by-pass en carga (6) siempre está cerrado. Ver figura (16).
2. Cuando se energiza la línea, el mecanismo de operación del seccionador by-pass es cargado a través del transformador de tensión (7) después de un retardo que puede variar entre 0 y 30 seg. La secuencia de carga del muelle de cierre seguida de la carga del muelle de apertura tarda aproximadamente 10 seg. Tan pronto la carga haya terminado, el seccionador abre e inserta el capacitor en la línea.
3. Después de la inserción del capacitor en la línea, el

muelle de cierre del mecanismo de operación del seccionador by-pass en carga está listo para una operación de cierre máximo 150 ms. después de una señal de cierre.

4. Cuando se desenergiza la línea y la tensión baja a un determinado valor, el seccionador by-pass en carga (6) cierra. Esto nos asegura que mientras la línea esté fuera de servicio el capacitor esté bypassado.

EN CIRCUITOS QUE CONTIENEN MOTORES:

El voltaje a través de los capacitores en serie, depende de la corriente que fluye por la línea y es normal el uso de aparatos y dispositivos de protección, que limiten el valor de este voltaje a un valor seguro.

Los capacitores en serie instalados en circuitos que alimentan a cargas que en su mayor parte son motores, deben tener un voltaje nominal lo suficientemente alto como para poder soportar las corrientes de arranque de los motores y es importante diseñar el equipo de protección del capacitor contra sobrevoltajes para que no opere en las condiciones de arranque.

La referencia #8 en la página 124 indica que la práctica ha demostrado que para calcular el voltaje nominal continuo del capacitor se puede emplear con seguridad la siguiente fórmula:

$$V_n = \frac{1}{1,5} * I_{arr} * X_c$$

Donde:

V_n = Voltaje nominal continuo del capacitor

I_{arr} = Corriente instantánea de arranque de los motores.

X_C = Reactancia del capacitor

Pero no solamente este problema de sobrevoltajes producidos por las corrientes de arranque de los motores es el que se encuentra en esquemas eléctricos de capacitores en serie con motores, sino que además hay otro más importante que es el de la resonancia subsincrónica durante el arranque de los motores.

Cuando un motor de inducción o un motor sincrónico arranca a través de un capacitor en serie, el rotor del motor puede bloquearse y continuar girando a una velocidad menor que la velocidad sincrónica. Esta condición se la conoce con el nombre de resonancia subsincrónica y es producida por el capacitor cuya reactancia en unión con la reactancia inductiva del circuito del motor establece un circuito resonante a una frecuencia más baja que la de la fuente de alimentación. Bajo tales condiciones el rotor actúa como un generador sincrónico estable, ya que recibe energía de la fuente de alimentación a la frecuencia nominal a través del estator y la transforma a frecuencia subsincrónica, la cual retorna al circuito que contiene el capacitor. (Ver ref. 8, Pg. 124 - 125)

Este circuito estando en resonancia, presenta una impedancia mínima al voltaje subsincrónico y en consecuencia conduce una elevada corriente, de tal manera que un motor que

opera bajo tales condiciones puede dañarse por causa de una excesiva vibración o un excesivo calentamiento aumentando así las pérdidas.

La frecuencia subsincrónica depende de los tamaños relativos del capacitor y del motor. La capacidad (KVAR) del capacitor es determinada por la capacidad del circuito y consecuentemente la frecuencia resonante depende indirectamente de la relación que existe entre la potencia del motor y la capacidad de la línea que lo alimenta. Esta frecuencia subsincrónica cae generalmente en el rango de 20 a 30 ciclos para un motor de 60 ciclos cuya potencia sea igual a la mitad de la capacidad de la línea.

El método más común de prevenir la resonancia subsincrónica es el eliminar dicha frecuencia colocando una resistencia en paralelo con el capacitor. La resistencia que se use debe ser tan grande como sea posible para que las pérdidas continuas en esta resistencia sean pequeñas, ya que estas son iguales al cuadrado del voltaje a través del capacitor dividido para el valor de la resistencia. Es una práctica común el usar resistencias ajustables dentro de un rango predeterminado, particularmente en las instalaciones grandes. No obstante, cuando no es posible usar una resistencia grande, se puede usar resistencias de valores pequeños que pueden ser desconectadas cuando el motor ha alcanzado su velocidad nominal y el riesgo de resonancia haya pasado. La desconexión puede ser manual, por control remoto con hilo piloto o por medio de ondas de radio con un equipo de desconexión operado eléctricamente.

Si los motores no arrancan con frecuencia, la resonancia subsincrónica puede evitarse sin usar resistencias, cortocircuitando el capacitor cuando arranca el motor. Además si es aceptable un desbalance temporal, se puede evitar la resonancia en algunos casos cortocircuitando solamente una fase del banco de capacitores, lo cual hace más económico el esquema eléctrico ya que el equipo de conexión y desconexión es más fácil.

Cuando existe resonancia subsincrónica en un sistema de potencia, la caída de voltaje a través del capacitor aumenta y este voltaje puede ser lo suficientemente grande como para que el equipo de protección del capacitor opere cortocircuitando el mismo. Esta operación elimina la condición de resonancia y permite que el motor alcance su velocidad nominal para que luego de un momento el capacitor sea automáticamente reconectado al circuito. Esta secuencia de operaciones puede hacer posible, en algunas ocasiones, particularmente cuando los motores no tienen arranques continuos, usar únicamente el equipo de protección del capacitor contra sobrevoltajes para prevenir la resonancia subsincrónica y tal vez para eliminar la necesidad de usar resistencias en paralelo. (Ver ref. 8)

2.4 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y DE INSTALACION:

Un banco de capacitores serie está constituido de tres bancos monofásicos.

El banco monofásico de condensadores serie, lo forman grupos de unidades capacitivas acopladas en serie y paralelo

para obtener la potencia y reactancia deseadas, y de dispositivos de protección y control montados sobre una plataforma aislada de tierra.

Un esquema equivalente a este banco serie se indicó anteriormente en la figura 16, donde son mostrados los componentes principales del equipo.

Un capacitor serie sea como sea puede estar sujeto a altos pero cortos sobrevoltajes. En el evento de un corto circuito en la línea, el voltaje del capacitor subiría fuertemente (en el orden de 3 a 4 veces el voltaje nominal) dependiendo de la relación X/R de la línea, lo que no se permite si el spark gap (chispero) se conecta en paralelo. Este voltaje sometería al capacitor a un grave esfuerzo si se permite que permanezca por un largo tiempo. El voltaje cae, tan pronto como el spark gap es conectado. Cuando el spark gap conecta, el capacitor está sujeto a un incremento de esfuerzo debido a la violenta descarga de corriente. Por otra parte, el capacitor serie está expuesto solo a plena carga térmica durante los breves períodos de alta carga en la red. Cuando seleccionamos las unidades de capacitores, es preferible, por eso, poner gran énfasis en que estos deben tener un buen dieléctrico contra breves sobrevoltajes.

Las unidades de capacitores tipo CTD y CKT son usadas por ABB para capacitores serie, por cumplir estos requerimientos. Estos dos tipos contienen un número de capacitores conectados en paralelo, elementos impregnados de aceite, una lámina de metal es uno de los dos contactos eléctricos y contacto mecánico con el depósito (tanque). Cada

unidad, por eso, requiere un solo terminal aislado, el otro terminal es el mismo tanque. Buenos contactos metálicos entre las láminas y el tanque permiten la disipación de calor producido en el interior del capacitor y al subir la temperatura del material activo pueda así tener usualmente un bajo nivel térmico.

Todos los elementos conectados en paralelo son individualmente protegidos por fusibles en el interior del tanque. Cuando un corto circuito ocurre en un elemento, este es desconectado automáticamente con pocas perturbaciones externas y la capacitancia de la unidad es reducida.

Si el esfuerzo dieléctrico es alto, existe un riesgo de ionización. Este riesgo puede ser reducido considerablemente, si el líquido impregnado es mantenido a una sobre presión, este es el caso de las unidades de este tipo.

La forma rectangular del tipo CTD, su diseño rígido y opciones de acople en los 4 lados del tanque hacen muy simple el montaje de un banco de capacitores del tamaño requerido.

El tipo CKT es un tanque cilíndrico con láminas de enfriamiento soldadas en un extremo. El ensamblaje de estas unidades es también muy simple, estas pueden unirse sus armazones fácilmente y ser removidas independientemente la una de la otra, lo cual es una gran ventaja para bancos grandes.

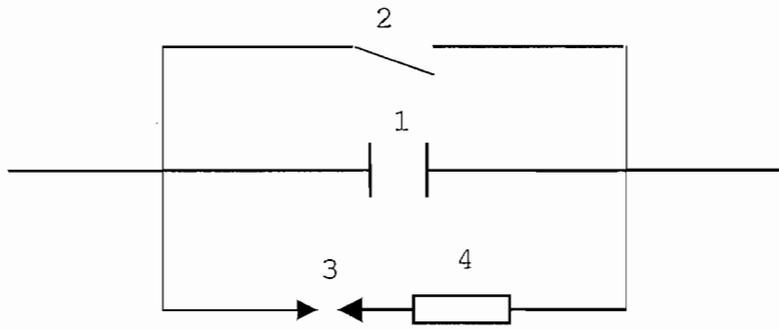
En capacitores serie, el valor del voltaje nominal de un banco está solo alrededor de $1/5$ hasta $1/10$ del voltaje

entre líneas. Para sostener la unidad del capacitor su armazón está debidamente aislada. El voltaje nominal más conveniente para capacitores de papel impregnados de aceite está alrededor de 800 - 1600 (V) por unidad.

EQUIPO DE PROTECCION:

Un capacitor serie está expuesto a las variaciones de la corriente de línea durante condiciones anormales, como corto circuitos, esta corriente puede alcanzar valores mucho mayores que la corriente nominal; 10 a 15 veces no es raro. Un capacitor no puede resistir semejante sobrecarga, y es por esto que se necesita una buena protección. La protección consiste, en principalmente, un paralelo con el capacitor que facilita el paso de la corriente de corto circuito por este by-pass (derivación). Si lo que prima en un diseño en particular es el aspecto económico se deja fuera esta protección y se diseña en lugar de esta, capacitores para altas corrientes nominales en casos excepcionales y con bancos muy pequeños.

Para capacitores pequeños con rangos de hasta unos cientos de KVAR, el equipo de protección consiste de un spark gap asociado a una impedancia de amortiguamiento y un seccionador derivación (by-pass) como se puede ver en la siguiente figura.



- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1.- Banco de condensadores | 3.- Spark gap (chispero) |
| 2.- Seccionador by-pass | 4.- Impedancia de amortiguamiento |

FIGURA 17: Equipo de protección para una pequeña instalación de capacitores serie.

Un equipo de protección completo para un capacitor serie consiste de protecciones para sobrevoltajes, sobrecargas, desbalances y subarmónicos, también de equipo de amortiguamiento, circuito interruptor by-pass y reactor de descarga.

Estas son de una forma simple:

PROTECCION DE SOBREVOLTAJE

Consiste de un spark gap (chispero). El requerimiento principal del spark gap utilizado en el equipo de protección simple de la figura 17 es que debe ser capaz de resistir la corriente de cortocircuito por un período seguro, determinado por el equipo de protección de la línea. Además, el disparo del spark gap puede producir la extinción automática del arco producido por el cortocircuito y no permitir que este continúe.

El spark gap también incorporado en la protección de sobrevoltaje usado en el equipo de protección más completo mostrado en la figura 16 debe ser capaz de soportar y auto extinguir una corriente de cortocircuito. Al cerrarse el breaker del by-pass por la activación del spark gap permite que se extinga el arco del mismo. Al detectarse la falla entra a funcionar el control activando el seccionador by-pass en paralelo con la protección spark gap. La detección de la falla se puede realizar por medio de sensores ópticos que activan el control el momento del arco en el spark gap o por medio de relays y transformadores de corriente que detectan una corriente por el spark gap. El seccionador by-pass se abre automáticamente otra vez después de unos pocos segundos, entrando a funcionar nuevamente el capacitor.

Los bancos de capacitores protegidos con spark gaps y seccionadores by-pass en un cortocircuito casi inmediatamente se conectan y consecuentemente evitan el aumento de la potencia de cortocircuito en las instalaciones detrás del capacitor serie.

PROTECCION DE SOBRECARGA:

Esta protección comprende un relé térmico alimentado desde la bobina secundaria del reactor de descarga. En el evento de una sobrecarga peligrosa, el circuito interruptor by-pass cierra automáticamente y debe ser abierto manualmente.

PROTECCION BALANCEADORA:

El propósito de esta protección es el de proteger al capacitor contra sobrevoltajes los cuales pueden deberse a cambios en la distribución de corrientes por el banco cuando una de las unidades capacitivas tenga una falla parcial o total y esto trae como consecuencia la desconexión de los fusibles, esta protección es necesaria cuando existen bancos asociados en serie y paralelo.

Las unidades son colocadas en una conexión puente con un transformador de corriente o voltaje entre los puntos de igual potencial del puente sujeto a vigilancia en falla. En el evento de cualquier desbalance, un flujo de corriente en el neutro o, cuando usamos un transformador de voltaje, un voltaje es obtenido entre los puntos equipotenciales. La corriente o voltaje de desbalance transmiten un impulso de cierre a los relays del circuito seccionador by-pass, esto produce un desvío en el capacitor serie (capacitor by-pasado).

EQUIPO DE AMORTIGUAMIENTO:

Este equipo es destinado a proteger el banco contra descargas violentas del capacitor cuando el spark gap ingresa al circuito o es cerrado el circuito seccionador. Este equipo consiste de elementos amortiguadores como resistores y reactores conectados en serie con el spark gap y el circuito seccionador by-pass. Si los elementos amortiguadores son seleccionados con propiedad, se hace posible realizar un buen amortiguamiento de la corriente de descarga y una disminución de la corriente pico de descarga.

La empresa ABB diseña los circuitos seccionadores by-pass del tipo HLA de bajo contenido de aceite para funcionamiento a la intemperie motorizado. El circuito seccionador es diseñado para 10 y 20 Kv. y, con una corriente nominal de 400 A., adecuado para todo capacitor serie dentro de este voltaje nominal.

Los relés y filtros son acomodados en una cabina, los cuales pueden ser montados out-of-doors (instalación externa).

El voltaje de control se obtiene de una batería asociado con un transformador y rectificador, a menos que otro origen de voltaje este disponible.

El seccionador es destinado para by-pass de la instalación. Instalaciones grandes y muy importantes son equipadas no solo con este seccionador si no también con 2 seccionadores adicionales (ver figura 16) lo cual hace posible que se pueda desconectar un seccionador para mantenimiento y conectar el otro para que la red siga funcionando.

DISEÑO DEL MINICAP:

La empresa ABB ofrece en el mercado un equipo para compensación serie de líneas de distribución llamado MINICAP el cual esta diseñado de la siguiente manera:

Todo el equipo está montado en un arreglo basado en dos postes.

Los capacitores, seccionadores de línea y los reactores de amortiguamiento están instalados al nivel de la línea. Todos los demás equipos de protección y by-pass están instalados en un armario aterrado con fácil acceso para inspección y mantenimiento desde el suelo. El armario está conectado a los capacitores y reactores a través de cables aislados con Polietileno Reticulado (XLPE). Los cables garantizan aislamiento completo hasta el nivel requerido por motivos de seguridad. No hay necesidad de mas espacio y habitualmente no se necesita cercado alrededor de la instalación.

El diseño del MINICAP es valido para tensiones de hasta 36 (KV) y corrientes de línea de hasta 630 (A). El tamaño del capacitor puede escogerse libremente de acuerdo con las necesidades del sistema.

La protección contra sobretensiones y el equipo de by-pass del capacitor son de diseño standard para corrientes de cortocircuito de hasta 10 (KA). El equipo de protección consiste de un spark gap disparado por una resistencia de óxido de zinc. El nivel de protección es determinado por la resistencia. No hay necesidad de ajuste fino del spark gap ni compensación contra el desgaste de los electrodos.

El armario completo es suministrado con protección de sobre tensiones, seccionador by-pass, transformador de tensión, relés, control, conductores y cables de alta tensión para las conexiones exteriores.

La energía auxiliar se toma de un transformador de

tensión conectado entre dos fases y provisto con un sistema de almacenamiento de energía del capacitor. Las pérdidas en los componentes y una resistencia adicional de calefacción controlada por un termostato garantizan que corrosión debida a condensación dentro del armario no se produzca. El armario tiene habitualmente aislamiento térmico.

El seccionador by-pass es de diseño standard, motorizado y con mecanismo de muelle.

Como equipo adicional para el MINICAP, hay un detector de resonancias para ser montado en el armario en los casos donde se teme pueda haber peligro de resonancias. La señal de salida de este detector puede utilizarse de formas distintas dependiendo de la aplicación. Una forma de utilizarlo es by-pasar el capacitor durante un período de tiempo determinado. En otras aplicaciones en las cuales se necesita el capacitor conectado permanentemente en el circuito, por ejemplo al arrancar un motor, la señal puede utilizarse para controlar un circuito exterior de amortiguamiento.

MANTENIMIENTO:

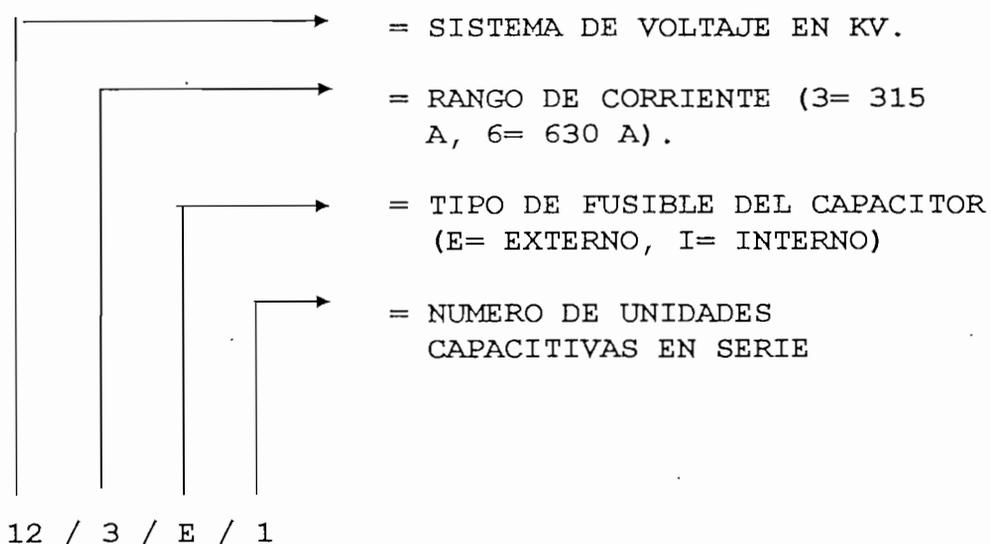
Una gran ventaja de este equipo es el mínimo mantenimiento que requiere, debiendo realizarse una inspección general de las siguientes funciones una vez al año:

- Estado general del armario.
- Termostato y resistencia de calefacción.
- Seccionador by-pass en carga. Operar el seccionador y

control de los contactos.

- Control del spark gap y del circuito de disparo resistencia de óxido de zinc. El diseño es completamente abierto para facilitar inspección visual.
- Control de fusibles fundidos en caso de que los capacitores tengan fusibles exteriores. En el caso que se estén utilizando capacitores con fusibles internos, verificar el valor de la capacidad por fase con un puente de mediciones. Se puede hacer muy fácilmente en el armario con el seccionador by-pass en carga abierto.

A continuación se indica lo que representa la leyenda TIPO:



LOCALIZACION:

La localización del capacitor serie dependerá básicamente de la distribución de carga que tengamos a lo largo de la red de distribución y del beneficio técnico

específico que queremos tener en nuestro sistema así:

Si queremos disminuir o eliminar el parpadeo (flicker) la mejor localización para el capacitor serie como ya se dijo anteriormente, es a un tercio de la distancia eléctrica entre la fuente y la carga productora del parpadeo.

Si la carga esta concentrada al extremo de la línea, la localización del capacitor serie no tiene influencia alguna sobre el voltaje receptor. Pero si la carga esta distribuida a lo largo de la línea y el objeto de instalar capacitores serie es el de mejorar la regulación de voltaje, el capacitor debe ser instalado en un lugar tal que produzca una uniforme repartición de voltaje entre las cargas, siendo esta posición generalmente el centro de carga de la línea o en el lugar donde ya no se cumpla el mínimo voltaje exigido por las empresas eléctricas en nuestro caso una caída de voltaje máxima de 5%.

Si lo que se quiere es mejorar la capacidad de transmisión de la línea, el punto medio de la línea es la posición más adecuada.

Si el capacitor serie se localiza muy cerca al terminal emisor de la línea, las condiciones de falla que el equipo de protección del capacitor debe soportar son más severas. (Ver ref. 8)

Ahora bien, si después de un estudio técnico se ha determinado que el capacitor serie debe ser instalado cerca a un transformador, la posición más económica del mismo, es decir, en el lado primario o secundario será seleccionada

teniendo en cuenta el aislamiento requerido, el voltaje a través del dieléctrico y el equipo de protección necesario.

En sistemas complejos es necesario hacer un análisis más profundo y a menudo se deberá utilizar un simulador para poder determinar la localización más adecuada para un capacitor serie.

2.5 RANGOS DE APLICACION:

El diseño del MINICAP es válido para tensiones de hasta 36 (KV) y corrientes de línea de hasta 630 (A).

En general, la posibilidad de que existan condiciones de resonancia subsincrónica, debería ser revisada en todos los circuitos en los cuales exista un motor cuya potencia sea mas del 5% de la capacidad del circuito. Sin embargo la empresa ABB indica que los motores que tienen una capacidad menor que el 10% de la capacidad del circuito de alimentación, no encuentran dificultad alguna para arrancar sin carga, pero cuando los motores están moviendo grandes cargas con gran inercia, el circuito debe ser revisado para la condición de resonancia subsincrónica, aún cuando la potencia de los motores sean menores que el 5% de la capacidad del circuito.

