

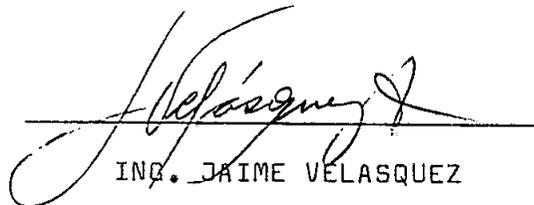
TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTROTECNIA DE LA
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

"REGULACION DE VOLTAJE EN LA RED DE DISTRIBUCION DE LA
CIUDAD DE AMBATO"

MOISES LOZADA P.

Quito, Enero de 1974

CERTIFICO QUE EL SIGUIENTE TRABAJO
DE TESIS HA SIDO REALIZADO EN SU -
TOTALIDAD POR EL SR. MOISES LOZADA P.



ING. JAIME VELASQUEZ

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA
A LA MEMORIA DE MIS PADRES

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	PAGINA
CAPITULO I	
IMPORTANCIA DE LA REGULACION DE VOLTAJE EN DISTRIBUCION	1
1.1.- Aspecto Técnico	1
1.2.- Aspecto Económico	12
CAPITULO II	
RED DE DISTRIBUCION DE LA CIUDAD DE AMBATO	17
2.1.- Introducción	17
2.1.1.- Breve Descripción del sistema de distribución de la ciudad de Ambato	17
2.2.- Tipo de distribución.- Aspectos más importantes	22
2.3.- Estado Físico de la red	24
2.3.1.- Capacidad de la red	24
2.3.2.- Longitud de circuitos	34
2.3.3.- Transformadores.- Capacidad y Ubicación	34
2.3.4.- Transformadores.- Datos de carga	34
2.4.1.- Tipo de carga	35
2.4.2.- Influencia de la carga en la fluctuación del voltaje	36
CAPITULO III	
MEJORAS DE LA REGULACION DE VOLTAJE Y RECOMENDACIONES	40
3.1.- Tipos de voltajes y recomendaciones para su uniformación	40

	PAGINA
3.2.- Alternativas principales para la mejora de la regulación de voltaje	40
3.2.1.- Cambio de conductores	47
3.2.2.- Reubicación de transformadores	50
3.2.3.- Cambio de sistema de distribución	52
3.2.4.- Zonificación de cargas	61
3.2.5.- Reubicación y aumento de subestaciones	64
3.2.6.- Empleo de condensadores	67
3.2.7.- Otros	72
3.3.- Costos de las ejecuciones de las mejoras con alternativas	78
3.4.- Análisis de los beneficios económicos	90

INDICE DE FIGURAS

Tabla 1-1	5-A
CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION	8-A
CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION	8-B
CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS INCANDESCENTES	9-A
CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS FLUORESCENTES	10-A
CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS DE MERCURIO	10-B
CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS DE MERCURIO	10-C
EFFECTOS DE LA VARIACION DE VOLTAJE EN LAS CARGAS DE RESISTENCIA	11-A
EFFECTOS DE LA VARIACION DE VOLTAJE EN LAS CARGAS DE RESISTENCIA	11-B
EFFECTO DEL FACTOR DE UTILIZACION EN EL COSTO POR KWh.	13-A
INCREMENTO DE LOS INGRESOS COMO FUNCION DE LA MEJORA DE VOLTAJE	14-A
CURVA DE LA CARGA PARA UN DIA TIPICO	18-A
CIRCUITOS DE DISTRIBUCION PRIMARIA	34-A hasta 34-I
RELACION DE LA FLUCTUACION DEL VOLTAJE CON LA FRECUENCIA QUE OCURRE	34-A
RELACION DE LA CAIDA DE VOLTAJE DEL EXISTENTE AL NUEVO	37-A
SISTEMA RADIAL CON EXPRESO Y SISTEMA RADIAL EN ANILLO	53-A

SISTEMA PRIMARIO MALLADO Y SISTEMA BANQUEADO	56-A
SISTEMA MALLADO SECUNDARIO	60-A
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACION N° 1	65-A
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACION AMBATO	65-A
PUNTO DE EQUILIBRIO DE INGRESOS Y COSTOS	81-A

INTRODUCCION

Uno de los problemas de mucha trascendencia en la operación de un sistema de distribución de energía eléctrica es la regulación de voltaje.

Sin embargo, muchas Empresas de distribución de energía eléctrica lo han relegado a un segundo plano.

El presente trabajo tiende a enforocar los diferentes aspectos de este problema.

Para cumplir este propósito hemos tomado un sistema de distribución, en el cual, como en muchos otros existentes en el país se presenta este problema en forma bastante evidente.

La solución inmediata plena y satisfactoria del problema se hace difícil por la carancia de los datos necesarios.

En consecuencia el problema será abordado en el presente trabajo tal como se presenta en la realidad en el sistema objeto de este estudio.

CAPITULO I

IMPORTANCIA DE LA REGULACION DE VOLTAJE EN DISTRIBUCION

Para diseñar un sistema de distribución de energía eléctrica o para realizar la evaluación del mismo, debemos tomar en consideración una gran cantidad de parámetros a fin de que el diseño sea adecuado a las necesidades de confiabilidad y economía, y, su evaluación nos indique la bondad del sistema.