2.6 RESTRICCIONES:

El primer paso en el diseño de un capacitor serie es encontrar el grado de compensación óptimo. Por lo general, hay un gran interés en utilizar un grado de compensación

elevado para conseguir un perfil de tensión bastante llano a lo largo de la línea. Pero el obtener un grado de compensación alto trae como resultado el tener algunos fenómenos de resonancia, para evitar estos fenómenos se recomienda se sigan las precauciones básicas que se indican a continuación:

1. PRECAUCION GENERAL

Sobre compensación, o sea, un grado de compensación $X_c/X_l > 1$ debe evitarse en los casos en que $R/X_l < 1$.

Donde:

X_l = Reactancia inductiva del circuito

X_c = Valor absoluto de la reactancia capacitiva del condensador serie

R = Resistencia total del circuito hasta el "punto de carga principal"

Nota: "punto de carga principal" es el primer punto de carga abajo del condensador serie.

2. PRECAUCION CONTRA FERRORESONANCIA EN TRANSFORMADORES:

El capacitor serie debe ser ubicado de forma que el voltaje en tomas de carga "abajo" del condensador sea menor o igual a 110% del voltaje nominal, esto para evitar ferroresonancia en transformadores de distribución conectados en esas tomas de carga.

Un capacitor serie no debería ser colocado, inmediatamente antes de un transformador si es que es capaz

de elevar el voltaje hasta la región de saturación del transformador, ya que esto produciría una condición de ferresonancia.

3. PRECAUCION CONTRA AUTO EXCITACION DE MOTORES DE INDUCCION DURANTE EL ARRANQUE

Este punto trata del arranque de motores de inducción y del arranque asincrónico de motores sincrónicos. En el caso de que algunas de las condiciones que se indicarán a continuación se verifiquen no se deberá instalar un condensador serie sin que un estudio previo demuestre que no surgirán problemas.

- a) Arranque de un motor con una potencia mayor que el 5% de la potencia de la línea.
- b) Arranque de un motor con una potencia mayor que el 20% de la potencia en MW conectada después del condensador serie en un sistema de distribución en carga.
- c) Tiempo de arranque de un motor de acuerdo con a) o con b) muy largo (mas de 5 seg.) debido a inercia muy elevada y/o a un binario mecánico muy fuerte.

(Ver ref. 1, Pg. 8)

Si no se toman las precauciones básicas indicadas se recomienda un estudio más detallado del sistema. En este caso habrá que hacerse estudios de simulación del sistema con representación de la carga para verificar que no ocurran problemas.

En caso de detección de fenómenos de resonancia habrán que utilizarse dispositivos de protección y detección de

resonancias para que el capacitor serie sea by-passado o para que sea introducido algún elemento de amortiguamiento en el sistema.

A continuación se indica algunas de las instalaciones que han utilizado la compensación serie (MINICAP) como la mejor alternativa para obtener niveles óptimos de voltaje.

INSTALACIONES EXISTENTES CON EL MINICAP

CLIENTE	ESTACION	TIPO	SISTEMA DE VOLTAJE	CORRIENT E NOMINAL	REACTANCIA	AÑO	APLICACIÓN
GULLSPANG KRAFT	JORDSTORP	12/4/E/1	10.5 KV	390 A	7.2 Ω	1990	CALIDAD DE ENERGIA
GAVLE ENERGI	FURUVIK	12/3/I/2	10.5 KV	180 A	6.1 Ω	1991	CALIDAD DE ENERGIA
EKFORS KRAFT	OVERTORNE A	20/3/I/1	20 KV	240 A	20 Ω	1991	CALIDAD DE ENERGIA
UDDEHOLM KRAFT	BILLERUD	36/3/I/2	33 KV	280 A	24 Ω	1992	ARRANQUE DE MOTOR
CESP, Brasil		12/3/I/1	11.4 KV		4.1 Ω	1992	CALIDAD DE ENERGIA
JUKKASJARVI B.F	ESRANGE	24/3/I/2	20 KV	250 A	30 Ω	1992	CALIDAD DE ENERGIA

CAPITULO III

APLICACION A UN ALIMENTADOR DE LA

E.E.Q.

CAPITULO III: APLICACION A UN ALIMENTADOR DE LA E.E.Q.

3.1 LA REGULACION DE VOLTAJE EN LA E.E.Q.:

La E.E.Q. se encuentra siempre preocupada por brindar un mejor servicio a sus abonados, esto quiere decir entregar los niveles de voltaje entre los límites apropiados.

3.1.1 METODOS UTILIZADOS:

Para lograr el objetivo antes citado la E.E.Q. utiliza algunos métodos como son:

- 1) Cambiador automático de taps en el trafo de potencia
- 2) Reguladores de voltaje a la salida del trafo de potencia
- 3) Capacitores shunt
- 4) Boosters
- 5) Balance de cargas en alimentadores primarios
- 6) Incremento de la sección de los alimentadores
- 7) Instalación de nuevos alimentadores
- 8) Aumento del nivel de voltaje

La selección de la técnica o técnicas que utiliza la E.E.Q. depende de los requerimientos del sistema en particular.

3.1.2 PROBLEMAS MAS COMUNES DE LOS METODOS UTILIZADOS:

Los problemas con los que se topa la E.E.Q. al querer compensar los alimentadores primarios de distribución son varios, algunos propios de las técnicas utilizadas y otros por su alto valor económico. A continuación citaremos algunos

de los problemas de los métodos de compensación utilizados por la E.E.Q:

1) CAMBIADOR AUTOMATICO DE TAPS EN EL TRANSFORMADOR DE POTENCIA:

Este es uno de los métodos que más utiliza la E.E.Q. para regulación de voltaje a niveles de distribución debido a que la empresa adquiere los transformadores de las subestaciones con este mecanismo, existiendo solo una inversión inicial.

Uno de los problemas que causa este método es que cuando en el trafo de potencia se tiene 2,3 o 4 alimentadores primarios con diferente caída de voltaje, longitud, factor de potencia y tipo de carga, al cambiar los taps del transformador se puede tener problemas de bajo o alto voltaje en uno de estos primarios. Otro de los problemas propio de este método es que sólo se regula voltaje.

2) REGULADORES DE VOLTAJE A LA SALIDA DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA:

Estos reguladores de voltaje se utilizan en caso de que el transformador no tenga cambiador de taps, este método presenta algunos problemas como:

- Regula sólo voltaje
- Aumenta las pérdidas
- No incrementa el factor de potencia
- Necesita mucho mantenimiento
- Es muy costoso

3) CAPACITORES SHUNT:

Por sus ventajas técnicas y bajo costo es uno de los métodos más utilizados por la E.E.Q., pero tiene también algunos problemas como son:

- Poco efecto en caso de alto factor de potencia como es el caso de cargas resistivas
- No reduce las variaciones de voltaje
- No regula por sí mismo
- Otro problema muy importante es que cuando se instala capacitores fijos se puede tener sobrevoltajes en puntos de demanda mínima como son fines de semana o a la madrugada. Para evitar este problema se instalan capacitores controlados, pero esto incrementa su costo por los switches de control automático.

4) BOOSTERS:

El Booster también es un regulador de voltaje que la E.E.Q. está utilizando en líneas monofásicas largas con un nivel de voltaje de 13,2 (KV), este es el caso del alimentador primario de Nono. Por lo general los Boosters tienen taps que varían el voltaje solo hacia arriba del voltaje nominal y puede compensar el 5% o 10%.

Aparte de los problemas ya mencionados que produce el uso de reguladores de voltaje, el Booster cuando se requiere que trabaje con intensidades mayores a 200 (A) aumenta considerablemente su tamaño por lo que se tiene que ubicar a la salida de la subestación limitando considerablemente su efecto en el alimentador.

A continuación se indica el diagrama de conexiones de un Booster monofásico utilizado por la E.E.Q:

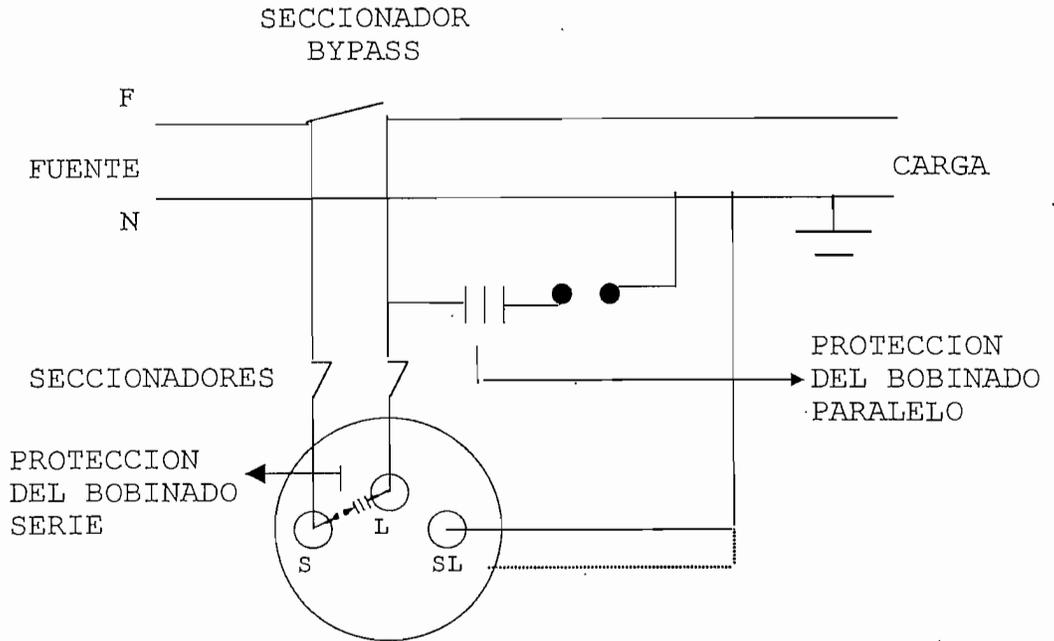


FIGURA 26. CIRCUITO REGULADOR MONOFASICO

5) BALANCE DE CARGAS EN ALIMENTADORES PRIMARIOS:

Una gran ventaja de este método como ya se mencionó anteriormente es que no requiere inversión adicional.

La E.E.Q. utiliza este método en todos sus alimentadores primarios, pero no siempre se puede lograr un balance óptimo de cargas ya sea por la topología de la red o por el tipo de cargas que existen en cada zona.

6) INCREMENTO DE LA SECCION DEL ALIMENTADOR O INSTALACION DE NUEVOS ALIMENTADORES:

Estos dos métodos así como tienen grandes ventajas, también tienen varias desventajas como son:

- Período largo de instalación
- Considerablemente mucho más costoso

7) AUMENTO DEL NIVEL DE VOLTAJE:

Esta técnica al igual que la anterior es muy costosa, pero la E.E.Q. está considerando elevar el nivel de voltaje de distribución de todo el sistema a 22 (KV) con el objetivo de disminuir las pérdidas y de brindar un mejor servicio al usuario.

3.2 SELECCIÓN DE UN ALIMENTADOR TIPICO DE LA E.E.Q.

El alimentador seleccionado para realizar la compensación serie fue el E-36 por su longitud y tipo de carga. Este alimentador sale de la subestación Tumbaco.

El alimentador E-36 sirve a un voltaje de 22,8 (KV) a las zonas de Tumbaco, El Quinche, y otros pequeños pueblos del lugar. Esta es una zona floricultora de ahí que su carga es resistiva por la iluminación que estas requieren e inductiva por los frigoríficos que se necesitan para la conservación de las flores. También existen otras industrias muy importantes que se dedican a la producción de conservas, balanceados y crianza de aves.

A continuación se indica el diagrama unifilar del primario escogido así como los diferentes datos proporcionados por la E.E.Q.:

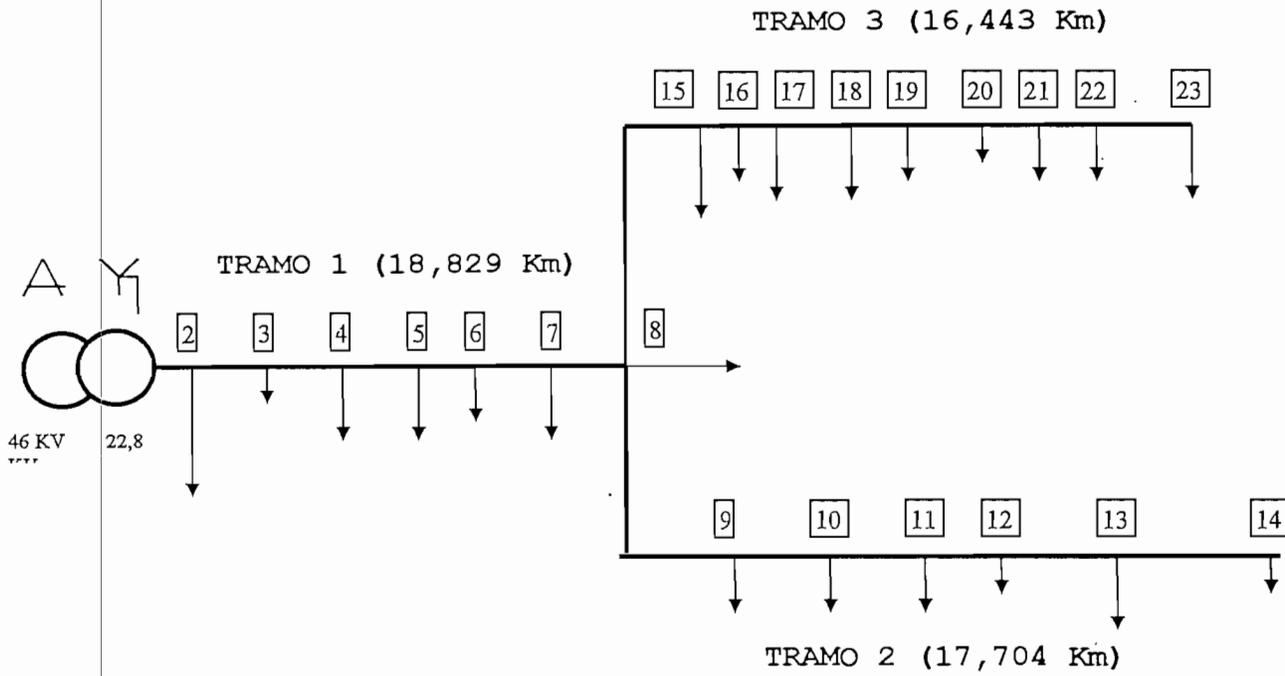


FIGURA 27. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR E-36

CUADRO DE DATOS DEL ALIMENTADOR E-36

NODOS	LONGITUD (Km)	SISTEMA	CALIBRE (ALUMINIO)	CARGA CONCENTRADA EN EL NODO FINAL (KVA)
1 - 2	1,801	TRIFASICO	4/0	1147
2 - 3	4,507	TRIFASICO	4/0	137
3 - 4	3	TRIFASICO	4/0	433
4 - 5	2,944	TRIFASICO	4/0	404
5 - 6	1,506	TRIFASICO	4/0	303
6 - 7	2,651	TRIFASICO	4/0	500
7 - 8	2,42	TRIFASICO	3/0	624
8 - 9	2,231	TRIFASICO	1/0	252
9 - 10	2,845	TRIFASICO	2	254
10 - 11	2,511	BIFASICO	2	262
11 -12	2,013	BIFASICO	2	199
12 - 13	2,781	MONOFASICO	3/0	320
13 - 14	5,323	MONOFASICO	2	214
8 - 15	2,6	TRIFASICO	3/0	457
15 - 16	1,329	TRIFASICO	1/0	306
16 - 17	0,955	TRIFASICO	1/0	360
17 - 18	2,836	TRIFASICO	1/0	359
18 - 19	1,177	TRIFASICO	2/0	282
19 - 20	1,7	TRIFASICO	2/0	173
20 - 21	1,338	TRIFASICO	1/0	265
21 - 22	1,3	TRIFASICO	2	285
22 - 23	3,208	TRIFASICO	2	416

LECTURAS DE CARGA DEL PRIMARIO TUMBACO E-36

HORA	U (A)	V (A)	W (A)	I PROMEDIO (A)	VOLTAJE (KV)	POTENCIA (MVA)
1	92	92	94	92.67	22.5	3.61
2	92	94	94	93.33	22.5	3.64
3	92	94	92	92.67	22.5	3.61
4	94	94	96	94.67	22.5	3.69
5	96	98	96	96.67	22.5	3.77
6	98	100	104	100.67	22.5	3.92
7	98	100	102	100.00	22.5	3.90
8	100	102	104	102.00	22.5	3.98
9	104	108	107	106.33	22.5	4.14
10	106	104	105	105.00	22.5	4.09
11	106	110	104	106.67	22.5	4.16
12	106	106	104	105.33	22.5	4.10
13	102	104	104	103.33	22.5	4.03
14	106	110	108	108.00	22.5	4.21
15	96	98	100	98.00	22.5	3.82
16	92	96	92	93.33	22.5	3.64
17	96	92	94	94.00	22.5	3.66
18	152	136	152	146.67	23	5.84
19	206	200	208	204.67	23	8.15
20	220	200	210	210.00	23	8.37
21	208	180	170	186.00	23	7.41
22	150	135	145	143.33	23	5.71
23	140	120	140	133.33	22.5	5.20
24	96	94	94	94.67	22.5	3.69

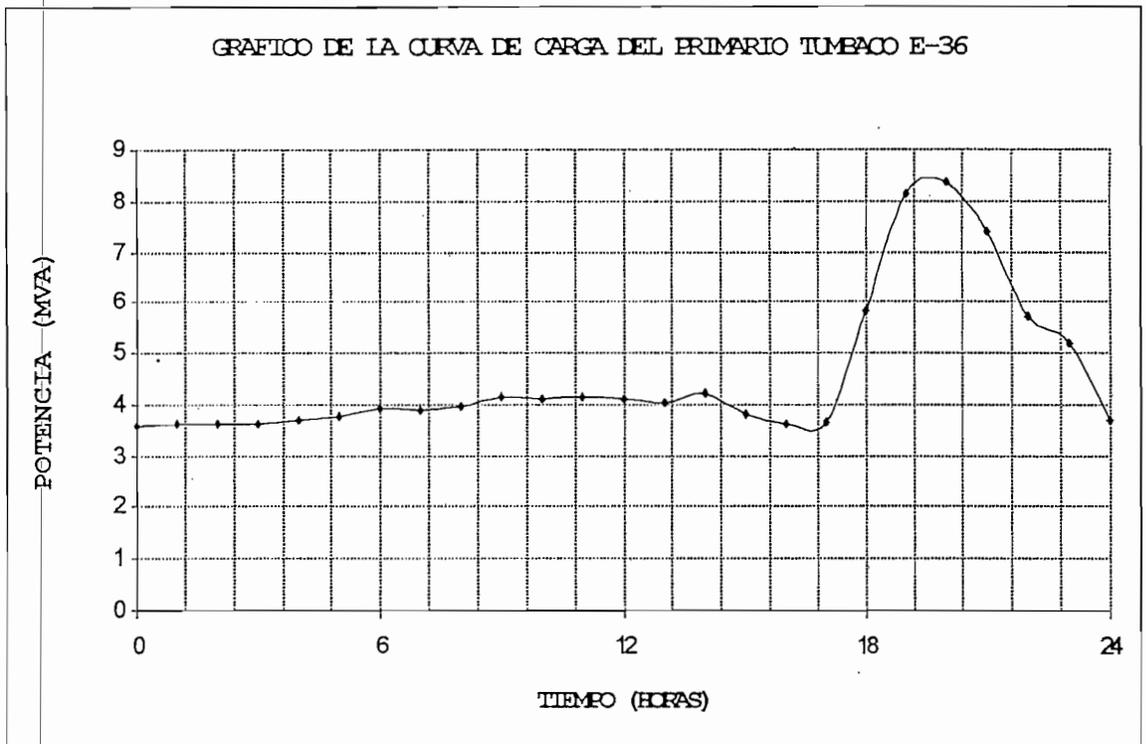


FIGURA 28.

3.2.1 ALTERNATIVAS DE COMPENSACION

Como ya se vio anteriormente en el capítulo I numeral 1.3 las alternativas que ofrecen mayores ventajas al realizar la compensación de un primario de distribución son aquellas que utilizan capacitores en paralelo combinado con reguladores de voltaje y capacitores en serie, razón por la cual se realizará la simulación técnica para estas 2 alternativas.

3.2.2 SIMULACION TECNICA:

Anteriormente se mencionó que para la simulación técnica se utilizará para el primario escogido un modelo de

potencia constante por ser un alimentador tipo industrial, y todos los flujos de carga se realizarán con la ayuda del programa PowerWord Simulator.

COMPENSACION SHUNT:

Para dimensionar los bancos de capacitores, como regla general se trabaja en función de un nuevo factor de potencia, utilizando la siguiente fórmula:

$$KVAR = Kw \left\{ \operatorname{tg} \left[\cos^{-1}(fp_{old}) \right] - \operatorname{tg} \left[\cos^{-1}(fp_{new}) \right] \right\}$$

Donde:

KVAR = Capacidad del banco a instalarse

Kw = Carga activa del sistema

Para nuestro alimentador del flujo de carga realizado tenemos en la subestación los siguientes datos:

Potencia activa del sistema = 7220 (Kw)

fp old= 0,86

fp new= 0,97

Entonces:

$$KVAR = 7220 \left\{ \operatorname{tg} \left[\cos^{-1}(0.86) \right] - \operatorname{tg} \left[\cos^{-1}(0.97) \right] \right\}$$

$$KVAR = 2474.59$$

$Qc\ 3\phi = 2400\ KVAR$

$Qc\ 1\phi = 800\ KVAR$

Para el efecto se puede utilizar 2 capacitores de 400 KVAR.

El capacitor que cumple este requerimiento de reactivos es el tipo CHDB-140 (tabla proporcionada por ABB):

POTENCIA REACTIVA: 400 (KVAR)

VOLTAJE: 6640 (V)

CORRIENTE MAXIMA: 120 (A)

BIL: 95 (KV)

En el capítulo I numeral 1.2.1 se indicó acerca de la ubicación de los capacitores shunt, sin embargo, para obtener el máximo beneficio de la instalación de los bancos de capacitores, estos deben ser ubicados donde resulte una máxima reducción de pérdidas. El método utilizado ubica los capacitores en los nodos sensibles que son seleccionados identificando en primer lugar el ramal del primario que mayores pérdidas presenta. Entonces, de este ramal se escoge el nodo con mayor potencia reactiva de carga. Este es el denominado nodo sensible. El banco de capacitores se dimensiona con valores apropiados de capacidad de manera de obtener los máximos beneficios económicos de ahorro. Con esto, se deben calcular los voltajes en los nodos y verificar que no se excedan los límites permisibles (Ej. $\pm 5\%$). De darse este caso se escoge como nodo sensible el próximo nodo con la corriente reactiva de mayor carga y perteneciente al ramal con pérdidas más elevadas.

Los nodos sensibles son los que mayor impacto tienen en la reducción de pérdidas. Estos son pocos en número, comparado con el número total de nodos y por lo tanto el método es bastante rápido y eficiente.

Para nuestro caso el nodo sensible no fue muy difícil determinar pues el nodo 8 es el que mayores reactivos

acumulados posee.

Al instalar solo el capacitor shunt en el primario en estudio se espera las siguientes mejoras en el sistema:

a) MEJORA DEL PERFIL DE VOLTAJE:

$$\Delta V = \frac{\text{KVAR} * X_L}{10 * \text{KV}^2}$$

Donde:

ΔV = Porcentaje de elevación de voltaje en el punto de instalación.

KV = Voltaje línea-línea previo la instalación del banco.

KVAR = Es la capacidad trifásica del banco de capacitores (capacidad nominal a voltaje nominal).

X_L = Reactancia inductiva del sistema en el punto de instalación.

$$\Delta V = \frac{2400 * 5.33}{10 (20.42)^2}$$

$$\Delta V = 3\%$$

Revisando los resultados obtenidos al correr el flujo de carga introduciendo solo el capacitor shunt en el nodo 8 (Ver anexo 1) podemos ver que el voltaje vario de la siguiente manera:

VOLTAJE ANTERIOR: 20.42 (KV)
VOLTAJE ESPERADO: 21 (KV)
VOLTAJE ACTUAL: 20,98 (KV)
PORCENTAJE DE VARIACION: 2.46%

Como podemos ver no se produce un aumento del voltaje en el porcentaje esperado esto se debe a que el banco no esta entregando toda su potencia reactiva sino solo 2,03 MVAR. (Ver anexo 1)

CONTROL DEL BANCO DE CAPACITORES

La posibilidad de conexión - desconexión del banco de capacitores añade flexibilidad al control de voltaje, del factor de potencia y de las pérdidas. Los bancos son instalados con algún equipo de control automático, que ordena la conexión o desconexión del banco cuando se excede cierto valor límite predeterminado.

Los controles automáticos pueden basarse en:

- a) **Control de voltaje:** cuando el control del nivel de voltaje es la consideración más importante.
- b) **Control de corriente:** cuando la magnitud de corriente está directamente relacionada con la demanda de reactivos.
- c) **Control de reactivos:** se adapta continuamente a las variaciones de la corriente inductiva del primario, asegurando una máxima reducción de pérdidas.
- d) **Timer:** cuando la demanda de reactivos sigue un esquema uniforme con respecto al tiempo.

Con la instalación del banco shunt lo que se obtiene es reducción de pérdidas por lo que se debe maximizar este

beneficio y como podemos ver que la curva de carga del primario en estudio sigue un esquema uniforme respecto al tiempo se podrá utilizar un sistema de control de tiempo para controlar la conexión y desconexión del banco. Para nuestro ejemplo se inserta 2400 KVAR a carga máxima de 18 a 22 horas, para cargas del 80% - 60% - 40% solo se inserta 1200 KVAR de 22 a 24 y de 0 a 18 horas. (Ver anexo 1)

TIPOS DE CONEXIONES:

a) CONEXIÓN DELTA:

Este tipo de conexión se utiliza solo para sistemas con nivel de voltaje de 6,3 KV o menor.

Las fallas internas en los capacitores producen una alta corriente fase - fase, por lo que es necesario se proteja el banco con fusibles externos de AT con un rango mínimo de 1,7 veces la corriente nominal del banco. En esta configuración no se usan capacitores con protección interna de fusibles debido a que las corrientes de cortocircuitos son mayores que la capacidad de ruptura del arco de los fusibles internos.

La máxima potencia reactiva que se podría conectar con esta configuración es de 1000 KVAR.

b) CONEXIÓN ESTRELLA O DOBLE ESTRELLA:

Se utiliza tanto en sistemas de 6.3 KV como de 13.8 y 22.8 KV.

En este tipo de configuración se usan unidades de

capacitores con fusible interno. La conexión de doble estrella se usa conjuntamente con una protección de desbalance que ajustada de manera que la pérdida de unidades dentro de un mismo grupo conectado en serie ordena la desconexión del banco en el momento que el sobrevoltaje excede los límites impuestos en normas.

COMPENSACION SERIE:

Antes de encontrar el tamaño del capacitor serie se debe definir su ubicación pues para dicho dimensionamiento se necesita la potencia de la carga.

UBICACIÓN DEL CAPACITOR SERIE:

En el capítulo II se indicó que la mejor localización para el capacitor en serie es a un tercio de la distancia eléctrica entre la fuente y la carga productora del flicker, esto si se tiene problemas de fluctuaciones en el alimentador.

En nuestro caso la principal preocupación es la de obtener niveles de voltaje óptimos para el usuario y que cumpla con los rangos máximos de caída de voltaje que exige la Empresa Eléctrica (5%) de ahí que la ubicación del capacitor serie de acuerdo al flujo de carga (*Ver anexo 1*) debería ser en el nodo 4 en el que se tiene una caída de voltaje de aproximadamente el 5% (21,54 KV), dicha ubicación se indica en la siguiente figura.

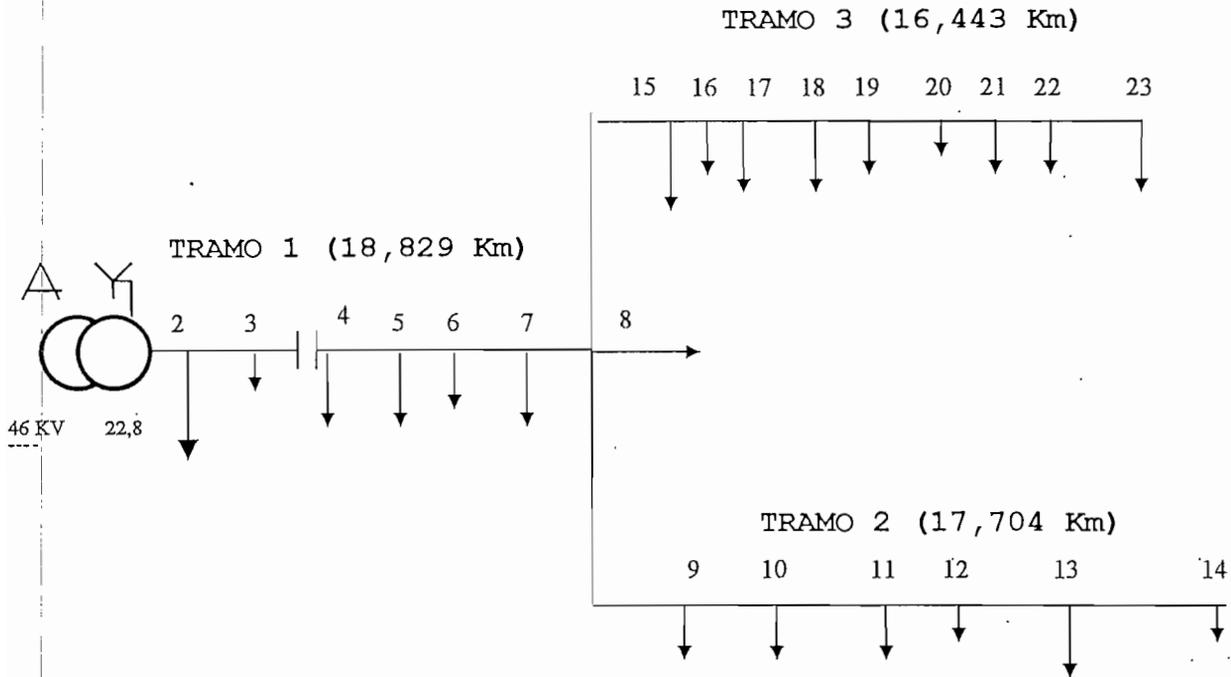
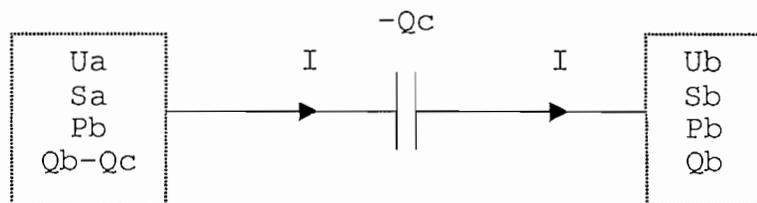


FIGURA 29. DIAGRAMA UNIFILAR DEL ALIMENTADOR E-36 CON CAPACITOR SERIE

TAMAÑO DEL CAPACITOR SERIE:

Para calcular la Potencia del capacitor serie nos valdremos de la curva U_b/U_a que se indica a continuación y de los datos de potencia y factor de potencia proporcionados por el flujo de carga del alimentador sin capacitor a carga máxima. Pero antes indicaremos el planteamiento matemático para obtener la curva U_b/U_a .



$$S_a = \sqrt{3} * U_a * I \quad S_b = \sqrt{3} * U_b * I$$

$$\frac{U_a}{U_b} = \frac{S_a}{S_b} = \frac{\sqrt{P_b^2 + (Q_b - Q_c)^2}}{\sqrt{P_b^2 + Q_b^2}}$$

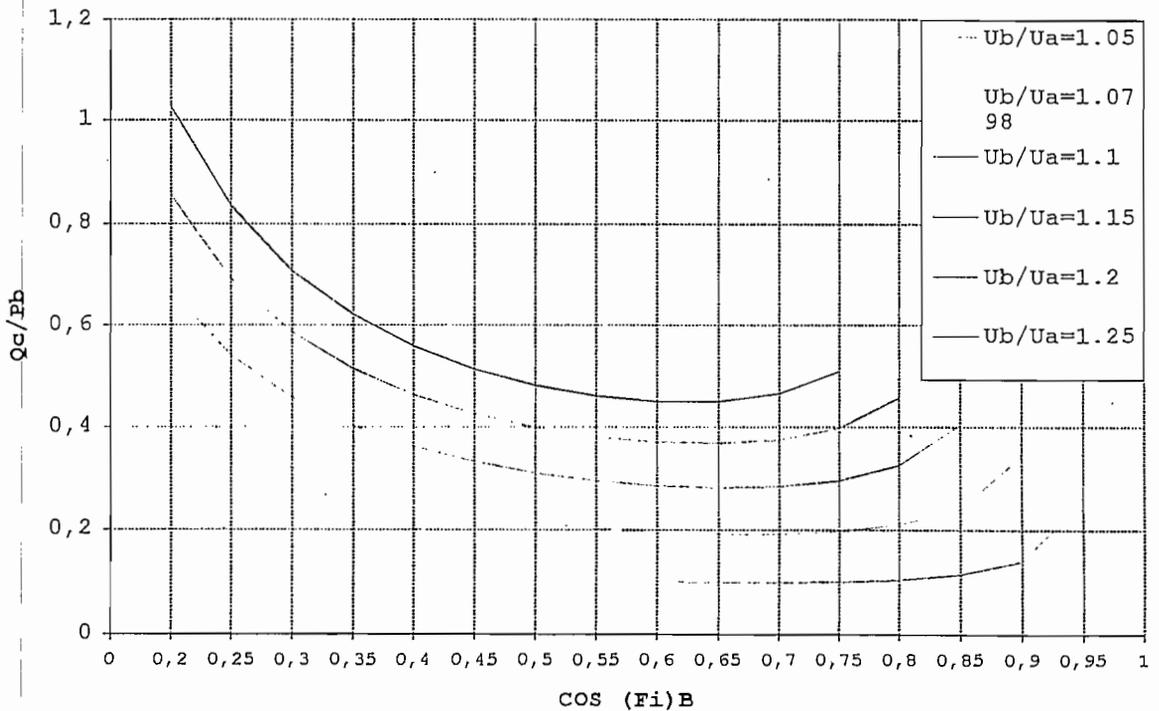
$$\frac{Q_c}{P_b} = \frac{Q_b}{P_b} - \frac{\sqrt{P_b^2 + (Q_b - Q_c)^2}}{\sqrt{P_b^2 + Q_b^2}}$$

$$\frac{Q_c}{P_b} = \frac{Q_b}{P_b} - \sqrt{\left(\frac{U_a}{U_b}\right)^2 \left[1 + \frac{Q_b}{P_b}\right]^2 - 1}$$

$$Q_c = 3 * I^2 * X_c$$

$$\left(\frac{U_b}{U_a}\right)_{\max} = \frac{1}{\cos \phi_b}$$

CURVA PARA CALCULAR LA POTENCIA DE UN CONDENSADOR SERIE CON EL AUMENTO DE VOLTAJE Y FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA



Entre el nodo 3 y 4 tenemos una transferencia de potencia de 6.9 (MVA) con un factor de potencia de 0.86 (Ver anexo 1). (Sin compensación).

$$P_b = 5,89 \text{ (MW)}$$

$$Q_b = 3.49 \text{ (MVAR)}$$

$$S_b = 6.9 \text{ (MVA)}$$

$$f_p = 0.86$$

Se quiere compensar una caída de voltaje de 5%

De la curva $\frac{U_b}{U_a} = 1.05$ y $f_p = 0,86$ tenemos que:

$$\frac{Q_c}{P_b} = 0,12$$

$$I = \frac{S_b}{\sqrt{3} * V} = \frac{6,9}{\sqrt{3} * 21,537} = 184,97 \text{ (A)} \quad \text{; } \overset{\circ}{\text{O}}185 \text{ (A)}$$

$$Q_c = I^2 * X_c \quad X_c = \frac{Q_c}{I^2} = \frac{235600}{(185)^2} = 6,88 \text{ } (\Omega)$$

Características de los condensadores a elegir:

$$\text{CKT : } 38 \text{ (KVAR)} \quad 1,6 \text{ (KV)} \quad 23,75 \text{ (A)}$$

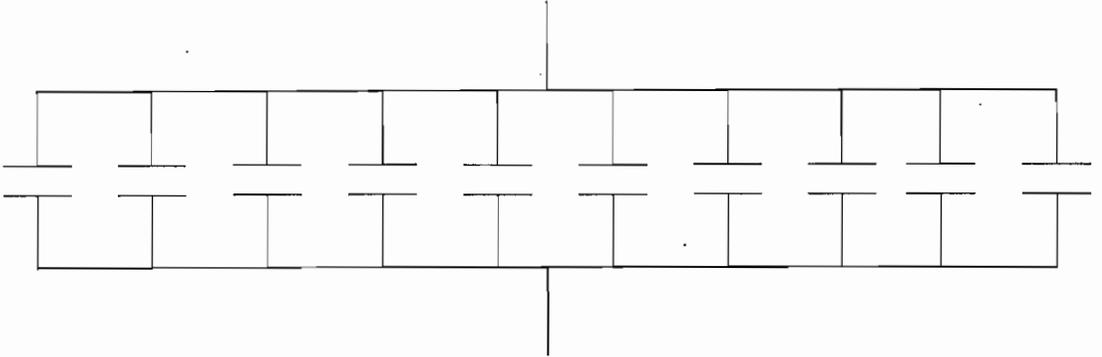
$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} = \frac{(1600)^2}{38000} = 67,36 \text{ } (\Omega)$$

$$\text{CTD : } 28 \text{ (KVAR)} \quad 1,58 \text{ (KV)} \quad 17,73 \text{ (A)}$$

$$X_c = 89 \text{ } (\Omega)$$

De las características de los capacitores a elegir, el

capacitor que se utilizará es el tipo CKT con el siguiente arreglo (10 capacitores en paralelo):



La reactancia capacitiva equivalente del arreglo es:

$$X_c = 6,7 \ (\Omega)$$

La potencia reactiva que puede entregar el banco a máxima carga del sistema será de:

$$Q_c = I^2 * X_c = (185)^2 * 6,7 = 229.307,5 \ (\text{VAR}) = 229,3 \ (\text{KVAR})$$

$$Q_{C(\beta\phi)} = 688 \ (\text{KVAR})$$

Verificación del Grado de Compensación:

$$X_{lt} = 2,6295 \ (\Omega)$$

$$R = 2,9108 \ (\Omega)$$

$$X_c = 6,7 \ (\Omega)$$

$$R/X_{lt} = 1,1 > 1$$

Donde:

X_{lt} = Reactancia inductiva equivalente hasta el punto de instalación del capacitor.

R= Resistencia de la línea hasta el punto de
instalación del capacitor.

Xc= Reactancia capacitiva del banco por fase.

No existe problema si se sobrecompensa la línea.

$$G.C = Xc/Xl$$

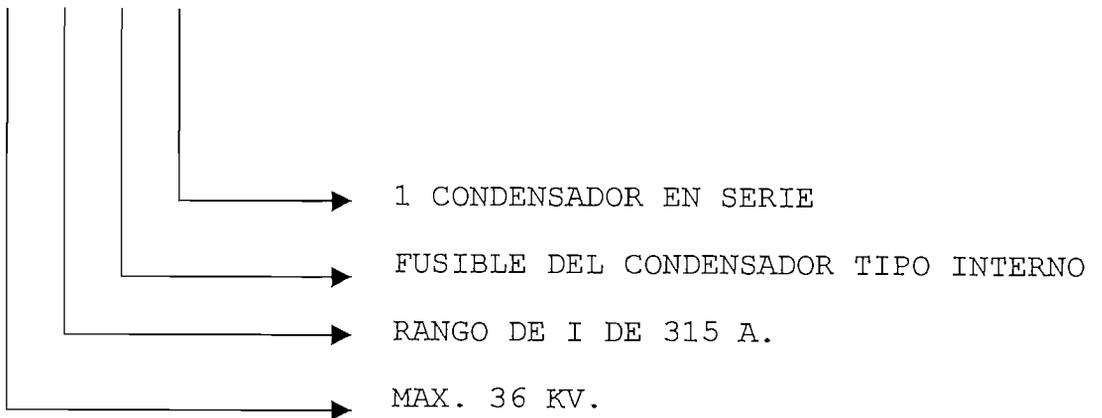
$$G.C = 6,7/2,6295$$

$$G.C = 2,548 > 1$$

Existe sobrecompensación

MINICAP TIPO

36/3/I/1

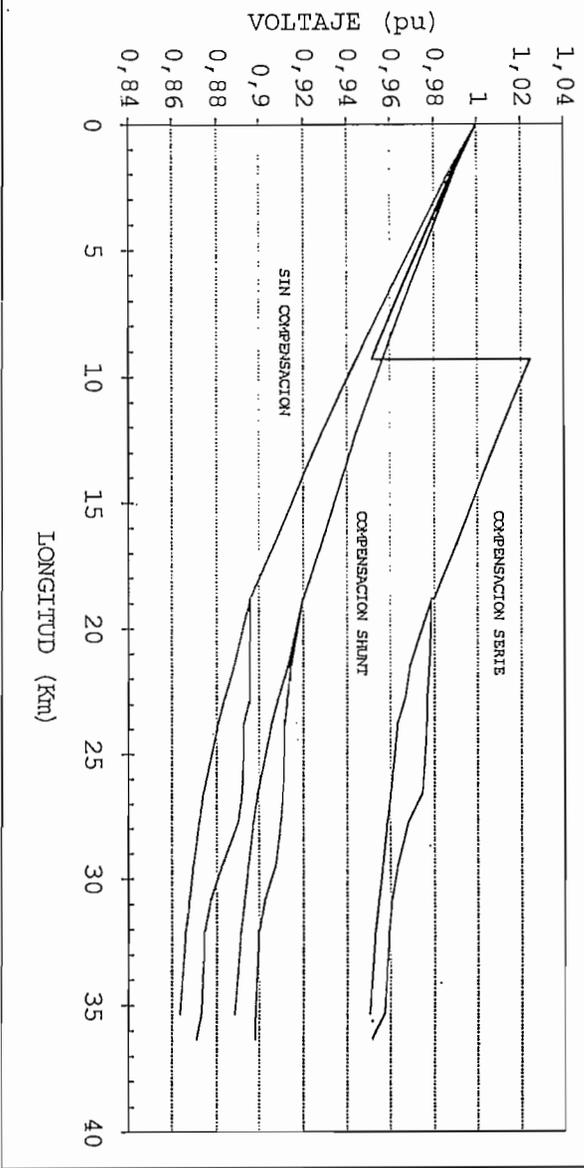


VALORES DEL MINICAP

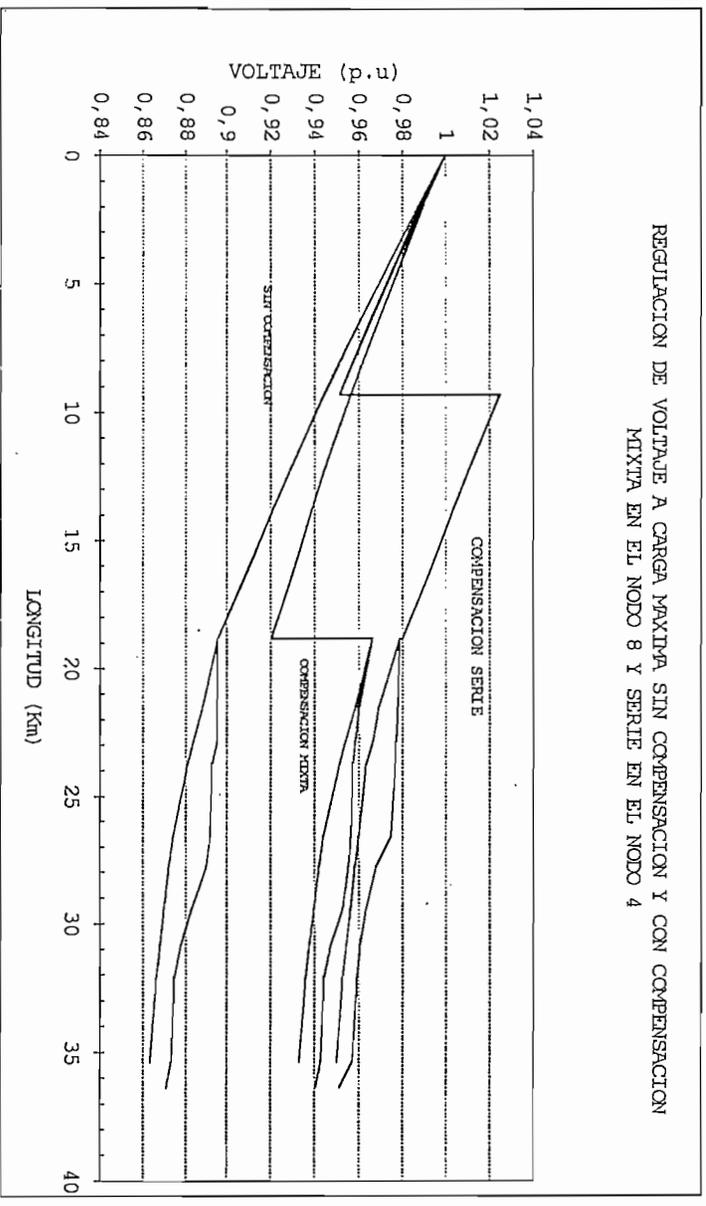
Standards	IEC 143
Rango de temperatura	± 50°C
Aislamiento, BIL	Max. 175 KV.
Valor de potencia	280 KVAR/fase
Valor de corriente	Max. 360 A.
Voltaje del sistema	22.8 KV.
Clase de voltaje	Max. 36 KV.
Corriente de cortocircuito	Max. 10 KA.
Tipo de protección de sobrevoltaje	Spark gap
Corriente de cortocircuito Permisible	10 KA/seg.
Tiempo de descarga hasta 75 V	10 min.
Número de capacitores en serie	1 por fase
Número de capacitores en paralelo	10 por fase
Disposición del fusible	Interna

A continuación se indica gráficamente la regulación de voltaje del Alimentador tumbaco E-36 sin compensación y con compensación tanto shunt como serie en el nodo 4 y en el nodo 8. Así como la regulación utilizando capacitores shunt combinado con regulador de voltaje, a plena carga y al 60% de la carga máxima.