Los factores que son considerados como más importantes en un sistema de distribución son: tensión, control o regulación de voltaje, protección y economía.

En el presente capítulo se llevará a efecto un análisis de la importancia tanto técnica como económica de la regulación del voltaje.

1.1.- IMPORTANCIA TECNICA

El objeto primordial del control de la tensión de un sistema de distribución es suministrar al usuario un voltaje que satisfaga sus necesidades de acuerdo con las limitaciones que el diseño impone al funcionamiento de los aparatos consumidores.

Todo artefacto eléctrico absorbe una cantidad de energía desde una determinada fuente de acuerdo a un valor del voltaje llamado voltaje de placa.

Debido a limitaciones que se presentan al diseñar un sistema de distribución, esencialmente de carácter económico, es imposible entregar a cada usuario un voltaje constante, cuyo valor, corresponde exactamente al voltaje de placa que requieren sus artefactos.

Desde la subestación hasta llegar al medidor del usuario, la energía pasa a través de los siguientes elementos: el alimentador de alta, el transformador de distribución, la línea de baja tensión y la acometida. En cada uno de estos elementos del circuito se produce una caída de tensión a la que hay que añadir la que se produce en el alambrado interior hasta llegar al aparato consumidor. La caída de voltaje es proporcional a la longitud de circuito, a la sección de los conductores, a la magnitud de la corriente, y, al ángulo de fase que forman la corriente con el voltaje.

La caída de voltaje da lugar a que, el usuario que está eléctricamente más próximo a la subestación reciba una tensión cuyo valor sea mayor que aquél que está más alejado. Por tanto los usuarios de un sistema recibirán voltajes cuyos valores son diferentes.

Los diferentes aparatos accionados por energía eléctrica de uso común por los usuarios del sistema, tales como: planchas, motores, radios receptorres, televisores, cosinas, refrigeradoras, etc., son prácticamente de similares características y diseñados para funcionar a un mismo valor de tensión. Por lo tanto, sería ideal que todos ellos puedan disponer de un mismo valor de voltaje.

El voltaje de que dispone cada usuario está sujeto a continuas variaciones debido a las diferentes condiciones bajo las cuales está

funcionando el sistema. Cuando está funcionando bajo una carga pico, la caída de tensión será máxima, y, mínima cuando la carga es ligera. En otras condiciones de carga su valor será intermedio. En consecuencia, la variación de voltaje existe tanto por la ubicación física como por las condiciones de operación del sistema.

1.1.1.- VARIACION DEL VOLTAJE

La variación de voltaje que recibe un usuario se encuentra entre estos dos límites: un máximo dado por la condiciones de carga ligera y, un mínimo cuando tiene carga pico. Por carga ligera se entiende - aquella que sea un tercio o menor de la carga pico que soporta el sistema en el estado actual.

A la diferencia entre los voltajes máximos y mínimos se conoce con el nombre de: "Amplitud de variación de voltaje".

Debe aclararse que esta variación de voltaje puede ocurrir hacia arriba o hacia abajo del valor nominal del sistema. Ocurre con frecuencia que el usuario más próximo a la subestación tenga una variación sobre el valor nominal, y, el más alejado tenga una variación bajo el valor nominal.

Esta variación u oscilación del voltaje es inevitable y común - a todo sistema de distribución de energía eléctrica, diferenciándose la calidad de servicio que presta un sistema, con relación a otros, - por el valor de dicha variación. Un buen servicios se obtiene cuando esta variación es pequeña y, es deficiente cuando la variación es amplia.

Se deben considerar dos factores que son totalmente opuestos: el costo y la calidad de servicio. El sistema es más económico cuanto mayor sea la carga servida, pero en ese caso la calidad de servicio tiende a ser deficiente, en cambio se mejora la calidad cuando la carga es menor, en cuyo caso incide en el caso.

En otros países existen reglamentos de carácter nacional que fijan los rangos de variación del voltaje de los sistemas de distribución. En nuestro país, INECEL debería establecer un reglamento nacional que señale los rangos permisibles de variación de voltaje, para de esta manera poder catalogar la calidad de servicio que presta un sistema.

Se ha clasificado la variación de voltaje en tres zonas bien definidas: favorable, tolerable, y, extrema o desfavorable. Esta clasificación es válida para cualquier nivel de voltaje de un sistema. La zona favorable comprende una variación de voltaje dentro de la cual los aparatos del usuario desarrollan sus funciones plena y satisfactoriamente. Es deseable que todo sistema de distribución opere normalmente dentro de esta zona. En caso de que la variación sea más amplia que los límites establecidos para esta zona, debe proveerse al sistema de los medios necesarios (reguladores) para llevarlo a operar dentro de ella.

La zona tolerable abarca una variación de un dos a tres por ciento sobre y bajo la zona favorable. Se acepta que una operación normal del sistema llegue a esta zona por corto tiempo y que las áreas servidas con este voltaje sean las más pequeñas posibles. Los artefactos -

usados deben ser capaces de funcionar en esta zona sin mengua apreciable de sus características.