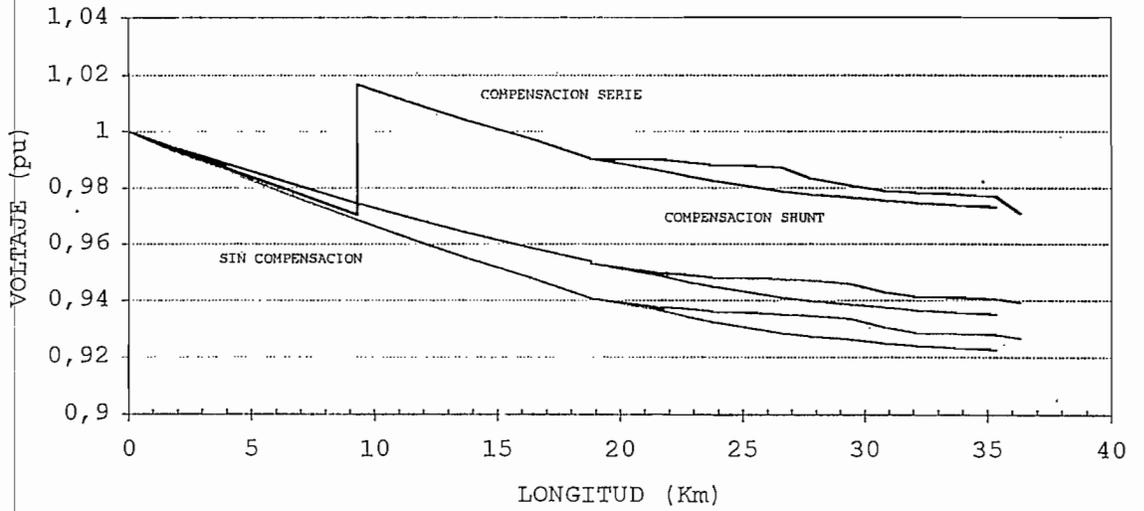
REGULACION DE VOLTAJE A CARGA MAXIMA SIN COMPENSACION Y CON
COMPENSACION SHUNT EN EL NODO 8 Y SERIE EN EL NODO 4



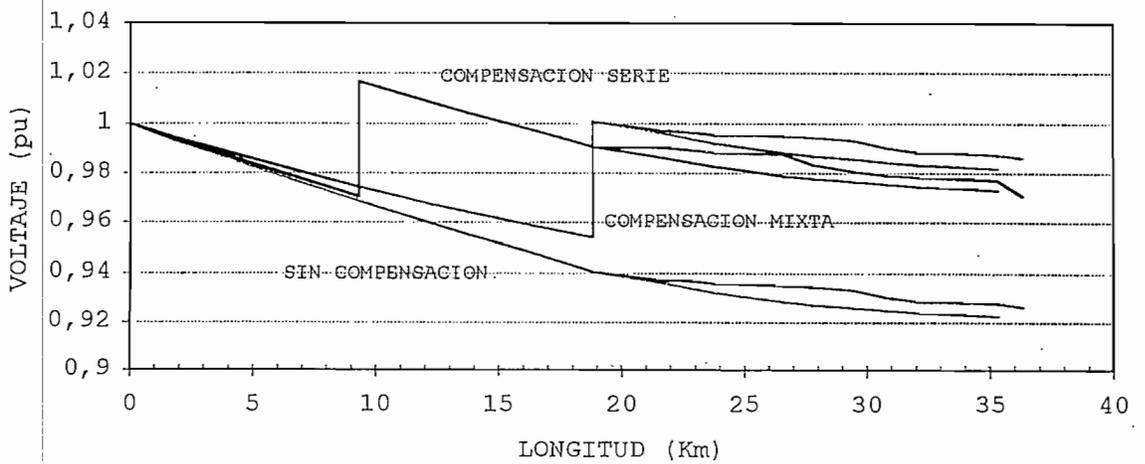
REGULACION DE VOLTAJE A CARGA MAXIMA SIN COMPENSACION Y CON COMPENSACION
MIXTA EN EL NODO 8 Y SERIE EN EL NODO 4



REGULACION DE VOLTAJE AL 60% DE LA CARGA MAXIMA SIN COMPENSACION, CON COMPENSACION SERIE EN EL NODO 4 Y CON COMPENSACION SHUNT EN EL NODO 8



REGULACION DE VOLTAJE AL 60% DE LA CARGA MAXIMA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 SIN COMPENSACION, CON COMPENSACION SERIE EN EL NODO 4 Y CON COMPENSACION MIXTA EN EL NODO 8



Como podemos ver en los gráficos anteriores si se trata de tener una buena regulación de voltaje la compensación serie es la técnica con la que se obtiene mejores resultados.

Si se desea utilizar capacitores shunt para regulación de voltaje se debe utilizar en combinación con reguladores de voltaje obteniéndose además una mejora del factor de potencia.

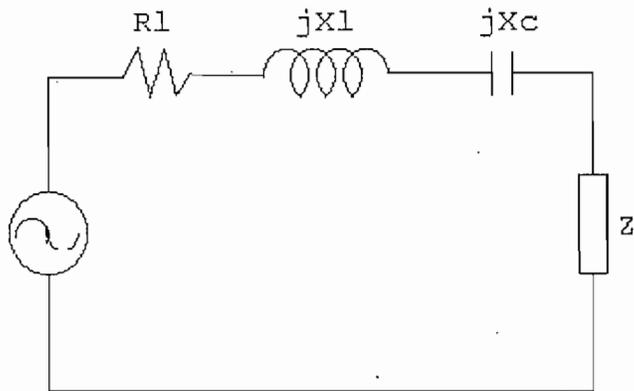
De los gráficos de regulación de voltaje podemos ver que a menor carga con la compensación serie se obtiene una curva de voltaje mucho más llana, teniendo al final de la línea un voltaje mínimo de 22.4 (KV).

A continuación se representarán gráficamente las corrientes tanto en energización como en cortocircuito utilizando las ecuaciones encontradas en el numeral 2.3.1 con una $X_c = 6.7 \text{ } (\Omega)$, así como, los diferentes voltajes.

Para la resolución de estas ecuaciones se utilizó el programa MATHCAD, obteniendo los siguientes resultados.

ENERGIZACION:

A continuación se resume los datos del primario TUMBACO E-36 perteneciente a la E.E.Q S.A. el cual se ha escogido para realizar la compensación serie.



DATOS DE LA LINEA

$$R_1 = 2,9108 \Omega$$

$$X_c = 6,7 \Omega$$

$$X_1 = 2,6295 \Omega$$

$$V = 22.800 \text{ V}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$V_{\text{ef}} = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{ef}} = 1,316 * 10^4 \text{ V}$$

$$V_{\text{max}} = V_{\text{ef}} * \sqrt{2}$$

$$V_{\text{max}} = 1,862 * 10^4 \text{ V}$$

DATOS DE LA CARGA

$$S_{b3} = 6.900 \text{ KVA}$$

$$f_p = 0,86$$

$$S_{b1} = \frac{S_{b3}}{3}$$

CALCULO DE LA IMPEDANCIA DE CARGA

$$P_{b3} = S_{b3} * fp$$

$$P_{b3} = 5,934 * 10^3 \text{ KW}$$

$$P_{b1} = \frac{P_{b3}}{3}$$

$$P_{b1} = 1,978 * 10^3 \text{ KW}$$

$$Q_{b1} = \sqrt{S_{b1}^2 - P_{b1}^2}$$

$$Q_{b1} = 1,174 * 10^3 \text{ KVAR}$$

$$I = \frac{S_{b1}}{V_{ef}}$$

$$I = 174,724 \text{ A}$$

$$R_{carga} = \frac{P_{b1}}{I^2}$$

$$R_{carga} = 64,792 \Omega$$

$$X_{carga} = \frac{Q_{b1}}{I^2}$$

$$X_{carga} = 38,445 \Omega$$

CALCULO DE LA IMPEDANCIA TOTAL DEL SISTEMA

$$R_t = R_l + R_{c \text{ carga}}$$

$$R_t = 67,702 \Omega$$

$$X_{Lt} = X_l + X_{c \text{ carga}}$$

$$X_{Lt} = 41,075 \Omega$$

$$Z_t = R_t + (X_{Lt} - X_c) j$$

$$|Z_t| = 75,929 \Omega$$

$$W = 2 * \pi * f$$

$$i_{\max} = \frac{V_{\max}}{|Z_t|}$$

$$i_{\max} = 245,178 \text{ A}$$

CALCULO DE LA IMPEDANCIA Y CAPACITANCIA TOTAL

$$L_t = \frac{X_{Lt}}{2 * \pi * f}$$

$$L_t = 0,109 \text{ Henry}$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f * X_c}$$

$$C = 3,959 * 10^4 \text{ farad}$$

PLANTEAMIENTO DE LAS ECUACIONES

Del modelo utilizado en energización tenemos las siguientes condiciones iniciales:

$$\varphi_{zt} = \arctan \left(\frac{X_{Lt} - X_c}{R_t} \right)$$

$$\delta = 0^\circ$$

$$I = \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$$

$$\frac{d^2}{dt^2} I + \frac{R_t}{L_t} * \frac{d}{dt} I + \frac{I}{c * L_t} = W * V_{\max} * \frac{\cos(W * t + \delta - \varphi_{zt})}{L_t}$$

$$D(t, I) = \left[\begin{array}{c} I_1 \\ W * V_{\max} * \frac{\cos(W * t + \delta - \varphi_{zt})}{L_t} \\ \frac{R_t}{L_t} I_1 + \frac{I_0}{c * L_t} \end{array} \right]$$

$$N_p = 2000$$

$$r = 0,1$$

CALCULO DE LA ECUACION DIFERENCIAL

Para el cálculo de la ecuación diferencial el programa utiliza el método de RUNGE KUTA.

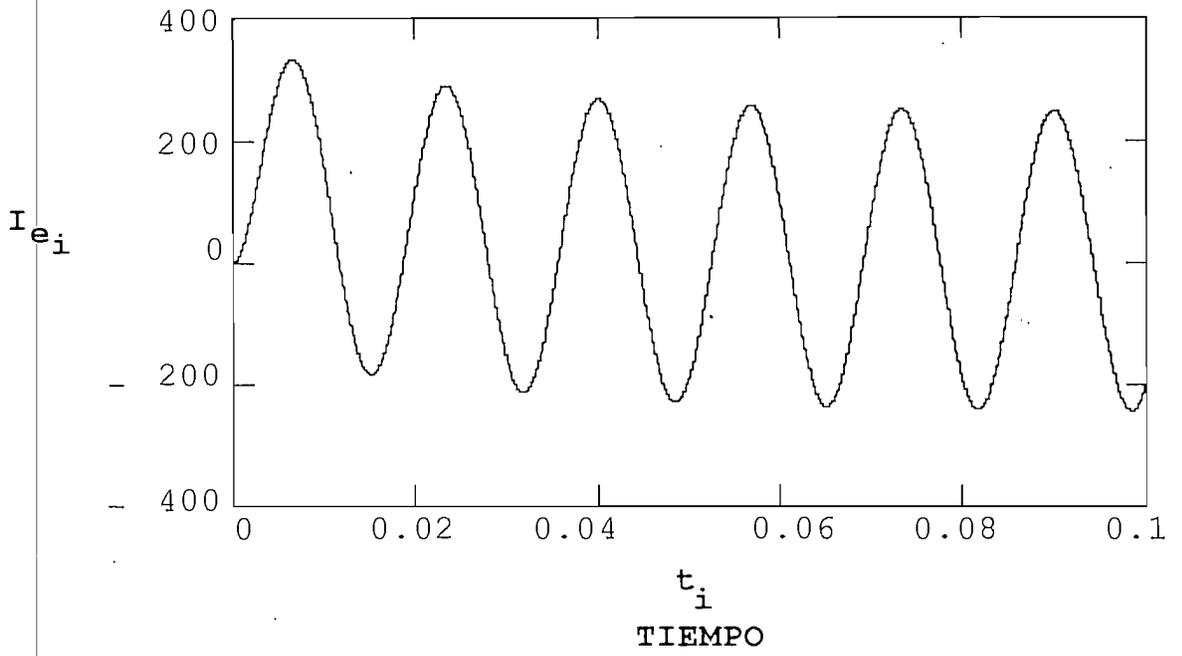
$$Z = \text{rkfixed} (I, 0, r, N_p, D)$$

$$i = 0 \dots N_p$$

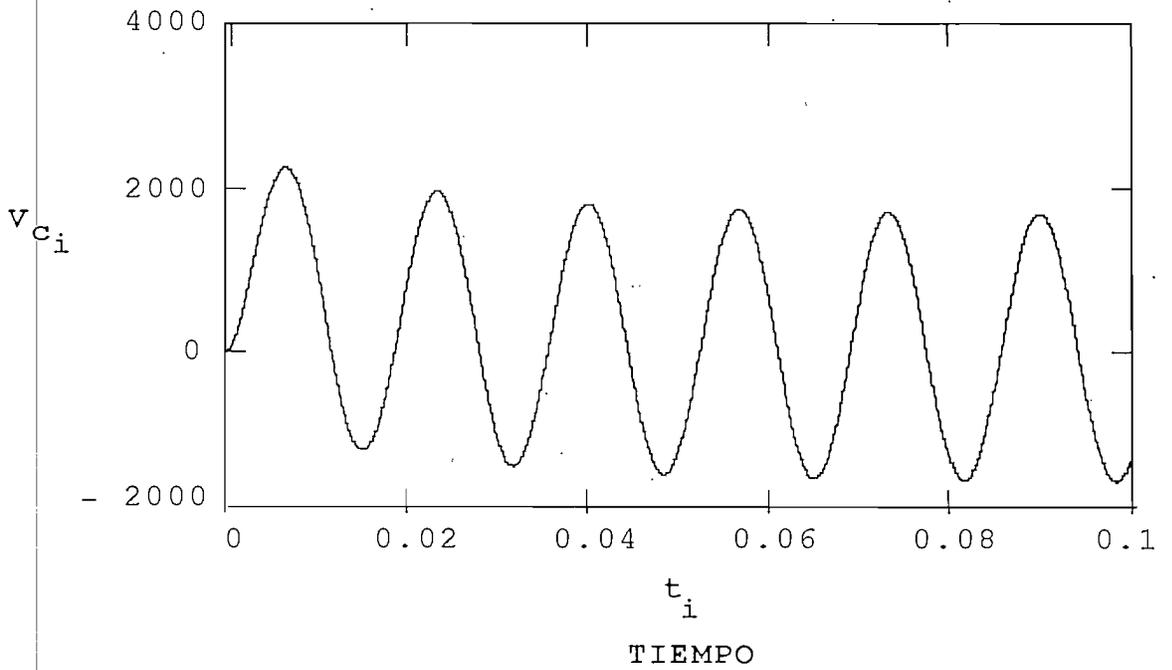
$$I_{ei} = \left(Z^{(1)} \right)_i$$

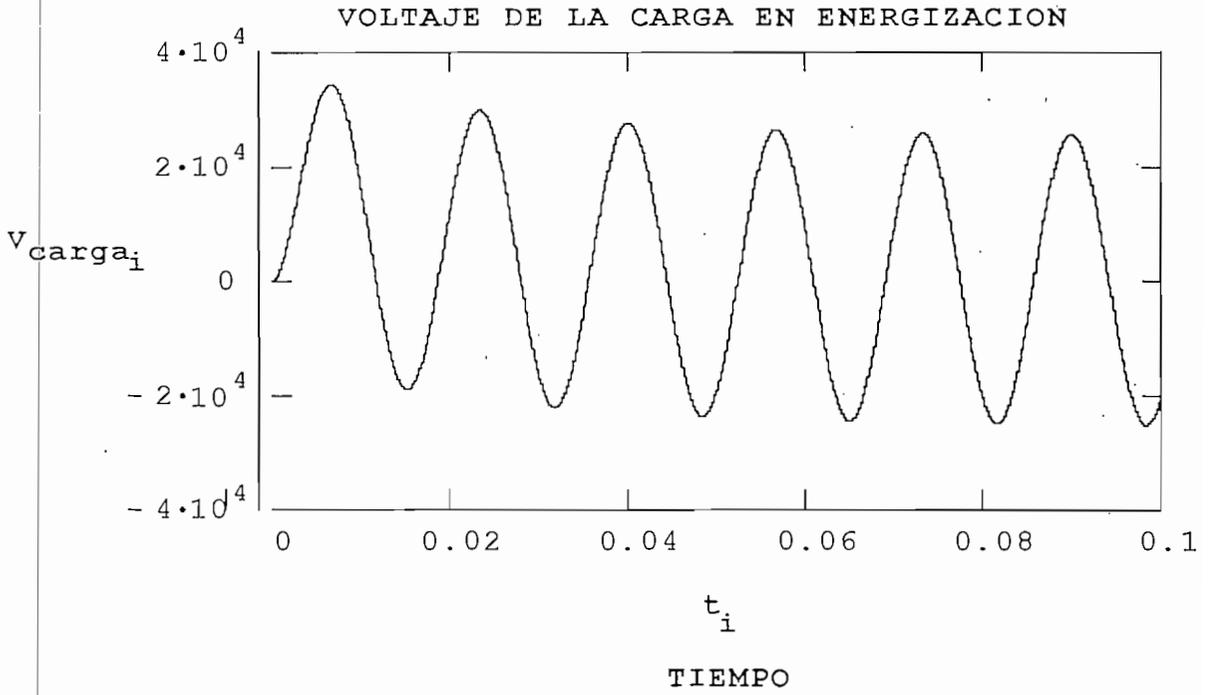
$$t_i = \left(Z^{(0)} \right)_i$$

CORRIENTE TOTAL EN ENERGIZACION

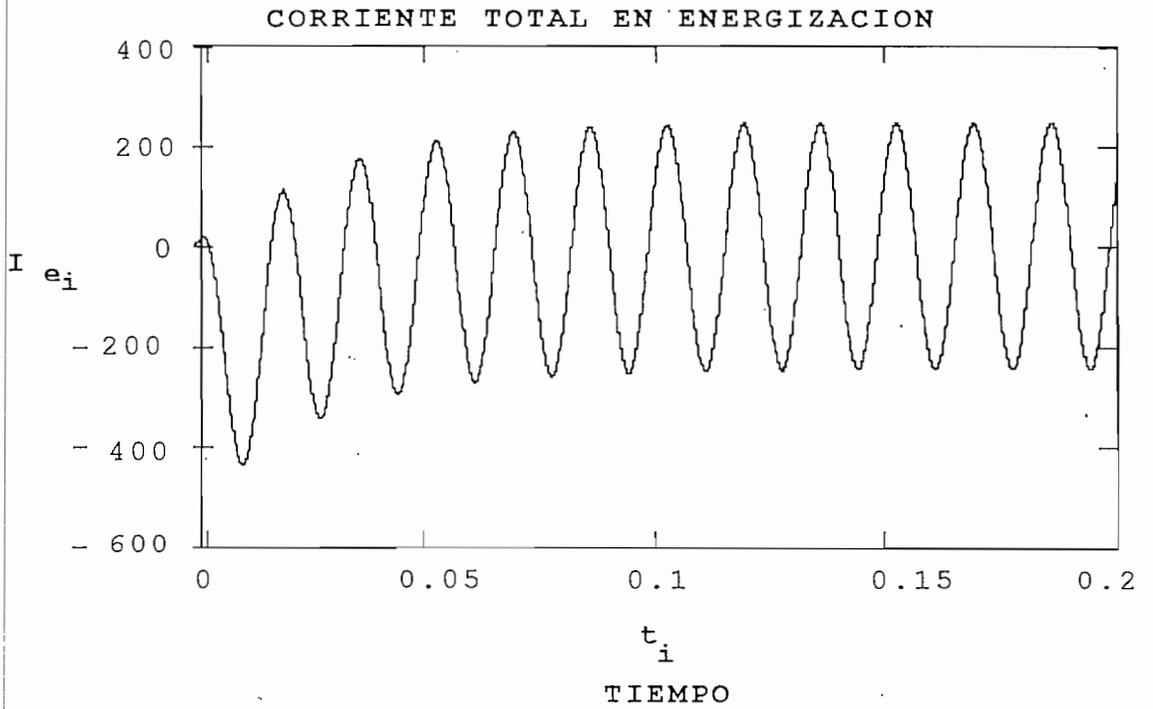


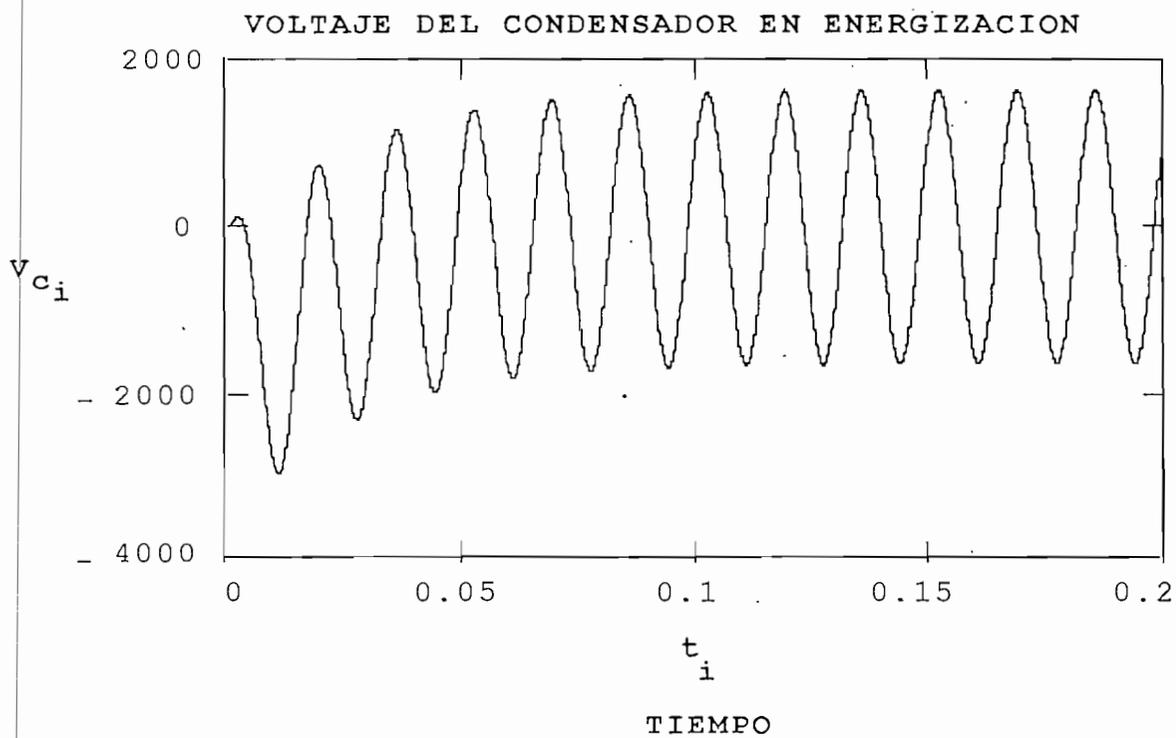
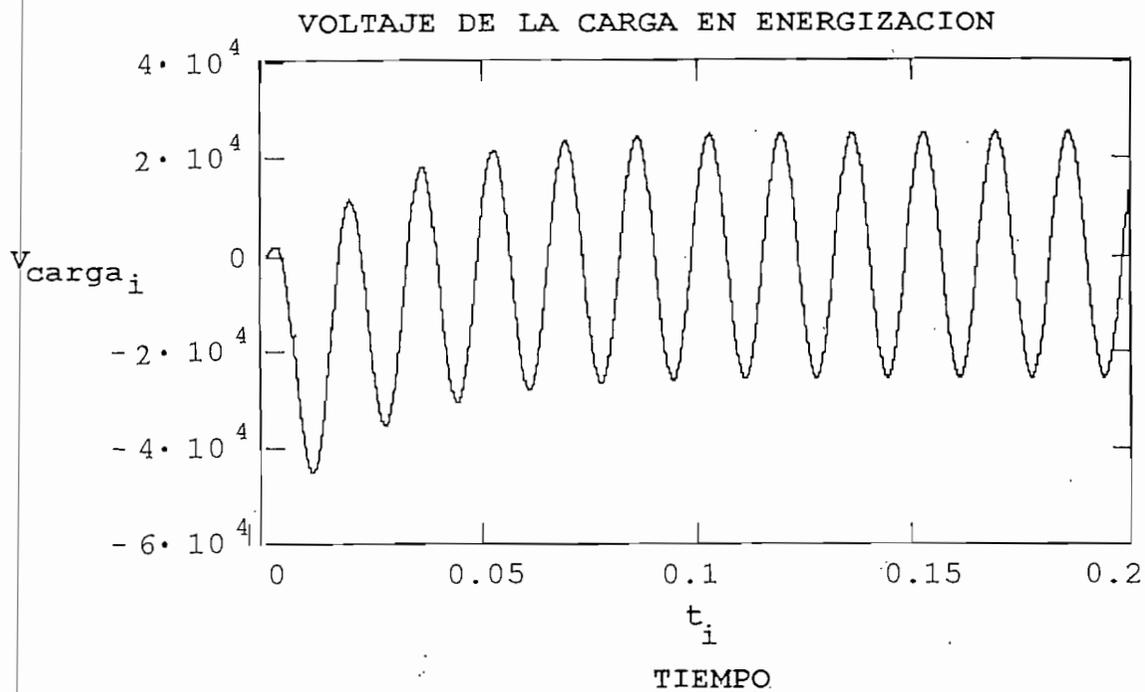
VOLTAJE DEL CONDENSADOR EN ENERGIZACION





$$\delta = 90^\circ$$





RESUMEN DE RESULTADOS EN ENERGIZACION		
$\delta = 0^\circ$	VALORES TRANSITORIOS MAXIMOS	VALORES PERMANENTES MAXIMOS
CORRIENTE TOTAL	333 (A)	242.9 (A)
VOLTAJE DEL CAPACITOR	2231 (V)	1627.7 (V)
VOLTAJE DE LA CARGA	34377.6 (V)	25081.4 (V)
$\delta = 90^\circ$	VALORES TRANSITORIOS MAXIMOS	VALORES PERMANENTES MAXIMOS
CORRIENTE TOTAL	436 (A)	242.9 (A)
VOLTAJE DEL CAPACITOR	2921.6 (V)	1627.7 (V)
VOLTAJE DE LA CARGA	45017.2 (V)	25081.4 (V)

Como podemos ver en el cuadro de resultados, en energización los transitorios tanto de corriente como de voltaje cuando $\delta = 0^\circ$ son mayores que los valores nominales 1,37 veces, en tanto que cuando $\delta = 90^\circ$ son mas críticos pues son mayores 1,79 veces respecto a los valores nominales.

CORTO CIRCUITO

$$\delta = 0^\circ$$

Antes de $t=0$:

$$I_0 = i_{\max} * \text{sen}(\delta - \phi_{zt})$$

$$I_0 = -110,997 \text{ (A)}$$

$$L = \frac{X_1}{2 * \pi * f}$$

$$V_{C_0} = \frac{i_{\max}}{W * C} * \text{sen}(\delta - \varphi_{zt} - 90^\circ)$$

$$V_{C_0} = 1,465 * 10^3 \text{ (V)}$$

$$I_1 = \frac{1}{L} * (V_{\max} * \text{sen}(\delta) - R_1 * I_0 - V_{C_0})$$

$$I_1 = 2,563 * 10^5 \text{ (A)}$$

$$I = \begin{pmatrix} I_0 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

$$\frac{d^2}{dt^2} I + \frac{R_1}{L} * \frac{d}{dt} I + \frac{I}{C * L} = W * V_{\max} * \frac{\cos(W * t + \delta)}{L}$$

$$D(t, I) = \begin{pmatrix} I_1 \\ W * V_{\max} * \frac{\cos(W * t + \delta)}{L} & \frac{R_1}{L} * I_1 + \frac{I_0}{C * L} \end{pmatrix}$$

$$N_p = 2000$$

$$r = 0,3$$

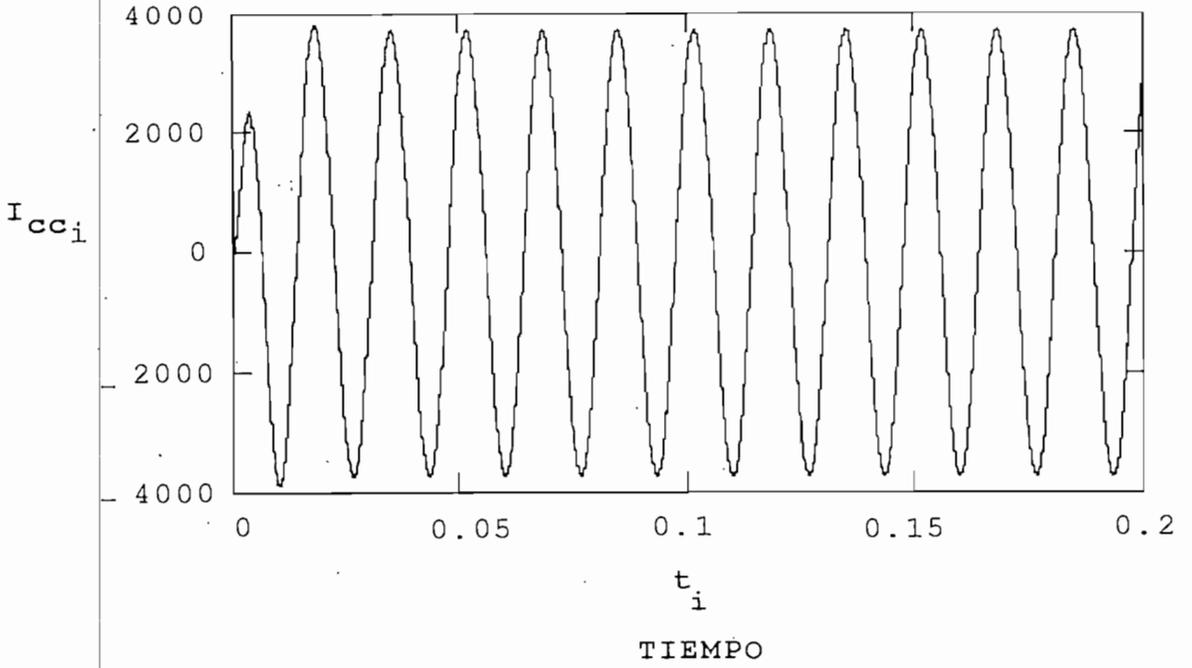
$$Z = \text{rkfixed}(I, 0, r, N_p, D)$$

$$i = 0 : \dots : N_p$$

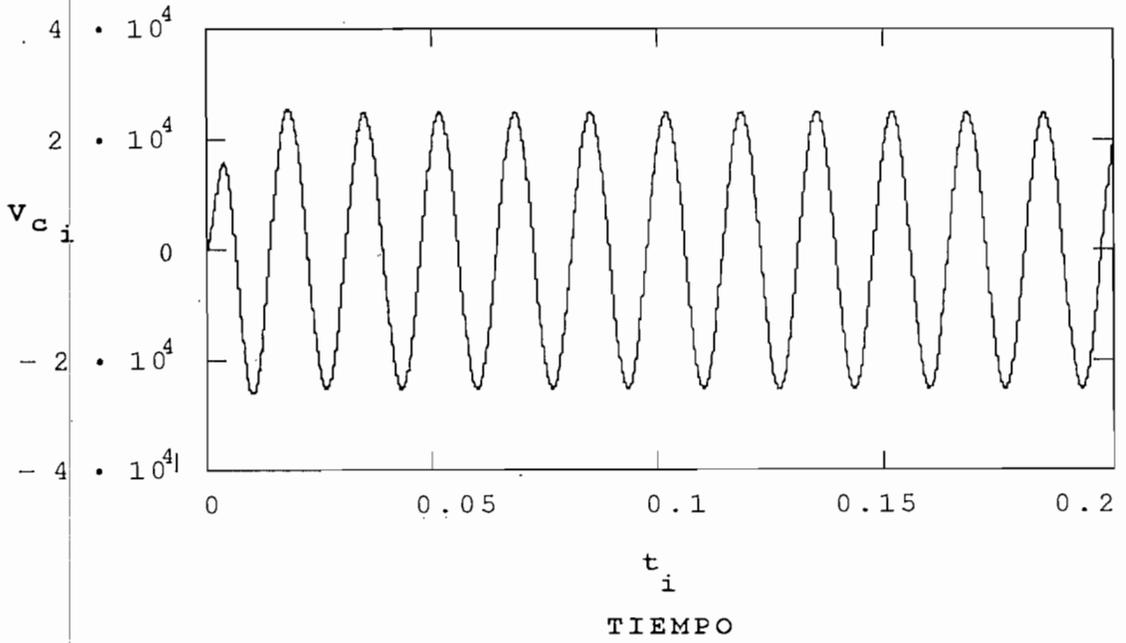
$$I_{CC_i} = \left(\begin{matrix} \langle 1 \rangle \\ Z \end{matrix} \right)_i$$

$$t_i = \left(Z \langle 0 \rangle \right)_i$$

CORRIENTE TOTAL DE CORTOCIRCUITO

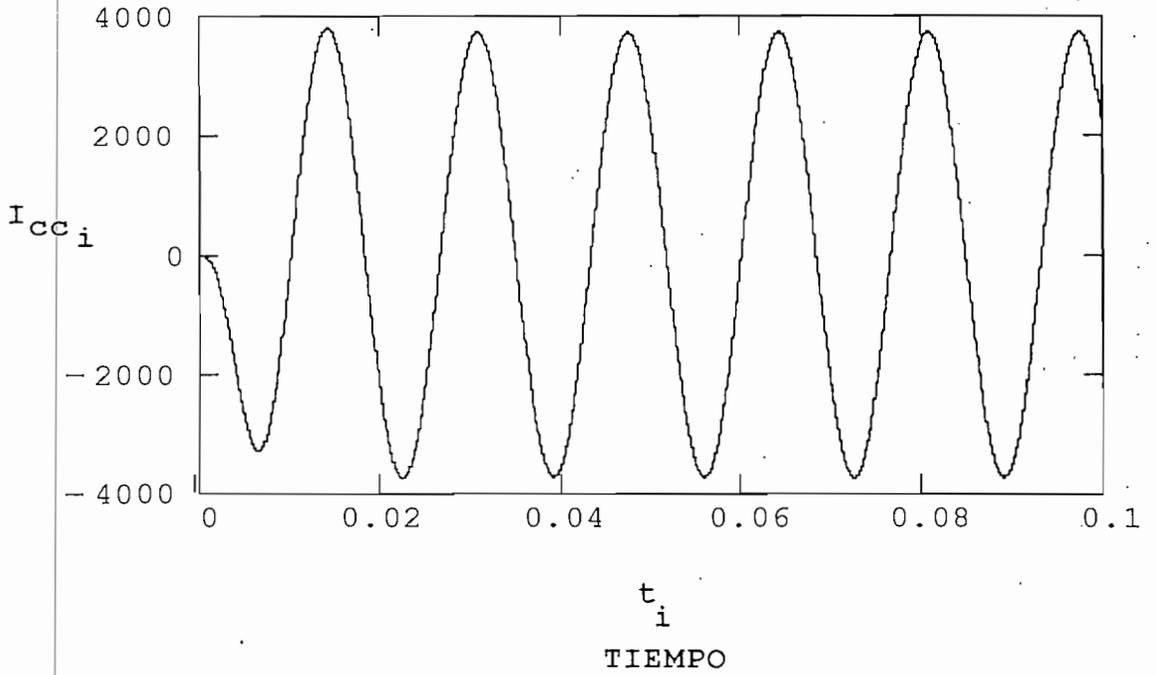


VOLTAJE EN EL CONDENSADOR EN CORTOCIRCUITO

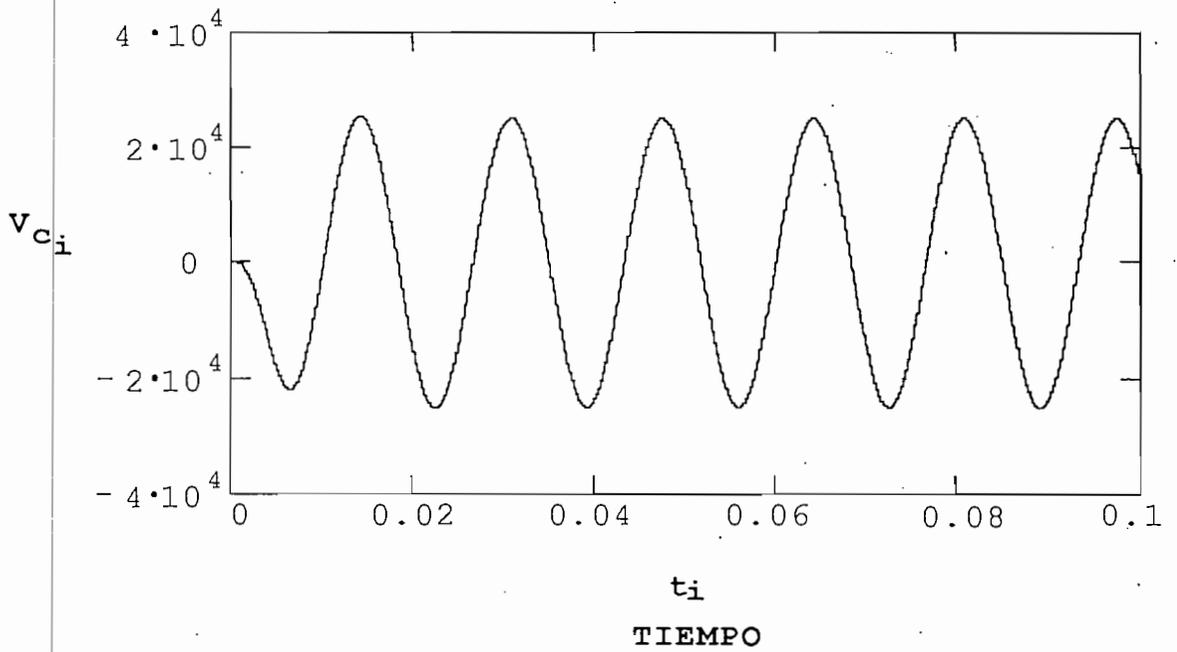


$$\delta = 90^\circ$$

CORRIENTE TOTAL DE CORTOCIRCUITO



VOLTAJE DEL CONDENSADOR EN CORTOCIRCUITO



RESUMEN DE RESULTADOS EN CORTOCIRCUITO		
$\delta = 0^\circ$	VALORES TRANSITORIOS	VALORES PERMANENTES
	MAXIMOS	MAXIMOS
CORRIENTE TOTAL	3872.5 (A)	3805.4 (A)
VOLTAJE DEL CAPACITOR	25945.9 (V)	26496.3 (V)
$\delta = 90^\circ$	VALORES TRANSITORIOS	VALORES PERMANENTES
	MAXIMOS	MAXIMOS
CORRIENTE TOTAL	3799.6 (A)	3805.4 (A)
VOLTAJE DEL CAPACITOR	25457.1 (V)	26496.3 (V)

Del cuadro de resultados en cortocircuito podemos ver que independiente del ángulo los valores tanto de corriente como de voltaje sobre el capacitor varían muy poco, y estos valores son aproximadamente 16 veces los valores nominales lo que puede causar graves daños en la instalación, de ahí que la protección de cortocircuito debe ser lo suficientemente rápida para evitar que estos valores se incrementen demasiado.

3.2.3 EVALUACION TECNICA-ECONOMICA:

Posteriormente se ubicará un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas, así como del precio de cada uno de los tipos de conexión de los bancos de capacitores.

A continuación se procede a realizar el estudio económico comparativo.

ESTUDIO ECONOMICO:

El estudio se basa en el cálculo de las pérdidas anuales en el primario de distribución tumbaco E-36.

Para determinar las pérdidas anuales es necesario definir el factor de carga y el factor de pérdidas.

Factor de carga (Fc): relación entre la carga promedio en un período de tiempo y la carga pico en ese tiempo.

Con los MVA proporcionados por el cuadro de lecturas de carga del primario TUMBACO E-36 calculamos el factor de carga.

$$Fc = \frac{S_{prom}}{S_{max}}$$

$$Fc = \frac{4.5975}{8.37}$$

$$Fc = 0.56$$

Factor de pérdidas (Fp): relación entre las pérdidas promedio en un período de tiempo y las pérdidas pico durante ese período.

$$F_p = \frac{\sum I_i * R * \Delta t_i}{(I_{max})^2 * R * T}$$

Con los datos proporcionados por la curva de carga mostrada anteriormente calculamos el factor de pérdidas de la siguiente manera:

$$F_p = \frac{358408.1224}{(210)^2 * 24}$$

$$F_p = 0.3386$$

Por medio de las dos definiciones anteriores, se calculan las pérdidas anuales totales. En este cálculo se refleja la variación de la carga durante el día, de manera que el valor total de pérdidas anuales resulte un valor muy aproximado al real.

Del flujo realizado al alimentador a máxima carga se obtuvo las siguientes pérdidas totales.