La zona extrema se extiende en un dos a tres por ciento sobre y bajo la zona tolerable. En esta zona, el sistema solo debe operar en casos anormales, tales como; situaciones de emergencia por fallas que ocurren dentro del sistema, en períodos de ampliaciones, nuevas construcciones, etc..

En ningún caso debe aceptarse que, en una operación normal, el voltaje llegue a la zona extrema. En caso de que esto ocurra debe procederse inmediatamente a una regulación de voltaje,

No todos los artefactos de los usuarios son capaces de trabajar dentro de ésta zona, y, algunos de ellos pueden hacerlo con detrimento de sus funciones específicas.

A esta clasificación debería agregarse una zona "prohibida", la que está comprendida sobre y bajo la zona desfavorable. Bajo ninguna circunstancia un sistema de distribución debe funcionar en esta zona debido al riesgo de un deterioro completo o parcial de los artefactos conectados a él.

Las zonas de variación de voltaje se pueden ver en la tabla 1.1 en la cual se observa la variación de voltaje de acuerdo a las zonas respectivas, y, en las diferentes partes del sistema.

1.1.2.- EFECTOS DE LA VARIACION DE VOLTAJE

Como se dijo anteriormente, cada aparato puede ser accionado dentro de una variación de voltaje predeterminada sin mengua de sus carac

lugar	voltaje base	voltaje nominal del sistema	ZONA DE VOLTAJE					
			favorable		tolerable		extrema	
			máxima	mínima	máxima	mínima	máxima	mínima
en el equipo usuario	120	120	125	110	127	107	131	103
	120	120/240	125/250	110/220	127/254	107/214	131/260	103/209
	120	120/208	125/217	114/197	127/220	107/214	131/225	107/190
	120	240	240	210	250	200	260	190
	120	480	480	420	500	400	520	380
en el lado de alta del traf.	120	2.400	2.500	2.300	2.600	2.200	2.700	2.100
	120	2.400/4.160	2.500/4.330	2.300/4.000	2.600/4.500	2.200/3.810	2.700/4.600	2.100/3.750
	120	4.300	5.000	4.600	5.200	4.400	5.300	4.300
	120	7.200	7.500	6.900	7.800	6.600	8.000	6.400
	120	13.200	13.800	13.600	14.300	12.100	14.600	11.600
	120	7.620/13.200	8.250/14.300	7.270/12.600	8.320/14.500	7.000/12.100	8.500/14.900	6.600/11.600
en las subestaciones	120	2.400	2.600	2.300	2.750	2.200	2.850	2.100
	120	2.400/	2.600/4.500	2.300/4.000	2.750/4.760	2.200/3.810	2.850/5.000	2.100/3.650
	120	4.800	5.200	4.600	5.500	4.400	5.800	4.200
	120	7.200	7.800	6.900	8.250	6.600	8.500	6.300
	120	13.200	14.300	12.600	14.500	12.100	14.800	11.600
	120	7.620/13.200	8.750/14.300	7.270/12.600	8.320/14.500	7.000/12.100	8.600/14.800	6.600/11.600

tabla Nº 1-1

terísticas de funcionamiento. El valor de esta variación depende esencialmente del aparato, de su tamaño, de su finalidad, de su uso, de su demanda comercial, etc.

Si el voltaje de que dispone el usuario para sus artefactos está fuera de la variación permitida para éstos, tanto sus características de operación como la vida media del aparato sufre una alteración. La magnitud de esta alteración depende del valor con que se aparte el voltaje aplicado con respecto al valor permitido para estos aparatos.

Con el objeto de tener una idea más clara y una mejor comprensión de la necesidad de una buena regulación de voltaje en un sistema de distribución se indica luego los efectos principales de la variación de voltaje en los aparatos eléctricos más comunmente utilizados ya sea en la industria, en el comercio, y, en uso doméstico.

1.1.2.1.- EFECTOS EN LOS MOTORES DE INDUCCION

Los motores de inducción en general tienen un amplio uso en la industria, en el comercio, y, en servicios públicos y domésticos. Por esta razón es importante conocer el efecto que produce una mala regulación de voltaje en ellos.

Hay que considerar que en los motores de inducción: el par de arranque, el par crítico y, el par de operación normal del motor son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado. Esto significa que el efecto de la variación de voltaje en los motores de inducción es muy notable como podemos observar al realizar el siguiente análisis:

con una caída de voltaje del 10% se produce una reducción del 19% - en los pares de arranque, crítico y de operación bajo carga normal; con una caída de voltaje del 20% del valor nominal los pares del motor se reducen en un 36%.

La reducción del par motor es muy perjudicial en el momento del arranque, especialmente cuando está accionando equipos de gran inercia debido al largo tiempo de aceleración requerida o en algunos casos - por la imposibilidad de arrancar.

Si se reduce la tensión cuando el motor esta operando su velocidad disminuye y existe un incremento notable de la corriente absorbida por el motor. El aumento de la corriente produce un sobre calentamiento en el motor que perjudica la vida de los materiales aislantes y que en definitiva incide en la vida del motor.

En forma similar, un aumento del voltaje causa un incremento del par motor el mismo, que al alcanzar valores apreciables puede ocasionar un daño irreparable en los aparatos accionados o en los elementos de accionamiento.

Cuando la corriente del motor al arrancar se incrementa se agrava el parpadeo de las diferentes lámparas conectadas al sistema.

Al aumentar el voltaje aplicado, el factor de potencia del motor disminuye perjudicando al sistema y al mismo usuario especialmente cuando la carga referente a motores es grande.

Existen cláusulas en el cobro de la energía eléctrica que castigan su utilización con un bajo factor de potencia.

El efecto de la variación de voltaje para motores de inducción

puede observarse en la figuras 1-1 (a) y (b).

De lo expuesto se puede sacar la siguiente conclusión: "Tanto un incremento como un decremento del voltaje con respecto al valor nominal que requiere para su funcionamiento un motor de inducción perjudica su buen desempeño, su vida media, el factor de potencia, los elementos de accionamiento, y, los aparatos accionados".

En los motores sincrónicos ya sea utilizados en la industria, - en aparatos que necesitan velocidades constantes ■, como condensadores rotatorios, el efecto negativo que produce una variación de voltaje es similar a la ocurrida en los motores de inducción, con la única diferencia que el par motor depende de la primera potencia del voltaje.

1.1.2.2.- EFECTO EN LA ILUMINACION

La variación de voltaje produce un efecto notable en la iluminación.

En las lámparas incandescentes tanto su rendimiento lumínico, o sea, los lúmenes entregados por vatio, como su vida misma son seriamente afectados por la variaciones de voltaje.

Como ejemplo se puede citar lo siguiente: una disminución de voltaje del 10% altera los lúmenes entregados por la lámpara a un valor del 68% y su rendimiento lumínico a un valor del 80%, mientras que la vida de la lámpara se incrementa a un valor del 200%. El incremento en la vida de la lámpara en realidad no representa una ventaja apreciable, pues, la función de ese artefacto es iluminar y no permanecer -

CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES
DE INDUCCION ESTANDAR EN FUNCION
DEL VOLTAJE

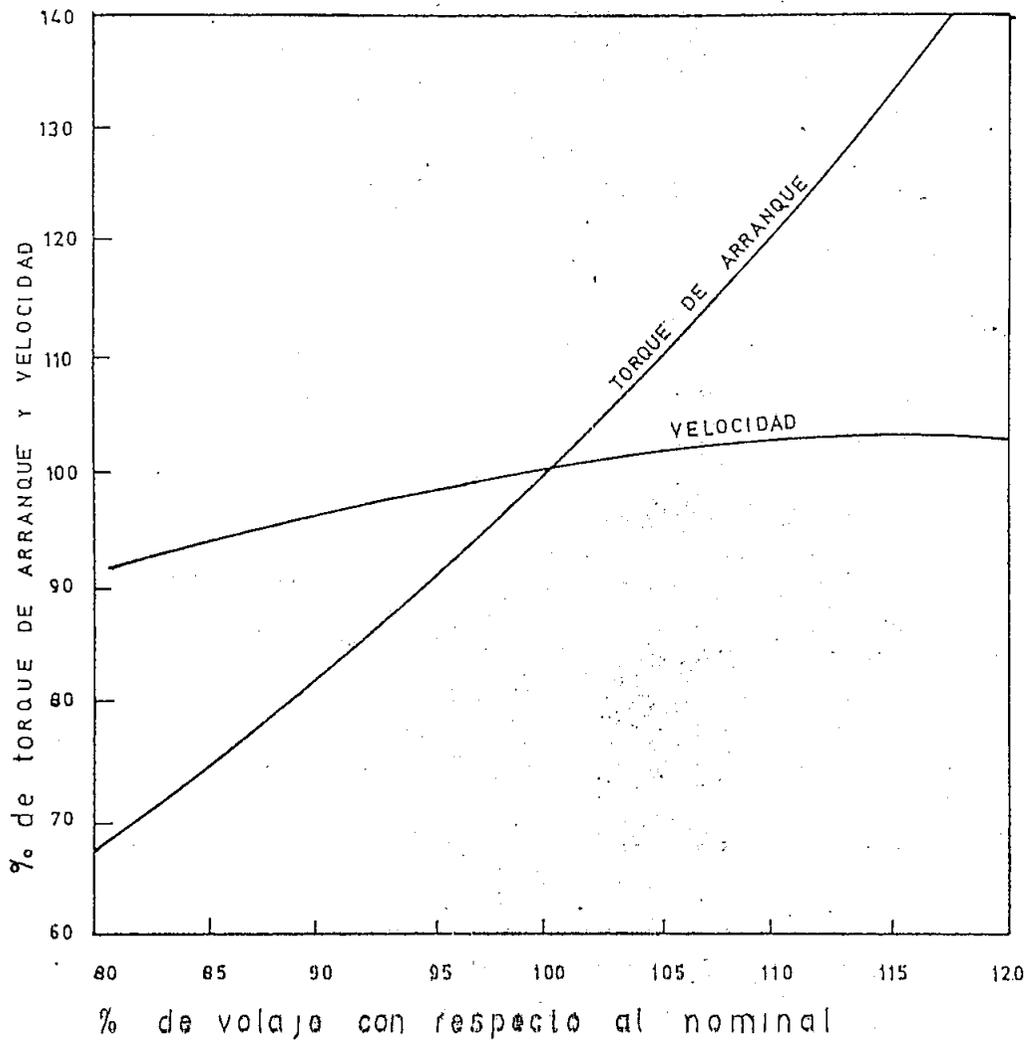


FIGURA 1-1 a

CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE
INDUCCION ESTANDAR EN FUNCION DEL
VOLTAJE

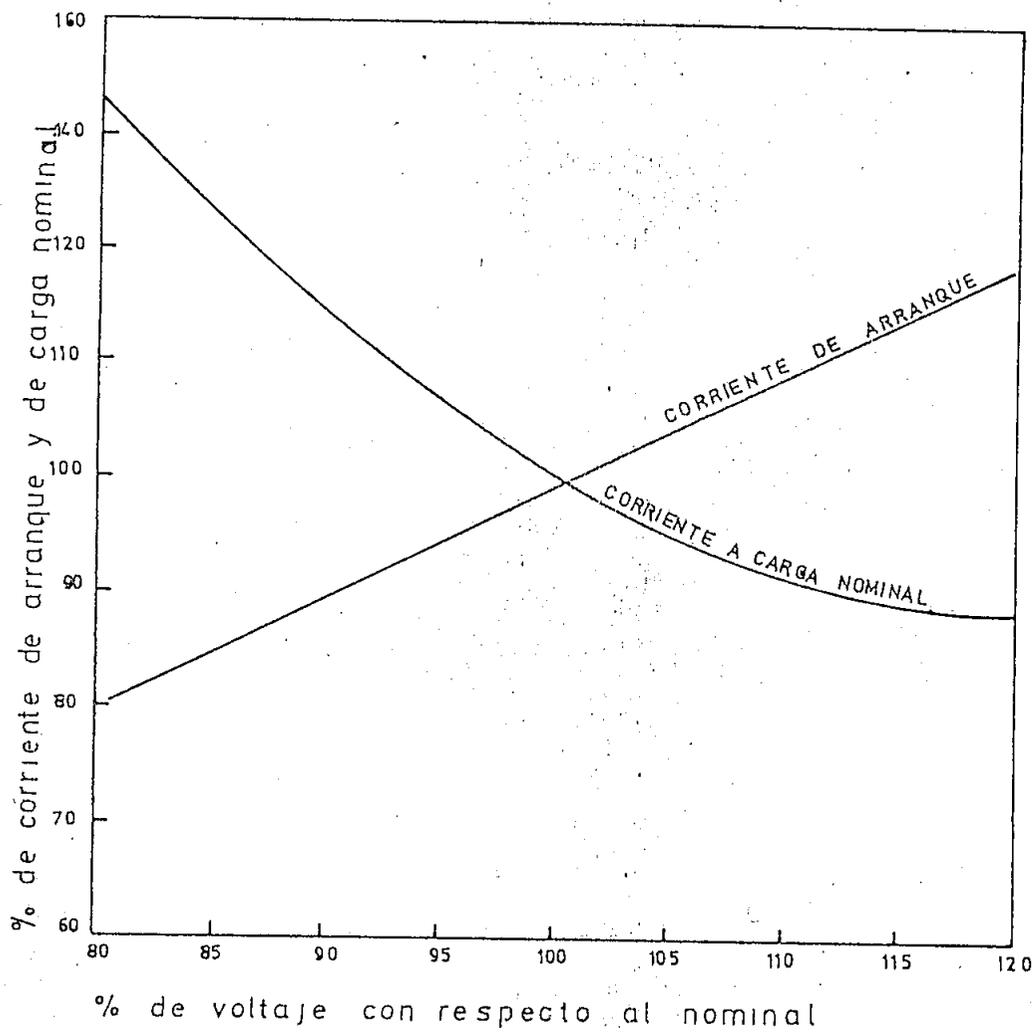


FIGURA 1-1 b

simplemente como adorno.

Por otro lado, un aumento de voltaje del 10% produce un incremento de su rendimiento lumínico a un valor del 150%, pero su vida se re-duce al 25%, o sea, a la cuarta parte de su vida media lo cual es per-judicial para la economía del usuario.

Lo expuesto en estos párrafos se puede observar al analizar la figura 1-2 (a).