	PERDIDAS TRIFASICAS TOTALES (KW)
SIN COMPENSACION	610
COMPENSACION SHUNT EN 8	450
COMPENSACION SERIE EN 4	520
COMPENSACION MIXTA EN 4	450

Entonces las pérdidas de energía anuales se calculan de la siguiente manera:

$$E_p = P_p * F_p * 365 * 24$$

SIN COMPENSACION

$$E_p = 610 * 0.3386 * 365 * 24 \text{ (KW - HORA)}$$

$$E_p = 1'809.260.9 \text{ (KW - HORA)}$$

CON COMPENSACION SHUNT EN 8

$$E_p = 450 * 0.3386 * 365 * 24 \text{ (KW - HORA)}$$

$$E_p = 1'334.761.2 \text{ (KW - HORA)}$$

CON COMPENSACION SERIE EN 4

$$E_p = 520 * 0.3386 * 365 * 24 \text{ (KW - HORA)}$$

$$E_p = 1'542.390.7 \text{ (KW - HORA)}$$

CON COMPENSACION MIXTA EN 4

$$E_p = 450 * 0.3386 * 365 * 24 \text{ (KW - HORA)}$$

$$E_p = 1'334.761.2 \text{ (KW - HORA)}$$

Con los valores indicados anteriormente se calculan los montos del ahorro anual por disminución de las pérdidas y el valor presente para un período de vida útil del equipo de 30 años. Los cálculos se realizarán en dólares para evitar las distorsiones debidas a la inflación y se considerará un interes del 12% anual y un precio promedio de (US \$0.06) el Kw-hora.

$$\$/ \text{ AÑO} = \text{PERDIDAS ANUALES} * \$/ \text{ KW - HORA}$$

Las pérdidas anuales sin compensación son:

$$\$/ \text{ AÑO} = 1'809.260,9 * 0,06$$

$$\$/ \text{ AÑO} = 108.555,6 \text{ (US \$)}$$

Las pérdidas anuales con compensación shunt en 8 son:

$$\$/ \text{ AÑO} = 1'334.761,2 * 0,06$$

$$\$/ \text{ AÑO} = 80.085,6 \text{ (US \$)}$$

Las pérdidas anuales con compensación serie en 4 son:

$$\$/ \text{ AÑO} = 1'542.390,7 * 0,06$$

$$\$/ \text{ AÑO} = 92.543,4 \text{ (US \$)}$$

Las pérdidas anuales con compensación mixta en 8 son:

$$\$/ \text{ AÑO} = 1'334.761,2 * 0,06$$

$$\$/ \text{ AÑO} = 80.085,6 \text{ (US \$)}$$

El ahorro anual al utilizar compensación shunt en 8 es de:

$$\text{AHORRO ANUAL} = 28.470 \text{ (US \$)}$$

El Ahorro anual al utilizar compensación serie en 4 es de:

$$\text{AHORRO ANUAL} = 16.012,2 \text{ (US \$)}$$

El Ahorro anual al utilizar compensación mixta en 8 es de:

$$\text{AHORRO ANUAL} = 28.470 \text{ (US \$)}$$

Fórmula del valor presente:

$$P = R * \frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n}$$

Donde:

R= Ahorro anual

i= Interes anual (12%)

n= Vida útil (30 años)

El valor presente al utilizar compensación shunt en 8 es:

$$P = 28.470 * \frac{(1 + 0,12)^{30} - 1}{0,12 * (1 + 0,12)^{30}}$$

$$P = 229.331 \text{ (US \$)}$$

El valor presente al utilizar compensación serie en 4 es:

$$P = 16.012,2 * \frac{(1 + 0,12)^{30} - 1}{0,12 * (1 + 0,12)^{30}}$$

$$P = 128.981,2 \text{ (US \$)}$$

El valor presente al utilizar compensación mixta en 8 es:

$$P = 28.470 * \frac{(1 + 0,12)^{30} - 1}{0,12 * (1 + 0,12)^{30}}$$

$$P = 229.331 \text{ (US \$)}$$

Los valores de ahorro para los dos casos de bancos de capacitores se tienen en el siguiente cuadro:

	AHORRO ANUAL USD	VALOR PRESENTE USD
COMPENSACION SERIE	16.012,2	128.981,2
COMPENSACION SHUNT	28.470	229.331
COMPENSACION MIXTA	28.470	229.331

A continuación se desglosa el valor de cada uno de los equipos, estos costos fueron proporcionados por la empresa ABB.

BANCO SHUNT

BANCO TRIFASICO	US \$ 6.000
SECCIONADORES	6.000
CONTROL	2.000
SENSORES DE CORRIENTE ..	1.000
SENSORES DE VOLTAJE	6.000
FLETE (CIF)	1.000

TOTAL: US \$ 22.000

BANCO MIXTO

BANCO TRIFASICO	US \$ 6.000
SECCIONADORES	6.000
CONTROL	2.000
SENSORES DE CORRIENTE ..	1.000
SENSORES DE VOLTAJE	6.000
REGULADOR DE VOLTAJE ...	60.000
FLETE (CIF)	2.000

TOTAL: US \$ 83.000

BANCO SERIE COMPLETO

BANCO TRIFASICO	US \$ 15.000
REACTORES	30.000
SECCIONADORES	45.000
CONTROL	15.000
IMPEDANCIA DE AMORTIGUAMIENTO	30.000
FLETE (CIF)	3.000

TOTAL: US \$ 138.000

BANCO SERIE SENCILLO

BANCO TRIFASICO	US \$ 15.000
SECCIONADORES	15.000
CONTROL	15.000
IMPEDANCIA DE	
AMORTIGUAMIENTO	30.000
FLETE (CIF)	2.000
TOTAL: US \$ 77.000	

Por lo tanto, la relación de costo beneficio para cada caso es la siguiente:

- BANCO SERIE COMPLETO = $(138.000/128.981,2) * 100 = 107\%$
- BANCO SERIE SENCILLO = $(77.000/128.981,2) * 100 = 59,7\%$
- BANCO SHUNT = $(22.000/229.331) * 100 = 9,6\%$
- BANCO MIXTO = $(83.000/229.331) * 100 = 33,6\%$

Es decir que con el ahorro de pérdidas el banco serie completo no se llega a pagar, el banco serie sencillo se paga en 7,6 años, el banco shunt se paga en 9,9 meses y el banco mixto se paga en 3,8 años.

3.2.4 CONCLUSIONES:

1) La instalación de los bancos de capacitores tipo serie en primarios de distribución, es actualmente factible debido a que se han resuelto los problemas técnicos de protección de sobretensión, eliminación de riesgos de ferresonancia y protección del banco ante cortocircuitos en la red de distribución.

2) Si el primario de distribución no presenta cargas

especiales que puedan provocar problemas, se puede utilizar el banco sencillo con lo que se abarata costos.

3) Los bancos de capacitores tipo paralelo, controlados por medio de control automático tipo VAR, técnicamente dan excelentes resultados para la corrección del factor de potencia, y disminución de pérdidas.

4) De acuerdo al análisis económico, la instalación de bancos de capacitores tipo paralelo es altamente rentable y la inversión se recupera en un período corto. Los capacitores tipo serie constituyen una inversión muy alta, con resultados técnicos excelentes pero lamentablemente la inversión se recupera en un período largo y muchas veces no se llega a recuperar.

5) Después de haber realizado el estudio técnico-económico podemos decir que si lo que nos interesa en nuestro proyecto es principalmente el aspecto económico con resultados técnicos buenos sin lugar a duda nos inclinaremos por la compensación shunt o mixta, pero si para nuestro proyecto queremos resultados técnicos excelentes deberemos pensar en la compensación serie.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1) El uso de capacitores serie para incrementar la capacidad de transmisión de una línea podría ser una solución económica cuando el factor de carga es relativamente bajo.

2) La ventaja económica de los capacitores en serie es mucho mas notoria mientras más grande es la relación de reactancia de línea y la resistencia de la misma.

3) La ventaja económica del capacitor en serie es mucho mayor mientras menor es la caída de voltaje permisible.

4) La solución que mayores ventajas presente dependerá de las condiciones particulares de cada problema, siendo un factor determinante el poder anticipar el crecimiento de carga que puede sufrir el primario de distribución, pues si se produce un crecimiento de carga luego que se instaló los capacitores, el capacitor serie puede adaptarse a estas condiciones mucho mas fácilmente que los equipos conectados en paralelo.

4.2 RECOMENDACIONES

1) Por las grandes ventajas técnicas que presenta la compensación serie, no se debe descartar de cualquier proyecto en el que se quiera mejorar la regulación de voltaje.

2) Debido al gran avance tecnológico que existe en la actualidad no se descarta la posibilidad de que en el futuro

se desarrollen sistemas de protecciones mas económicos, por lo que sería importante el seguir investigando sobre este tema.

3) Los tipos de protecciones que se deben considerar para la compensación serie son bastante especiales, por lo que se debe realizar un estudio mas profundo sobre este tema.

ANEXO

RESULTADOS DE LOS FLUJOS DE CARGA DEL
ALIMENTADOR TUMBACO E-36 AL 100% - 80% -
60% Y 40% DE LA CARGA MAXIMA

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A CARGA MAXIMA
SIN COMPENSACION

PowerWorld Simulator Jue Nov 19, 1998 10:44 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
GENERATOR	1	7.22		4.27R	8.4			
TO	2 2	1	7.22	4.27	8.4	1		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9880	-0.14	1 1
LOAD	1	0.91		0.51	1.0			
TO	1 1	1	-7.15	-4.20	8.3	1		
TO	3 3	1	6.24	3.68	7.2	1		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9618	-0.46	1 1
LOAD	1	0.11		0.06	0.1			
TO	2 2	1	-6.09	-3.55	7.1	1		
TO	4 4	1	5.98	3.49	6.9	1		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9446	-0.68	1 1
LOAD	1	0.34		0.19	0.4			
TO	3 3	1	-5.89	-3.40	6.8	1		
TO	5 5	1	5.55	3.21	6.4	1		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9288	-0.89	1 1
LOAD	1	0.32		0.18	0.4			
TO	4 4	1	-5.47	-3.14	6.3	1		
TO	6 6	1	5.15	2.95	5.9	1		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9212	-0.99	1 1
LOAD	1	0.24		0.14	0.3			
TO	5 5	1	-5.11	-2.92	5.9	1		
TO	7 7	1	4.87	2.79	5.6	1		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9084	-1.17	1 1
LOAD	1	0.40		0.22	0.5			
TO	6 6	1	-4.81	-2.73	5.5	1		
TO	88 Cap	1	4.42	2.51	5.1	1		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.8958	-1.27	1 1
LOAD	1	0.49		0.28	0.6			
SWITCHED SHUNT		0.00		0.00	0.0			
TO	9 9	1	1.51	0.85	1.7	0		
TO	15 15	1	2.35	1.33	2.7	0		
TO	88 Cap	1	-4.36	-2.47	5.0	1		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.8900	-1.24	1 1
LOAD	1	0.49		0.28	0.6			
TO	8 8	1	-1.50	-0.85	1.7	0		
TO	10 10	1	1.01	0.57	1.2	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.8827	-1.15	1 1
LOAD	1	0.20		0.11	0.2			
TO	9 9	1	-1.00	-0.56	1.1	0		
TO	11 11	1	0.80	0.45	0.9	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.8776	-1.08	1 1
LOAD	1	0.21		0.12	0.2			
TO	10 10	1	-0.79	-0.45	0.9	0		

TO	12 12	1	0.58	0.33	0.7	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8746	-1.04	1 1
LOAD	1		0.16	0.09	0.2				
TO	11 11	1	-0.58	-0.33	0.7	0			
TO	13 13	1	0.42	0.24	0.5	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8731	-1.05	1 1
LOAD	1		0.25	0.14	0.3				
TO	12 12	1	-0.42	-0.24	0.5	0			
TO	14 14	1	0.17	0.10	0.2	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8708	-1.02	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	13 13	1	-0.17	-0.10	0.2	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8884	-1.32	1 1
LOAD	1		0.36	0.21	0.4				
TO	8 8	1	-2.34	-1.32	2.7	0			
TO	16 16	1	1.97	1.12	2.3	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8839	-1.30	1 1
LOAD	1		0.24	0.14	0.3				
TO	15 15	1	-1.96	-1.11	2.3	0			
TO	17 17	1	1.72	0.97	2.0	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8810	-1.29	1 1
LOAD	1		0.29	0.16	0.3				
TO	16 16	1	-1.72	-0.97	2.0	0			
TO	18 18	1	1.43	0.81	1.6	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8740	-1.26	1 1
LOAD	1		0.28	0.16	0.3				
TO	17 17	1	-1.42	-0.80	1.6	0			
TO	19 19	1	1.13	0.64	1.3	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8720	-1.27	1 1
LOAD	1		0.22	0.13	0.3				
TO	18 18	1	-1.13	-0.64	1.3	0			
TO	20 20	1	0.91	0.51	1.0	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8697	-1.27	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	19 19	1	-0.91	-0.51	1.0	0			
TO	21 21	1	0.77	0.44	0.9	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8679	-1.26	1 1
LOAD	1		0.21	0.12	0.2				
TO	20 20	1	-0.77	-0.43	0.9	0			
TO	22 22	1	0.56	0.32	0.6	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8660	-1.24	1 1
LOAD	1		0.23	0.13	0.3				
TO	21 21	1	-0.56	-0.31	0.6	0			
TO	23 23	1	0.33	0.19	0.4	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8633	-1.20	1 1
LOAD	1		0.33	0.19	0.4				
TO	22 22	1	-0.33	-0.19	0.4	0			

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A CARGA MAXIMA
CON COMPENSACION SHUNT EN EL NODO 8

PowerWorld Simulator Jue Nov 19, 1998 11:58 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
GENERATOR	1		7.08	2.11R	7.4			
TO	2 2	1	7.08	2.11	7.4	1		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9903	-0.27	1 1
LOAD	1		0.91	0.51	1.0			
TO	1 1	1	-7.02	-2.05	7.3	1		
TO	3 3	1	6.11	1.54	6.3	1		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9698	-0.91	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1			
TO	2 2	1	-6.00	-1.44	6.2	1		
TO	4 4	1	5.89	1.38	6.1	1		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9566	-1.35	1 1
LOAD	1		0.34	0.19	0.4			
TO	3 3	1	-5.82	-1.31	6.0	1		
TO	5 5	1	5.48	1.12	5.6	1		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9446	-1.78	1 1
LOAD	1		0.32	0.18	0.4			
TO	4 4	1	-5.42	-1.07	5.5	1		
TO	6 6	1	5.10	0.88	5.2	1		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9389	-2.00	1 1
LOAD	1		0.24	0.14	0.3			
TO	5 5	1	-5.07	-0.86	5.1	1		
TO	7 7	1	4.83	0.72	4.9	0		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9296	-2.38	1 1
LOAD	1		0.40	0.22	0.5			
TO	6 6	1	-4.79	-0.68	4.8	0		
TO	88 Cap	1	4.39	0.46	4.4	0		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9203	-2.72	1 1
LOAD	1		0.49	0.28	0.6			
SWITCHED SHUNT			0.00	2.03	2.0			
TO	9 9	1	1.51	0.85	1.7	0		
TO	15 15	1	2.35	1.33	2.7	0		
TO	88 Cap	1	-4.35	-0.43	4.4	0		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9147	-2.70	1 1
LOAD	1		0.49	0.28	0.6			
TO	8 8	1	-1.50	-0.85	1.7	0		
TO	10 10	1	1.01	0.57	1.2	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9076	-2.61	1 1
LOAD	1		0.20	0.11	0.2			
TO	9 9	1	-1.00	-0.56	1.1	0		
TO	11 11	1	0.80	0.45	0.9	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9026	-2.55	1 1
LOAD	1		0.21	0.12	0.2			
TO	10 10	1	-0.79	-0.45	0.9	0		

TO	12 12	1	0.58	0.33	0.7	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8997	-2.51	1 1
LOAD	1		0.16	0.09	0.2				
TO	11 11	1	-0.58	-0.33	0.7	0			
TO	13 13	1	0.42	0.24	0.5	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8983	-2.52	1 1
LOAD	1		0.25	0.14	0.3				
TO	12 12	1	-0.42	-0.24	0.5	0			
TO	14 14	1	0.17	0.10	0.2	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8960	-2.49	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	13 13	1	-0.17	-0.10	0.2	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9132	-2.78	1 1
LOAD	1		0.36	0.21	0.4				
TO	8 8	1	-2.33	-1.32	2.7	0			
TO	16 16	1	1.97	1.11	2.3	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9087	-2.76	1 1
LOAD	1		0.24	0.14	0.3				
TO	15 15	1	-1.96	-1.11	2.3	0			
TO	17 17	1	1.72	0.97	2.0	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9060	-2.75	1 1
LOAD	1		0.29	0.16	0.3				
TO	16 16	1	-1.71	-0.97	2.0	0			
TO	18 18	1	1.43	0.81	1.6	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8991	-2.72	1 1
LOAD	1		0.28	0.16	0.3				
TO	17 17	1	-1.42	-0.80	1.6	0			
TO	19 19	1	1.13	0.64	1.3	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8972	-2.73	1 1
LOAD	1		0.22	0.13	0.3				
TO	18 18	1	-1.13	-0.64	1.3	0			
TO	20 20	1	0.91	0.51	1.0	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8950	-2.73	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	19 19	1	-0.91	-0.51	1.0	0			
TO	21 21	1	0.77	0.43	0.9	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8932	-2.72	1 1
LOAD	1		0.21	0.12	0.2				
TO	20 20	1	-0.77	-0.43	0.9	0			
TO	22 22	1	0.56	0.32	0.6	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8914	-2.70	1 1
LOAD	1		0.23	0.13	0.3				
TO	21 21	1	-0.56	-0.31	0.6	0			
TO	23 23	1	0.33	0.19	0.4	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8887	-2.66	1 1
LOAD	1		0.33	0.19	0.4				
TO	22 22	1	-0.33	-0.19	0.4	0			

BUS	88 Cap	22.8	MW	MVAR	MVA	8 0.9203	-2.72	1 1
TO	7 7	1	-4.35	-0.43	4.4	0		
TO	8 8	1	4.35	0.43	4.4	0		

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A CARGA MAXIMA
CON COMPENSACION SERIE EN EL NODO 4

PowerWorld Simulator Jue Dic 17, 1998 11:13 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
GENERATOR 1			7.12	3.06R	7.7			
TO	2 2	1	7.12	3.06	7.7	1		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9893	-0.21	1 1
LOAD 1			0.91	0.51	1.0			
TO	1 1	1	-7.05	-3.00	7.7	1		
TO	3 3	1	6.15	2.49	6.6	1		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9663	-0.71	1 1
LOAD 1			0.11	0.06	0.1			
TO	2 2	1	-6.02	-2.38	6.5	1		
TO	89 Cap2	1	5.92	2.32	6.4	1		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0246	7.83	1 1
LOAD 1			0.34	0.19	0.4			
TO	5 5	1	5.49	3.17	6.3	1		
TO	89 Cap2	1	-5.84	-3.36	6.7	1		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0102	7.65	1 1
LOAD 1			0.32	0.18	0.4			
TO	4 4	1	-5.43	-3.11	6.3	1		
TO	6 6	1	5.11	2.93	5.9	1		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0032	7.57	1 1
LOAD 1			0.24	0.14	0.3			
TO	5 5	1	-5.08	-2.90	5.8	1		
TO	7 7	1	4.84	2.76	5.6	1		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9916	7.42	1 1
LOAD 1			0.40	0.22	0.5			
TO	6 6	1	-4.79	-2.72	5.5	1		
TO	88 Cap	1	4.39	2.49	5.0	1		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9800	7.34	1 1
LOAD 1			0.49	0.28	0.6			
SWITCHED SHUNT			0.00	0.00	0.0			
TO	9 9	1	1.51	0.85	1.7	0		
TO	15 15	1	2.34	1.33	2.7	0		
TO	88 Cap	1	-4.34	-2.46	5.0	0		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9748	7.36	1 1
LOAD 1			0.49	0.28	0.6			
TO	8 8	1	-1.50	-0.85	1.7	0		
TO	10 10	1	1.00	0.57	1.2	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9681	7.44	1 1
LOAD 1			0.20	0.11	0.2			
TO	9 9	1	-1.00	-0.56	1.1	0		
TO	11 11	1	0.79	0.45	0.9	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9635	7.49	1 1
LOAD 1			0.21	0.12	0.2			
TO	10 10	1	-0.79	-0.45	0.9	0		

TO	12 12	1	0.58	0.33	0.7	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9607	7.53	1 1
LOAD	1		0.16	0.09	0.2				
TO	11 11	1	-0.58	-0.33	0.7	0			
TO	13 13	1	0.42	0.24	0.5	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9594	7.52	1 1
LOAD	1		0.25	0.14	0.3				
TO	12 12	1	-0.42	-0.24	0.5	0			
TO	14 14	1	0.17	0.10	0.2	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9573	7.54	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	13 13	1	-0.17	-0.10	0.2	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9733	7.29	1 1
LOAD	1		0.36	0.21	0.4				
TO	8 8	1	-2.33	-1.32	2.7	0			
TO	16 16	1	1.97	1.11	2.3	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9692	7.31	1 1
LOAD	1		0.24	0.14	0.3				
TO	15 15	1	-1.96	-1.11	2.3	0			
TO	17 17	1	1.72	0.97	2.0	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9666	7.32	1 1
LOAD	1		0.29	0.16	0.3				
TO	16 16	1	-1.71	-0.97	2.0	0			
TO	18 18	1	1.43	0.81	1.6	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9602	7.34	1 1
LOAD	1		0.28	0.16	0.3				
TO	17 17	1	-1.42	-0.80	1.6	0			
TO	19 19	1	1.13	0.64	1.3	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9584	7.34	1 1
LOAD	1		0.22	0.13	0.3				
TO	18 18	1	-1.13	-0.64	1.3	0			
TO	20 20	1	0.91	0.51	1.0	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9564	7.33	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	19 19	1	-0.91	-0.51	1.0	0			
TO	21 21	1	0.77	0.43	0.9	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9547	7.34	1 1
LOAD	1		0.21	0.12	0.2				
TO	20 20	1	-0.77	-0.43	0.9	0			
TO	22 22	1	0.56	0.32	0.6	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9530	7.36	1 1
LOAD	1		0.23	0.13	0.3				
TO	21 21	1	-0.56	-0.31	0.6	0			
TO	23 23	1	0.33	0.19	0.4	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9505	7.39	1 1
LOAD	1		0.33	0.19	0.4				
TO	22 22	1	-0.33	-0.19	0.4	0			