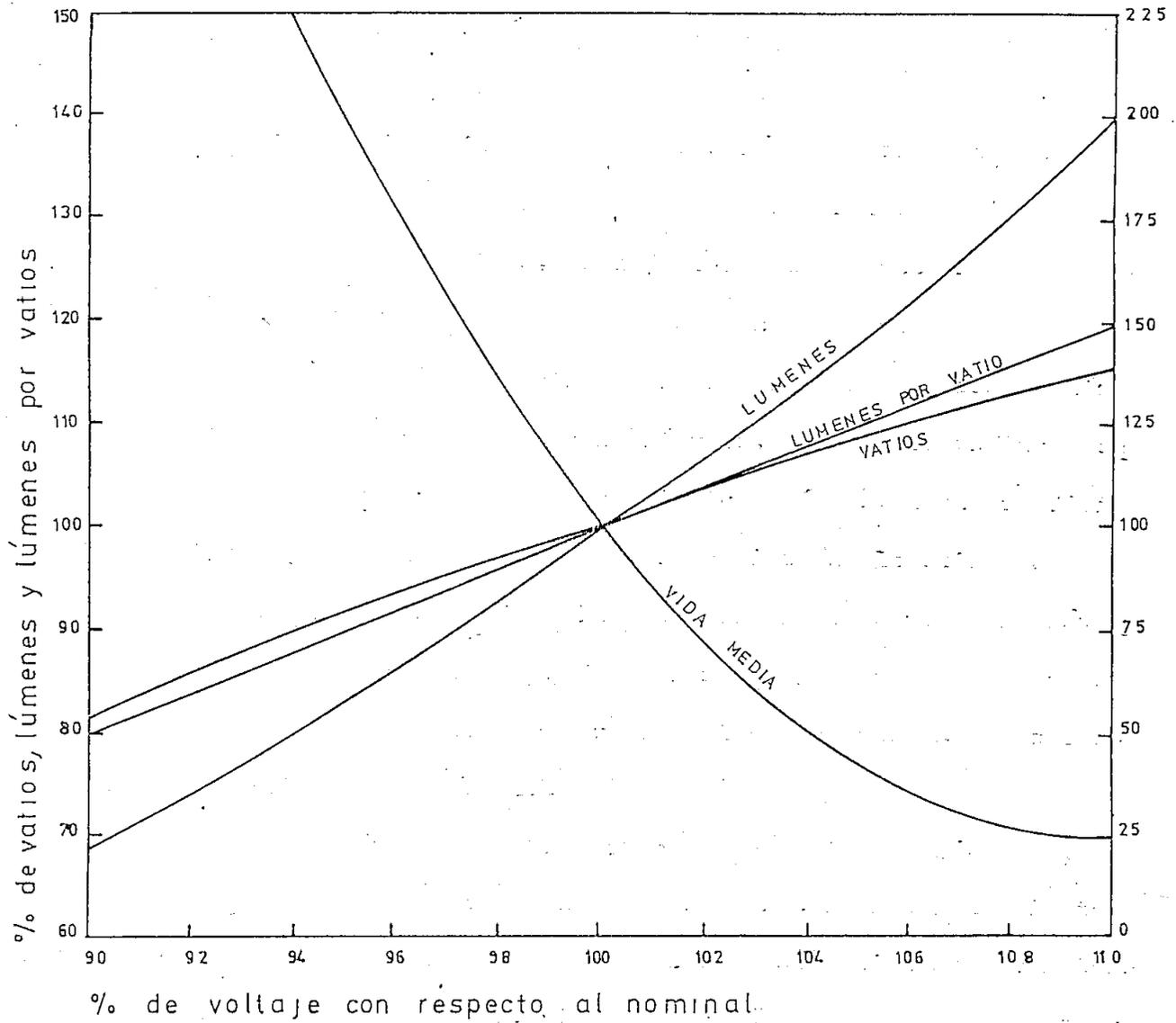
Cuando la iluminación se realiza con lámparas fluorescentes es deseable que el voltaje se mantenga dentro del valor correcto a fin de que la operación sea apropiada. Un bajo voltaje produce una disminu-ción de la temperatura de los electrodos y en ese caso se reduce la eficiencia de la emisión electrónica lo que origina una disminución de la cantidad de luz emitida por la lámpara. En cambio, un incremento del voltaje da lugar a una mayor emisión lumínica, pero su eficien-cia disminuye debido al incremento de la radiación ultravioleta.

Un bajo voltaje crea dificultades para el arranque de la lámpa-ra. Si el arranque se realiza en forma lenta se produce una pérdida de la capa que emite los electrones lo cual se traduce en un acorta-miento de la vida de la lámpara.

Con una tensión de valor superior al promedio especificado, la corriente es mayor que el valor normal ocasionando un calentamiento excesivo de la reactancia y en ocasiones un ennegrecimiento prematuro de los extremos de la lámpara, no siendo raro los casos en que ocurre la destrucción total.

En forma precisa no se ha podido establecer el efecto que produ-

CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS EN
 FUNCION DEL VOLTAJE



[a] incandescentes

FIGURA 1-2 a

ce una variación de voltaje sobre la vida de las lamparas fluorescentes, ya que intervienen también otros factores, tales como, el número de arranques, de todas maneras, se ha observado que tanto el sobre como el bajo voltaje afecta a la vida de estas lamparas.

Lo expuesto anteriormente se puede observar en la figura 1-2(b).

En las lámparas de mercurio, las variaciones de tensión deben ocurrir dentro de límites muy estrechos a fin de que el arranque y la vida de la lámpara no sean afectados. Disminuciones bruscas de tensión mayores al 15% de su valor nominal extingue el arco y el tiempo que debe esperarse para un nuevo arranque es bastante largo. En estas lamparas una variación de voltaje afecta también a su duración.

En las figuras 1-3 (a) y (b) se representan las características de una lámpara de mercurio en las que se señala el efecto que producen las diversas tensiones sobre la cantidad de luz emitida, potencia, corriente y voltaje dentro de la lámpara. También se señala la variación de la corriente y del voltaje en el momento del arranque.

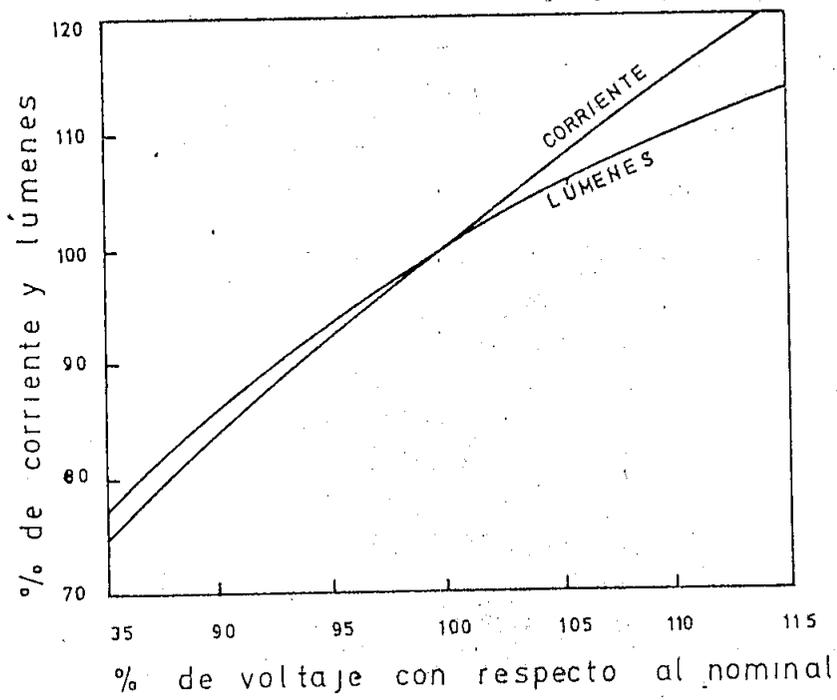
1.1.2.3.- EFECTO EN LOS EQUIPOS DE CALEFACCION ELECTRICA

La calefacción eléctrica puede realizarse con equipos que contengan resistencias, inductancias, o dieléctricos.

La calefacción eléctrica con artefactos puramente resistivos es de amplio uso en el servicio doméstico, comercial e industrial.

En la industria la calefacción eléctrica con elementos puramente resistivos se usa para calentamiento de materiales, cambios de estado de los mismos y para provocar reacciones químicas.

CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS EN FUNCION DEL VOLTAJE



(b) fluorescentes

FIGURA 1:2 b

CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS DE
MERCURIO COMO FUNCION DEL VOLTAJE
APLICADO

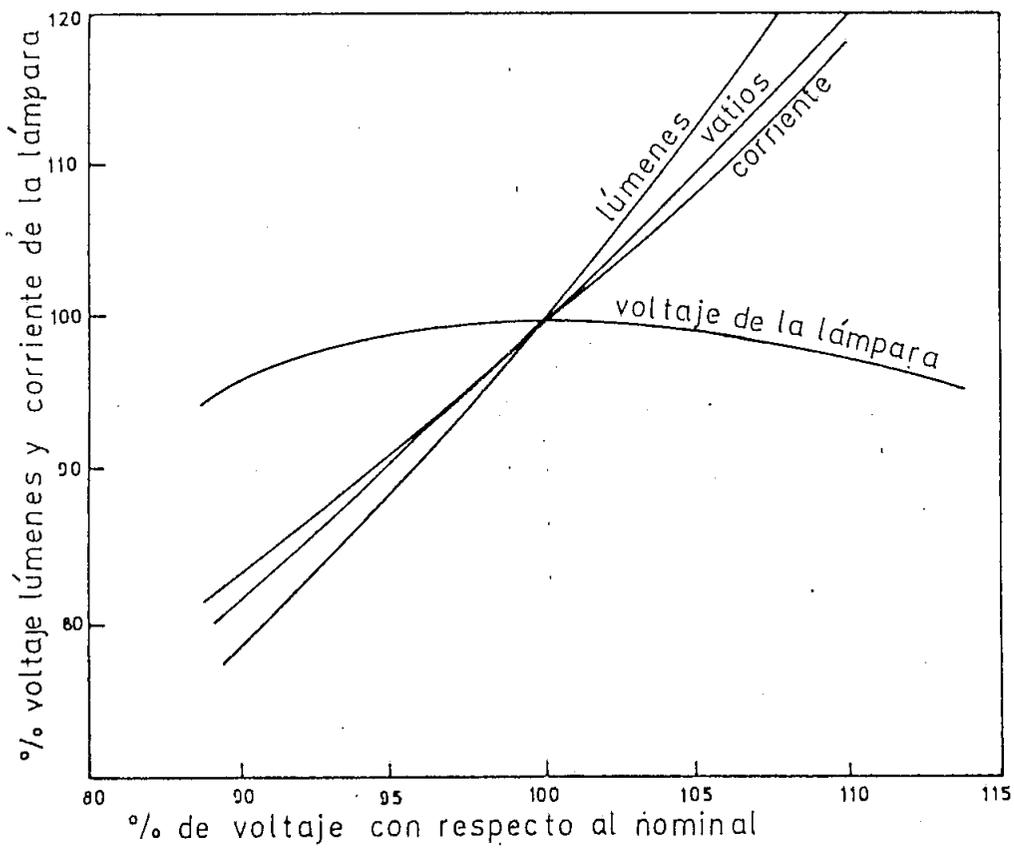


figura 1-3 (a)