BUS	88 Cap	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9800	7.34	1	1
TO	7 7	1	-4.34	-2.46	5.0	0				
TO	8 8	1	4.34	2.46	5.0	0				
BUS	89 Cap2	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9514	-1.05	1	1
TO	3 3	1	-5.84	-2.25	6.3	1				
TO	4 4	1	5.84	2.25	6.3	1				

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 80% DE LA CARGA
MÁXIMA SIN COMPENSACION

PowerWorld Simulator Jue Nov 19, 1998 10:54 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
GENERATOR 1		5.66		3.31R	6.6			
TO	2 2	1	5.66	3.31	6.6	1		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9906	-0.11	1 1
LOAD 1		0.73		0.41	0.8			
TO	1 1	1	-5.61	-3.27	6.5	1		
TO	3 3	1	4.88	2.86	5.7	1		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9702	-0.36	1 1
LOAD 1		0.09		0.05	0.1			
TO	2 2	1	-4.79	-2.78	5.5	1		
TO	4 4	1	4.71	2.73	5.4	1		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9569	-0.53	1 1
LOAD 1		0.27		0.16	0.3			
TO	3 3	1	-4.65	-2.68	5.4	1		
TO	5 5	1	4.38	2.52	5.0	1		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9446	-0.70	1 1
LOAD 1		0.26		0.15	0.3			
TO	4 4	1	-4.33	-2.48	5.0	0		
TO	6 6	1	4.07	2.33	4.7	0		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9387	-0.77	1 1
LOAD 1		0.19		0.11	0.2			
TO	5 5	1	-4.05	-2.31	4.7	0		
TO	7 7	1	3.86	2.20	4.4	0		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9287	-0.91	1 1
LOAD 1		0.32		0.18	0.4			
TO	6 6	1	-3.82	-2.17	4.4	0		
TO	88 Cap	1	3.50	1.99	4.0	0		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9189	-0.98	1 1
LOAD 1		0.40		0.22	0.5			
SWITCHED SHUNT		0.00		0.00	0.0			
TO	9 9	1	1.20	0.68	1.4	0		
TO	15 15	1	1.87	1.06	2.2	0		
TO	88 Cap	1	-3.47	-1.96	4.0	0		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9144	-0.97	1 1
LOAD 1		0.40		0.22	0.5			
TO	8 8	1	-1.20	-0.68	1.4	0		
TO	10 10	1	0.80	0.45	0.9	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9088	-0.89	1 1
LOAD 1		0.16		0.09	0.2			
TO	9 9	1	-0.80	-0.45	0.9	0		
TO	11 11	1	0.64	0.36	0.7	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9048	-0.84	1 1
LOAD 1		0.17		0.09	0.2			
TO	10 10	1	-0.63	-0.36	0.7	0		

TO	12 12	1	0.47	0.26	0.5	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9025	-0.81	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.1				
TO	11 11	1	-0.46	-0.26	0.5	0			
TO	13 13	1	0.34	0.19	0.4	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9014	-0.82	1 1
LOAD	1		0.20	0.11	0.2				
TO	12 12	1	-0.34	-0.19	0.4	0			
TO	14 14	1	0.14	0.08	0.2	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8995	-0.80	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	13 13	1	-0.14	-0.08	0.2	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9132	-1.03	1 1
LOAD	1		0.29	0.16	0.3				
TO	8 8	1	-1.86	-1.05	2.1	0			
TO	16 16	1	1.57	0.89	1.8	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9097	-1.01	1 1
LOAD	1		0.19	0.11	0.2				
TO	15 15	1	-1.57	-0.89	1.8	0			
TO	17 17	1	1.37	0.78	1.6	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9075	-1.00	1 1
LOAD	1		0.23	0.13	0.3				
TO	16 16	1	-1.37	-0.77	1.6	0			
TO	18 18	1	1.14	0.65	1.3	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9020	-0.98	1 1
LOAD	1		0.23	0.13	0.3				
TO	17 17	1	-1.13	-0.64	1.3	0			
TO	19 19	1	0.91	0.51	1.0	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9005	-0.98	1 1
LOAD	1		0.18	0.10	0.2				
TO	18 18	1	-0.90	-0.51	1.0	0			
TO	20 20	1	0.73	0.41	0.8	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8988	-0.99	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1				
TO	19 19	1	-0.72	-0.41	0.8	0			
TO	21 21	1	0.61	0.35	0.7	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8974	-0.98	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	20 20	1	-0.61	-0.35	0.7	0			
TO	22 22	1	0.45	0.25	0.5	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8959	-0.96	1 1
LOAD	1		0.18	0.10	0.2				
TO	21 21	1	-0.44	-0.25	0.5	0			
TO	23 23	1	0.26	0.15	0.3	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.8938	-0.93	1 1
LOAD	1		0.26	0.15	0.3				
TO	22 22	1	-0.26	-0.15	0.3	0			

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 80% DE LA CARGA
MAXIMA CON COMPENSACION SHUNT EN EL NODO 8

PowerWorld Simulator Jue Nov 26, 1998 12:01 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	%	1.0000	0.00	1 1
	GENERATOR 1		5.59	2.21R	6.0				
	TO 2 2	1	5.59	2.21	6.0	1			
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9918	-0.18	1 1
	LOAD 1		0.73	0.41	0.8				
	TO 1 1	1	-5.55	-2.18	6.0	1			
	TO 3 3	1	4.83	1.77	5.1	1			
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9742	-0.60	1 1
	LOAD 1		0.09	0.05	0.1				
	TO 2 2	1	-4.75	-1.70	5.0	1			
	TO 4 4	1	4.67	1.65	5.0	0			
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9629	-0.88	1 1
	LOAD 1		0.27	0.16	0.3				
	TO 3 3	1	-4.62	-1.61	4.9	0			
	TO 5 5	1	4.35	1.45	4.6	0			
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9525	-1.15	1 1
	LOAD 1		0.26	0.15	0.3				
	TO 4 4	1	-4.31	-1.42	4.5	0			
	TO 6 6	1	4.05	1.27	4.2	0			
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9475	-1.29	1 1
	LOAD 1		0.19	0.11	0.2				
	TO 5 5	1	-4.03	-1.26	4.2	0			
	TO 7 7	1	3.84	1.15	4.0	0			
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9393	-1.53	1 1
	LOAD 1		0.32	0.18	0.4				
	TO 6 6	1	-3.81	-1.12	4.0	0			
	TO 88 Cap	1	3.50	0.94	3.6	0			
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9311	-1.72	1 1
	LOAD 1		0.40	0.22	0.5				
	SWITCHED SHUNT		0.00	1.04	1.0				
	TO 9 9	1	1.20	0.68	1.4	0			
	TO 15 15	1	1.87	1.06	2.2	0			
	TO 88 Cap	1	-3.47	-0.92	3.6	0			
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9267	-1.71	1 1
	LOAD 1		0.40	0.22	0.5				
	TO 8 8	1	-1.20	-0.68	1.4	0			
	TO 10 10	1	0.80	0.45	0.9	0			
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9211	-1.64	1 1
	LOAD 1		0.16	0.09	0.2				
	TO 9 9	1	-0.80	-0.45	0.9	0			
	TO 11 11	1	0.64	0.36	0.7	0			
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9172	-1.59	1 1
	LOAD 1		0.17	0.09	0.2				

TO	10	10	1	-0.63	-0.36	0.7	0		
TO	12	12	1	0.47	0.26	0.5	0		
BUS	12	12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9149	-1.56
LOAD	1			0.13	0.07	0.1			1
TO	11	11	1	-0.46	-0.26	0.5	0		
TO	13	13	1	0.34	0.19	0.4	0		
BUS	13	13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9138	-1.57
LOAD	1			0.20	0.11	0.2			1
TO	12	12	1	-0.34	-0.19	0.4	0		
TO	14	14	1	0.14	0.08	0.2	0		
BUS	14	14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9120	-1.54
LOAD	1			0.14	0.08	0.2			1
TO	13	13	1	-0.14	-0.08	0.2	0		
BUS	15	15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9255	-1.77
LOAD	1			0.29	0.16	0.3			1
TO	8	8	1	-1.86	-1.05	2.1	0		
TO	16	16	1	1.57	0.89	1.8	0		
BUS	16	16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9221	-1.75
LOAD	1			0.19	0.11	0.2			1
TO	15	15	1	-1.56	-0.89	1.8	0		
TO	17	17	1	1.37	0.78	1.6	0		
BUS	17	17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9199	-1.74
LOAD	1			0.23	0.13	0.3			1
TO	16	16	1	-1.37	-0.77	1.6	0		
TO	18	18	1	1.14	0.64	1.3	0		
BUS	18	18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9145	-1.72
LOAD	1			0.23	0.13	0.3			1
TO	17	17	1	-1.13	-0.64	1.3	0		
TO	19	19	1	0.91	0.51	1.0	0		
BUS	19	19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9130	-1.73
LOAD	1			0.18	0.10	0.2			1
TO	18	18	1	-0.90	-0.51	1.0	0		
TO	20	20	1	0.73	0.41	0.8	0		
BUS	20	20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9113	-1.73
LOAD	1			0.11	0.06	0.1			1
TO	19	19	1	-0.72	-0.41	0.8	0		
TO	21	21	1	0.61	0.35	0.7	0		
BUS	21	21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9099	-1.72
LOAD	1			0.17	0.10	0.2			1
TO	20	20	1	-0.61	-0.35	0.7	0		
TO	22	22	1	0.45	0.25	0.5	0		
BUS	22	22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9084	-1.70
LOAD	1			0.18	0.10	0.2			1
TO	21	21	1	-0.44	-0.25	0.5	0		
TO	23	23	1	0.26	0.15	0.3	0		
BUS	23	23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9063	-1.68
LOAD	1			0.26	0.15	0.3			1

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 80% DE LA CARGA
MAXIMA CON COMPENSACION SERIE EN EL NODO 4

PowerWorld Simulator Jue Dic 17, 1998 11:17 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	%	1.0000	0.00	1 1
GENERATOR	1		5.61	2.56R	6.2				
TO	2 2	1	5.61	2.56	6.2	1			
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9914	-0.16	1 1
LOAD	1		0.73	0.41	0.8				
TO	1 1	1	-5.56	-2.53	6.1	1			
TO	3 3	1	4.84	2.12	5.3	1			
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9730	-0.52	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	2 2	1	-4.76	-2.05	5.2	1			
TO	89 Cap2	1	4.67	2.00	5.1	1			
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	%	1.0209	6.21	1 1
LOAD	1		0.27	0.16	0.3				
TO	5 5	1	4.35	2.50	5.0	1			
TO	89 Cap2	1	-4.62	-2.66	5.3	1			
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	%	1.0095	6.07	1 1
LOAD	1		0.26	0.15	0.3				
TO	4 4	1	-4.31	-2.46	5.0	0			
TO	6 6	1	4.05	2.32	4.7	0			
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	%	1.0040	6.00	1 1
LOAD	1		0.19	0.11	0.2				
TO	5 5	1	-4.03	-2.30	4.6	0			
TO	7 7	1	3.84	2.19	4.4	0			
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9947	5.89	1 1
LOAD	1		0.32	0.18	0.4				
TO	6 6	1	-3.81	-2.16	4.4	0			
TO	88 Cap	1	3.49	1.98	4.0	0			
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9856	5.82	1 1
LOAD	1		0.40	0.22	0.5				
SWITCHED SHUNT			0.00	0.00	0.0				
TO	9 9	1	1.20	0.68	1.4	0			
TO	15 15	1	1.87	1.06	2.1	0			
TO	88 Cap	1	-3.46	-1.96	4.0	0			
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9814	5.84	1 1
LOAD	1		0.40	0.22	0.5				
TO	8 8	1	-1.20	-0.68	1.4	0			
TO	10 10	1	0.80	0.45	0.9	0			
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9762	5.90	1 1
LOAD	1		0.16	0.09	0.2				
TO	9 9	1	-0.80	-0.45	0.9	0			
TO	11 11	1	0.63	0.36	0.7	0			
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9725	5.95	1 1
LOAD	1		0.17	0.09	0.2				

TO	10 10	1	-0.63	-0.36	0.7	0			
TO	12 12	1	0.47	0.26	0.5	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9703	5.97	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.1				
TO	11 11	1	-0.46	-0.26	0.5	0			
TO	13 13	1	0.34	0.19	0.4	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9692	5.96	1 1
LOAD	1		0.20	0.11	0.2				
TO	12 12	1	-0.34	-0.19	0.4	0			
TO	14 14	1	0.14	0.08	0.2	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9675	5.98	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	13 13	1	-0.14	-0.08	0.2	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9803	5.79	1 1
LOAD	1		0.29	0.16	0.3				
TO	8 8	1	-1.86	-1.05	2.1	0			
TO	16 16	1	1.57	0.89	1.8	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9770	5.80	1 1
LOAD	1		0.19	0.11	0.2				
TO	15 15	1	-1.56	-0.88	1.8	0			
TO	17 17	1	1.37	0.77	1.6	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9750	5.81	1 1
LOAD	1		0.23	0.13	0.3				
TO	16 16	1	-1.37	-0.77	1.6	0			
TO	18 18	1	1.14	0.64	1.3	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9699	5.82	1 1
LOAD	1		0.23	0.13	0.3				
TO	17 17	1	-1.13	-0.64	1.3	0			
TO	19 19	1	0.90	0.51	1.0	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9685	5.82	1 1
LOAD	1		0.18	0.10	0.2				
TO	18 18	1	-0.90	-0.51	1.0	0			
TO	20 20	1	0.72	0.41	0.8	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9669	5.82	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1				
TO	19 19	1	-0.72	-0.41	0.8	0			
TO	21 21	1	0.61	0.35	0.7	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9655	5.82	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	20 20	1	-0.61	-0.35	0.7	0			
TO	22 22	1	0.45	0.25	0.5	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9642	5.84	1 1
LOAD	1		0.18	0.10	0.2				
TO	21 21	1	-0.44	-0.25	0.5	0			
TO	23 23	1	0.26	0.15	0.3	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9622	5.87	1 1
LOAD	1		0.26	0.15	0.3				

TO	22 22	1	-0.26	-0.15	0.3	0			
BUS	88 Cap	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9856	5.82	1 1
TO	7 7	1	-3.46	-1.96	4.0	0			
TO	8 8	1	3.46	1.96	4.0	0			
BUS	89 Cap2	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9610	-0.77	1 1
TO	3 3	1	-4.62	-1.95	5.0	1			
TO	4 4	1	4.62	1.95	5.0	1			

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 60% DE LA CARGA
MAXIMA SIN COMPENSACION

PowerWorld Simulator Jue Nov 19, 1998 11:00 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	%	1.0000	0.00	1 1
GENERATOR 1			4.16	2.41R	4.8				
TO	2 2	1	4.16	2.41	4.8	0			
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9931	-0.08	1 1
LOAD 1			0.54	0.31	0.6				
TO	1 1	1	-4.13	-2.39	4.8	0			
TO	3 3	1	3.59	2.08	4.1	0			
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9782	-0.27	1 1
LOAD 1			0.07	0.04	0.1				
TO	2 2	1	-3.54	-2.04	4.1	0			
TO	4 4	1	3.48	2.00	4.0	0			
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9685	-0.39	1 1
LOAD 1			0.21	0.12	0.2				
TO	3 3	1	-3.45	-1.97	4.0	0			
TO	5 5	1	3.24	1.86	3.7	0			
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9595	-0.51	1 1
LOAD 1			0.19	0.11	0.2				
TO	4 4	1	-3.21	-1.83	3.7	0			
TO	6 6	1	3.02	1.73	3.5	0			
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9551	-0.57	1 1
LOAD 1			0.14	0.08	0.2				
TO	5 5	1	-3.01	-1.71	3.5	0			
TO	7 7	1	2.87	1.63	3.3	0			
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9479	-0.66	1 1
LOAD 1			0.24	0.13	0.3				
TO	6 6	1	-2.85	-1.62	3.3	0			
TO	88 Cap	1	2.61	1.48	3.0	0			
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9407	-0.72	1 1
LOAD 1			0.30	0.17	0.3				
SWITCHED SHUNT			0.00	0.00	0.0				
TO	9 9	1	0.90	0.51	1.0	0			
TO	15 15	1	1.40	0.79	1.6	0			
TO	88 Cap	1	-2.59	-1.47	3.0	0			
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9375	-0.70	1 1
LOAD 1			0.30	0.17	0.3				
TO	8 8	1	-0.90	-0.51	1.0	0			
TO	10 10	1	0.60	0.34	0.7	0			
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9334	-0.65	1 1
LOAD 1			0.12	0.07	0.1				
TO	9 9	1	-0.60	-0.34	0.7	0			
TO	11 11	1	0.48	0.27	0.5	0			
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9305	-0.62	1 1
LOAD 1			0.12	0.07	0.1				
TO	10 10	1	-0.47	-0.27	0.5	0			

TO	12 12	1	0.35	0.20	0.4	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9287	-0.60	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	11 11	1	-0.35	-0.20	0.4	0			
TO	13 13	1	0.25	0.14	0.3	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9279	-0.60	1 1
LOAD	1		0.15	0.09	0.2				
TO	12 12	1	-0.25	-0.14	0.3	0			
TO	14 14	1	0.10	0.06	0.1	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9266	-0.58	1 1
LOAD	1		0.10	0.06	0.1				
TO	13 13	1	-0.10	-0.06	0.1	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9366	-0.75	1 1
LOAD	1		0.22	0.12	0.2				
TO	8 8	1	-1.39	-0.79	1.6	0			
TO	16 16	1	1.17	0.66	1.3	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9340	-0.74	1 1
LOAD	1		0.15	0.08	0.2				
TO	15 15	1	-1.17	-0.66	1.3	0			
TO	17 17	1	1.02	0.58	1.2	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9324	-0.73	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	16 16	1	-1.02	-0.58	1.2	0			
TO	18 18	1	0.85	0.48	1.0	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9284	-0.72	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	17 17	1	-0.85	-0.48	1.0	0			
TO	19 19	1	0.68	0.38	0.8	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9273	-0.72	1 1
LOAD	1		0.13	0.08	0.2				
TO	18 18	1	-0.68	-0.38	0.8	0			
TO	20 20	1	0.54	0.31	0.6	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9261	-0.72	1 1
LOAD	1		0.08	0.05	0.1				
TO	19 19	1	-0.54	-0.31	0.6	0			
TO	21 21	1	0.46	0.26	0.5	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9250	-0.72	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.1				
TO	20 20	1	-0.46	-0.26	0.5	0			
TO	22 22	1	0.33	0.19	0.4	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9240	-0.70	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	21 21	1	-0.33	-0.19	0.4	0			
TO	23 23	1	0.20	0.11	0.2	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9224	-0.68	1 1
LOAD	1		0.20	0.11	0.2				
TO	22 22	1	-0.20	-0.11	0.2	0			

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 60% DE LA CARGA
MAXIMA CON COMPENSACION SHUNT EN EL NODO 8

PowerWorld Simulator Jue Nov 26, 1998 12:07 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
GENERATOR	1		4.12	1.29R	4.3			
TO	2 2	1	4.12	1.29	4.3	0		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9943	-0.15	1 1
LOAD	1		0.54	0.31	0.6			
TO	1 1	1	-4.10	-1.27	4.3	0		
TO	3 3	1	3.55	0.96	3.7	0		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9823	-0.51	1 1
LOAD	1		0.07	0.04	0.1			
TO	2 2	1	-3.52	-0.93	3.6	0		
TO	4 4	1	3.45	0.89	3.6	0		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9744	-0.75	1 1
LOAD	1		0.21	0.12	0.2			
TO	3 3	1	-3.43	-0.87	3.5	0		
TO	5 5	1	3.22	0.75	3.3	0		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9674	-0.98	1 1
LOAD	1		0.19	0.11	0.2			
TO	4 4	1	-3.20	-0.73	3.3	0		
TO	6 6	1	3.01	0.62	3.1	0		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9640	-1.10	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2			
TO	5 5	1	-3.00	-0.62	3.1	0		
TO	7 7	1	2.86	0.53	2.9	0		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9585	-1.30	1 1
LOAD	1		0.24	0.13	0.3			
TO	6 6	1	-2.84	-0.52	2.9	0		
TO	88 Cap	1	2.60	0.39	2.6	0		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9530	-1.48	1 1
LOAD	1		0.30	0.17	0.3			
SWITCHED SHUNT			0.00	1.09	1.1			
TO	9 9	1	0.90	0.51	1.0	0		
TO	15 15	1	1.40	0.79	1.6	0		
TO	88 Cap	1	-2.59	-0.38	2.6	0		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9498	-1.47	1 1
LOAD	1		0.30	0.17	0.3			
TO	8 8	1	-0.90	-0.51	1.0	0		
TO	10 10	1	0.60	0.34	0.7	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9457	-1.42	1 1
LOAD	1		0.12	0.07	0.1			
TO	9 9	1	-0.60	-0.34	0.7	0		
TO	11 11	1	0.48	0.27	0.5	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9428	-1.38	1 1
LOAD	1		0.12	0.07	0.1			
TO	10 10	1	-0.47	-0.27	0.5	0		

TO	12 12	1	0.35	0.20	0.4	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9412	-1.36	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	11 11	1	-0.35	-0.20	0.4	0			
TO	13 13	1	0.25	0.14	0.3	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9403	-1.37	1 1
LOAD	1		0.15	0.09	0.2				
TO	12 12	1	-0.25	-0.14	0.3	0			
TO	14 14	1	0.10	0.06	0.1	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9390	-1.35	1 1
LOAD	1		0.10	0.06	0.1				
TO	13 13	1	-0.10	-0.06	0.1	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9489	-1.51	1 1
LOAD	1		0.22	0.12	0.2				
TO	8 8	1	-1.39	-0.79	1.6	0			
TO	16 16	1	1.17	0.66	1.3	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9464	-1.50	1 1
LOAD	1		0.15	0.08	0.2				
TO	15 15	1	-1.17	-0.66	1.3	0			
TO	17 17	1	1.02	0.58	1.2	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9448	-1.49	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	16 16	1	-1.02	-0.58	1.2	0			
TO	18 18	1	0.85	0.48	1.0	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9409	-1.48	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	17 17	1	-0.85	-0.48	1.0	0			
TO	19 19	1	0.68	0.38	0.8	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9398	-1.48	1 1
LOAD	1		0.13	0.08	0.2				
TO	18 18	1	-0.68	-0.38	0.8	0			
TO	20 20	1	0.54	0.31	0.6	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9385	-1.48	1 1
LOAD	1		0.08	0.05	0.1				
TO	19 19	1	-0.54	-0.31	0.6	0			
TO	21 21	1	0.46	0.26	0.5	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9375	-1.48	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.1				
TO	20 20	1	-0.46	-0.26	0.5	0			
TO	22 22	1	0.33	0.19	0.4	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9365	-1.46	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	21 21	1	-0.33	-0.19	0.4	0			
TO	23 23	1	0.20	0.11	0.2	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9349	-1.45	1 1
LOAD	1		0.20	0.11	0.2				
TO	22 22	1	-0.20	-0.11	0.2	0			

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 60% DE LA CARGA
MAXIMA CON COMPENSACION SERIE EN EL NODO 4

PowerWorld Simulator Jue Dic 17, 1998 11:20 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
GENERATOR	1	4.14		2.01R	4.6			
TO	2 2	1	4.14	2.01	4.6	0		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9936	-0.11	1 1
LOAD	1	0.54		0.31	0.6			
TO	1 1	1	-4.12	-1.98	4.6	0		
TO	3 3	1	3.57	1.68	3.9	0		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9797	-0.36	1 1
LOAD	1	0.07		0.04	0.1			
TO	2 2	1	-3.53	-1.64	3.9	0		
TO	89 Cap2	1	3.46	1.60	3.8	0		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0166	4.63	1 1
LOAD	1	0.21		0.12	0.2			
TO	5 5	1	3.23	1.85	3.7	0		
TO	89 Cap2	1	-3.44	-1.97	4.0	0		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0081	4.52	1 1
LOAD	1	0.19		0.11	0.2			
TO	4 4	1	-3.21	-1.83	3.7	0		
TO	6 6	1	3.01	1.72	3.5	0		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0040	4.47	1 1
LOAD	1	0.14		0.08	0.2			
TO	5 5	1	-3.00	-1.71	3.5	0		
TO	7 7	1	2.86	1.63	3.3	0		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9971	4.38	1 1
LOAD	1	0.24		0.13	0.3			
TO	6 6	1	-2.84	-1.61	3.3	0		
TO	88 Cap	1	2.61	1.48	3.0	0		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9903	4.34	1 1
LOAD	1	0.30		0.17	0.3			
SWITCHED SHUNT		0.00		0.00	0.0			
TO	9 9	1	0.90	0.51	1.0	0		
TO	15 15	1	1.39	0.79	1.6	0		
TO	88 Cap	1	-2.59	-1.47	3.0	0		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9872	4.35	1 1
LOAD	1	0.30		0.17	0.3			
TO	8 8	1	-0.89	-0.51	1.0	0		
TO	10 10	1	0.60	0.34	0.7	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9833	4.39	1 1
LOAD	1	0.12		0.07	0.1			
TO	9 9	1	-0.60	-0.34	0.7	0		
TO	11 11	1	0.48	0.27	0.5	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9805	4.43	1 1
LOAD	1	0.12		0.07	0.1			

TO	10 10	1	-0.47	-0.27	0.5	0			
TO	12 12	1	0.35	0.20	0.4	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9789	4.45	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	11 11	1	-0.35	-0.20	0.4	0			
TO	13 13	1	0.25	0.14	0.3	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9781	4.44	1 1
LOAD	1		0.15	0.09	0.2				
TO	12 12	1	-0.25	-0.14	0.3	0			
TO	14 14	1	0.10	0.06	0.1	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9769	4.46	1 1
LOAD	1		0.10	0.06	0.1				
TO	13 13	1	-0.10	-0.06	0.1	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9863	4.31	1 1
LOAD	1		0.22	0.12	0.2				
TO	8 8	1	-1.39	-0.79	1.6	0			
TO	16 16	1	1.17	0.66	1.3	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9839	4.32	1 1
LOAD	1		0.15	0.08	0.2				
TO	15 15	1	-1.17	-0.66	1.3	0			
TO	17 17	1	1.02	0.58	1.2	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9824	4.32	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	16 16	1	-1.02	-0.58	1.2	0			
TO	18 18	1	0.85	0.48	1.0	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9786	4.34	1 1
LOAD	1		0.17	0.10	0.2				
TO	17 17	1	-0.85	-0.48	1.0	0			
TO	19 19	1	0.68	0.38	0.8	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9776	4.33	1 1
LOAD	1		0.13	0.08	0.2				
TO	18 18	1	-0.68	-0.38	0.8	0			
TO	20 20	1	0.54	0.31	0.6	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9764	4.33	1 1
LOAD	1		0.08	0.05	0.1				
TO	19 19	1	-0.54	-0.31	0.6	0			
TO	21 21	1	0.46	0.26	0.5	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9754	4.34	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.1				
TO	20 20	1	-0.46	-0.26	0.5	0			
TO	22 22	1	0.33	0.19	0.4	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9744	4.35	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	21 21	1	-0.33	-0.19	0.4	0			
TO	23 23	1	0.20	0.11	0.2	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9729	4.37	1 1
LOAD	1		0.20	0.11	0.2				

TO	22 22	1	-0.20	-0.11	0.2	0			
BUS	88 Cap	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9903	4.34	1 1
TO	7 7	1	-2.59	-1.47	3.0	0			
TO	8 8	1	2.59	1.47	3.0	0			
BUS	89 Cap2	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9707	-0.52	1 1
TO	3 3	1	-3.44	-1.58	3.8	0			
TO	4 4	1	3.44	1.58	3.8	0			

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 40% DE LA CARGA
MAXIMA SIN COMPENSACION

PowerWorld Simulator Jue Nov 19, 1998 11:09 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
GENERATOR	1		2.72	1.57R	3.1			
TO	2 2	1	2.72	1.57	3.1	0		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9955	-0.06	1 1
LOAD	1		0.36	0.21	0.4			
TO	1 1	1	-2.71	-1.56	3.1	0		
TO	3 3	1	2.35	1.35	2.7	0		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9858	-0.18	1 1
LOAD	1		0.04	0.02	0.0			
TO	2 2	1	-2.33	-1.33	2.7	0		
TO	4 4	1	2.29	1.31	2.6	0		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9795	-0.26	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2			
TO	3 3	1	-2.27	-1.30	2.6	0		
TO	5 5	1	2.14	1.22	2.5	0		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9736	-0.33	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.1			
TO	4 4	1	-2.12	-1.21	2.4	0		
TO	6 6	1	2.00	1.14	2.3	0		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9708	-0.37	1 1
LOAD	1		0.10	0.05	0.1			
TO	5 5	1	-1.99	-1.13	2.3	0		
TO	7 7	1	1.90	1.08	2.2	0		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9661	-0.43	1 1
LOAD	1		0.16	0.09	0.2			
TO	6 6	1	-1.89	-1.07	2.2	0		
TO	88 Cap	1	1.73	0.98	2.0	0		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9614	-0.47	1 1
LOAD	1		0.20	0.11	0.2			
SWITCHED SHUNT			0.00	0.00	0.0			
TO	9 9	1	0.60	0.34	0.7	0		
TO	15 15	1	0.93	0.53	1.1	0		
TO	88 Cap	1	-1.72	-0.97	2.0	0		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9593	-0.46	1 1
LOAD	1		0.20	0.11	0.2			
TO	8 8	1	-0.60	-0.34	0.7	0		
TO	10 10	1	0.40	0.22	0.5	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9566	-0.43	1 1
LOAD	1		0.08	0.05	0.1			
TO	9 9	1	-0.40	-0.22	0.5	0		
TO	11 11	1	0.32	0.18	0.4	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9547	-0.40	1 1
LOAD	1		0.08	0.05	0.1			
TO	10 10	1	-0.32	-0.18	0.4	0		

TO	12 12	1	0.23	0.13	0.3	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9536	-0.39	1 1
LOAD	1		0.06	0.04	0.1				
TO	11 11	1	-0.23	-0.13	0.3	0			
TO	13 13	1	0.17	0.10	0.2	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9531	-0.39	1 1
LOAD	1		0.10	0.06	0.1				
TO	12 12	1	-0.17	-0.10	0.2	0			
TO	14 14	1	0.07	0.04	0.1	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9522	-0.38	1 1
LOAD	1		0.07	0.04	0.1				
TO	13 13	1	-0.07	-0.04	0.1	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9587	-0.49	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	8 8	1	-0.92	-0.52	1.1	0			
TO	16 16	1	0.78	0.44	0.9	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9571	-0.48	1 1
LOAD	1		0.10	0.05	0.1				
TO	15 15	1	-0.78	-0.44	0.9	0			
TO	17 17	1	0.68	0.39	0.8	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9560	-0.48	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1				
TO	16 16	1	-0.68	-0.39	0.8	0			
TO	18 18	1	0.57	0.32	0.7	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9534	-0.47	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1				
TO	17 17	1	-0.56	-0.32	0.6	0			
TO	19 19	1	0.45	0.26	0.5	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9527	-0.47	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	18 18	1	-0.45	-0.26	0.5	0			
TO	20 20	1	0.36	0.20	0.4	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9519	-0.47	1 1
LOAD	1		0.05	0.03	0.1				
TO	19 19	1	-0.36	-0.20	0.4	0			
TO	21 21	1	0.31	0.17	0.4	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9512	-0.47	1 1
LOAD	1		0.08	0.05	0.1				
TO	20 20	1	-0.31	-0.17	0.4	0			
TO	22 22	1	0.22	0.13	0.3	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9506	-0.46	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	21 21	1	-0.22	-0.13	0.3	0			
TO	23 23	1	0.13	0.07	0.2	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9495	-0.45	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.2				
TO	22 22	1	-0.13	-0.07	0.2	0			

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 40% DE LA CARGA
MAXIMA CON COMPENSACION SHUNT EN EL NODO 8

PowerWorld Simulator Jue Nov 26, 1998 12:21 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
	GENERATOR 1		2.70	0.41R	2.7			
	TO 2 2	1	2.70	0.41	2.7	0		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9967	-0.13	1 1
	LOAD 1		0.36	0.21	0.4			
	TO 1 1	1	-2.70	-0.41	2.7	0		
	TO 3 3	1	2.33	0.20	2.3	0		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9898	-0.43	1 1
	LOAD 1		0.04	0.02	0.0			
	TO 2 2	1	-2.32	-0.19	2.3	0		
	TO 4 4	1	2.27	0.16	2.3	0		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9854	-0.63	1 1
	LOAD 1		0.14	0.08	0.2			
	TO 3 3	1	-2.26	-0.15	2.3	0		
	TO 5 5	1	2.13	0.08	2.1	0		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9815	-0.82	1 1
	LOAD 1		0.13	0.07	0.1			
	TO 4 4	1	-2.12	-0.07	2.1	0		
	TO 6 6	1	1.99	-0.00	2.0	0		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9797	-0.92	1 1
	LOAD 1		0.10	0.05	0.1			
	TO 5 5	1	-1.99	0.01	2.0	0		
	TO 7 7	1	1.89	-0.06	1.9	0		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9767	-1.09	1 1
	LOAD 1		0.16	0.09	0.2			
	TO 6 6	1	-1.89	0.07	1.9	0		
	TO 88 Cap	1	1.73	-0.16	1.7	0		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9737	-1.25	1 1
	LOAD 1		0.20	0.11	0.2			
	SWITCHED SHUNT		0.00	1.14	1.1			
	TO 9 9	1	0.60	0.34	0.7	0		
	TO 15 15	1	0.93	0.53	1.1	0		
	TO 88 Cap	1	-1.72	0.16	1.7	0		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9716	-1.24	1 1
	LOAD 1		0.20	0.11	0.2			
	TO 8 8	1	-0.60	-0.34	0.7	0		
	TO 10 10	1	0.40	0.22	0.5	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9689	-1.21	1 1
	LOAD 1		0.08	0.05	0.1			
	TO 9 9	1	-0.40	-0.22	0.5	0		
	TO 11 11	1	0.32	0.18	0.4	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9671	-1.18	1 1
	LOAD 1		0.08	0.05	0.1			
	TO 10 10	1	-0.32	-0.18	0.4	0		

TO	12 12	1	0.23	0.13	0.3	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9660	-1.17	1 1
LOAD	1		0.06	0.04	0.1				
TO	11 11	1	-0.23	-0.13	0.3	0			
TO	13 13	1	0.17	0.10	0.2	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9655	-1.17	1 1
LOAD	1		0.10	0.06	0.1				
TO	12 12	1	-0.17	-0.10	0.2	0			
TO	14 14	1	0.07	0.04	0.1	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9646	-1.16	1 1
LOAD	1		0.07	0.04	0.1				
TO	13 13	1	-0.07	-0.04	0.1	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9710	-1.26	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	8 8	1	-0.92	-0.52	1.1	0			
TO	16 16	1	0.78	0.44	0.9	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9694	-1.26	1 1
LOAD	1		0.10	0.05	0.1				
TO	15 15	1	-0.78	-0.44	0.9	0			
TO	17 17	1	0.68	0.39	0.8	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9683	-1.25	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1				
TO	16 16	1	-0.68	-0.39	0.8	0			
TO	18 18	1	0.57	0.32	0.7	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9658	-1.24	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1				
TO	17 17	1	-0.56	-0.32	0.6	0			
TO	19 19	1	0.45	0.26	0.5	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9651	-1.25	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	18 18	1	-0.45	-0.26	0.5	0			
TO	20 20	1	0.36	0.20	0.4	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9643	-1.25	1 1
LOAD	1		0.05	0.03	0.1				
TO	19 19	1	-0.36	-0.20	0.4	0			
TO	21 21	1	0.31	0.17	0.4	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9636	-1.24	1 1
LOAD	1		0.08	0.05	0.1				
TO	20 20	1	-0.31	-0.17	0.4	0			
TO	22 22	1	0.22	0.13	0.3	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9629	-1.24	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	21 21	1	-0.22	-0.13	0.3	0			
TO	23 23	1	0.13	0.07	0.2	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9619	-1.22	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.2				
TO	22 22	1	-0.13	-0.07	0.2	0			

BUS	88 Cap	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9737	-1.24	1 1
TO	7 7	.1	-1.72	0.16	1.7	0			
TO	8 8	1	1.72	-0.16	1.7	0			

FLUJO DE CARGA DEL ALIMENTADOR TUMBACO E-36 A 40% DE LA CARGA
MAXIMA CON COMPENSACION SERIE EN EL NODO 4

PowerWorld Simulator Jue Dic 17, 1998 11:22 Case: C:\Archivos de programa\PowerWorld\Simulator\aliment1.pwb

BUS	1 1	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0000	0.00	1 1
GENERATOR 1			2.72	1.39R	3.1			
TO	2 2	1	2.72	1.39	3.1	0		
BUS	2 2	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9957	-0.07	1 1
LOAD 1			0.36	0.21	0.4			
TO	1 1	1	-2.71	-1.38	3.0	0		
TO	3 3	1	2.34	1.18	2.6	0		
BUS	3 3	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9864	-0.22	1 1
LOAD 1			0.04	0.02	0.0			
TO	2 2	1	-2.33	-1.16	2.6	0		
TO	89 Cap2	1	2.28	1.13	2.5	0		
BUS	4 4	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0117	3.07	1 1
LOAD 1			0.14	0.08	0.2			
TO	5 5	1	2.13	1.22	2.5	0		
TO	89 Cap2	1	-2.27	-1.29	2.6	0		
BUS	5 5	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0060	3.00	1 1
LOAD 1			0.13	0.07	0.1			
TO	4 4	1	-2.12	-1.21	2.4	0		
TO	6 6	1	1.99	1.13	2.3	0		
BUS	6 6	22.8	MW	MVAR	MVA	% 1.0033	2.96	1 1
LOAD 1			0.10	0.05	0.1			
TO	5 5	1	-1.99	-1.13	2.3	0		
TO	7 7	1	1.89	1.08	2.2	0		
BUS	7 7	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9987	2.90	1 1
LOAD 1			0.16	0.09	0.2			
TO	6 6	1	-1.89	-1.07	2.2	0		
TO	88 Cap	1	1.73	0.98	2.0	0		
BUS	8 8	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9942	2.87	1 1
LOAD 1			0.20	0.11	0.2			
SWITCHED SHUNT			0.00	0.00	0.0			
TO	9 9	1	0.60	0.34	0.7	0		
TO	15 15	1	0.93	0.52	1.1	0		
TO	88 Cap	1	-1.72	-0.97	2.0	0		
BUS	9 9	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9922	2.88	1 1
LOAD 1			0.20	0.11	0.2			
TO	8 8	1	-0.60	-0.34	0.7	0		
TO	10 10	1	0.40	0.22	0.5	0		
BUS	10 10	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9896	2.91	1 1
LOAD 1			0.08	0.05	0.1			
TO	9 9	1	-0.40	-0.22	0.5	0		
TO	11 11	1	0.32	0.18	0.4	0		
BUS	11 11	22.8	MW	MVAR	MVA	% 0.9878	2.93	1 1
LOAD 1			0.08	0.05	0.1			

TO	10 10	1	-0.32	-0.18	0.4	0			
TO	12 12	1	0.23	0.13	0.3	0			
BUS	12 12	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9867	2.95	1 1
LOAD	1		0.06	0.04	0.1				
TO	11 11	1	-0.23	-0.13	0.3	0			
TO	13 13	1	0.17	0.10	0.2	0			
BUS	13 13	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9862	2.94	1 1
LOAD	1		0.10	0.06	0.1				
TO	12 12	1	-0.17	-0.10	0.2	0			
TO	14 14	1	0.07	0.04	0.1	0			
BUS	14 14	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9854	2.95	1 1
LOAD	1		0.07	0.04	0.1				
TO	13 13	1	-0.07	-0.04	0.1	0			
BUS	15 15	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9916	2.85	1 1
LOAD	1		0.14	0.08	0.2				
TO	8 8	1	-0.92	-0.52	1.1	0			
TO	16 16	1	0.78	0.44	0.9	0			
BUS	16 16	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9900	2.86	1 1
LOAD	1		0.10	0.05	0.1				
TO	15 15	1	-0.78	-0.44	0.9	0			
TO	17 17	1	0.68	0.39	0.8	0			
BUS	17 17	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9890	2.86	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1				
TO	16 16	1	-0.68	-0.39	0.8	0			
TO	18 18	1	0.57	0.32	0.7	0			
BUS	18 18	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9865	2.87	1 1
LOAD	1		0.11	0.06	0.1				
TO	17 17	1	-0.56	-0.32	0.6	0			
TO	19 19	1	0.45	0.26	0.5	0			
BUS	19 19	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9858	2.87	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	18 18	1	-0.45	-0.26	0.5	0			
TO	20 20	1	0.36	0.20	0.4	0			
BUS	20 20	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9850	2.87	1 1
LOAD	1		0.05	0.03	0.1				
TO	19 19	1	-0.36	-0.20	0.4	0			
TO	21 21	1	0.31	0.17	0.4	0			
BUS	21 21	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9844	2.87	1 1
LOAD	1		0.08	0.05	0.1				
TO	20 20	1	-0.31	-0.17	0.4	0			
TO	22 22	1	0.22	0.13	0.3	0			
BUS	22 22	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9837	2.88	1 1
LOAD	1		0.09	0.05	0.1				
TO	21 21	1	-0.22	-0.13	0.3	0			
TO	23 23	1	0.13	0.07	0.2	0			
BUS	23 23	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9828	2.89	1 1
LOAD	1		0.13	0.07	0.2				

TO	22 22	1	-0.13	-0.07	0.2	0			
BUS	88 Cap	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9942	2.87	1 1
TO	7 7	1	-1.72	-0.97	2.0	0			
TO	8 8	1	1.72	0.97	2.0	0			
BUS	89 Cap2	22.8	MW	MVAR	MVA	%	0.9804	-0.31	1 1
TO	3 3	1	-2.27	-1.12	2.5	0			
TO	4 4	1	2.27	1.12	2.5	0			

BIBLIOGRAFIA

- 1.- MINICAP, Capacitores Serie Para Redes de Distribución, ABB Power Systems, Folleto.
- 2.- IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors, 1994 Edition.
- 3.- IEEE Standard for Series Capacitors in Power Systems, 1994 Edition.
- 4.- Series capacitors for distribution networks, ASEA, Folleto.
- 5.- MINICAP, SERIES COMPENSATION OF DISTRIBUTION LINES, ABB POWER SYSTEMS, Folleto.
- 6.- Cost aspects of Power Distribution, ASEA DISTRIBUTION, Folleto.
- 7.- DISTRIBUTION SYSTEMS, Westinghouse Electric Corporation, 1965 Edition.
- 8.- TESIS, El capacitor y su aplicación en serie en los sistemas de transporte y consumo de energía, Alejandro Ribadeneira.
- 9.- Fabio Machado Resende, Capacitores Série.
- 10.- Navajo Project Report on Subsynchronous Resonance: Analysis and Solutions - Farmer, Schwalb e Katz - IEEE

julio/agosto 1997.

- 11.- Series Capacitor Installation in the B.C. Hydro 500 KV System - Batho, Hardy, Tolmunen - IEEE, noviembre/diciembre 1977.
- 12.- Ing. Raul Ruiz, BANCOS DE CAPACITORES PARA PRIMARIOS DE DISTRIBUCION, Empresa Eléctrica Quito, Folleto.
- 13.- Capacitors - Block Banks, McGraw-Edison Company, Folleto R230-30-1, Noviembre 1977.
- 14.- Voltage Regulating Apparatus- Four-Step Auto Booster Line Regulators, McGraw-Edison Company, Catálogo 225-20, agosto 1975.
- 15.- Uso de reguladores de voltaje por pasos y capacitores en circuitos de distribución, J. H. Harlow.
- 16.- TESIS, Análisis de ferresonancia en sistemas de distribución, Edison Morales.
- 17.- TESIS, Análisis técnico económico del uso de capacitores y reguladores de tensión en alimentadores de distribución, Bravo Tito.