10 C

CARACTERISTICAS DE LAMPARAS DE MERCURIO COMO FUNCION DEL VOLTAJE APLICADO

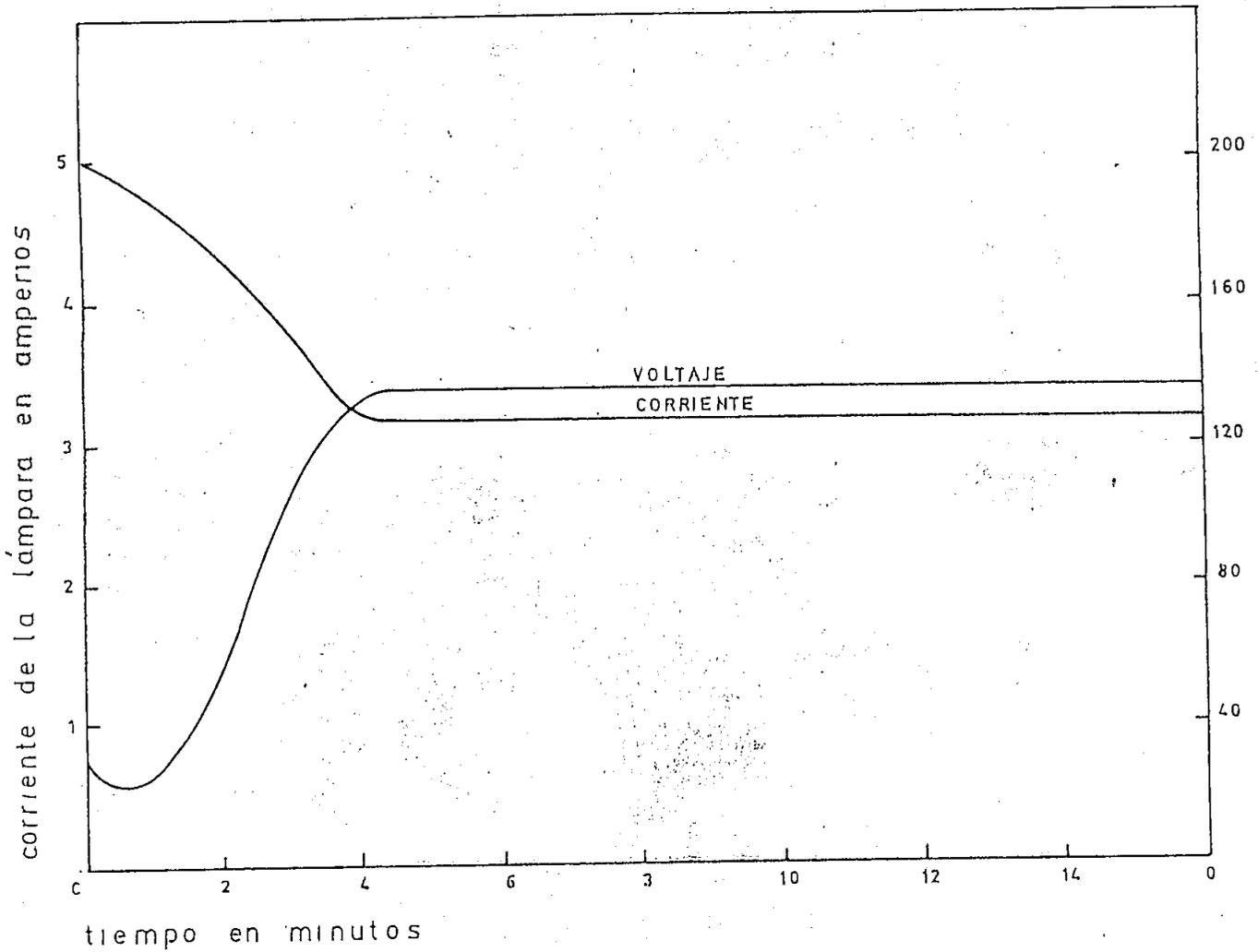


FIGURA 1-3 b

Este efecto se aprovecha también en herramientas, calefactores de agua, cocinas, esterilizadores, alambiques, hornos, hornillos, es tufas, etc..

En todo aparato de este tipo, la energía desarrollada es proporcional al cuadrado del voltaje aplicado a cada uno.

El tiempo requerido para alcanzar una temperatura predeterminada es inversamente proporcional al voltaje aplicado. Para uso doméstico, el tiempo necesario para provocar un calentamiento determinado no tiene mucha importancia. En cambio, en la industria este tiempo es de enorme importancia, pues, constituye uno de los factores que determinan la calidad del lote de productos que se obtiene en una etapa da da.

De lo expuesto se puede concluir que la variación de voltaje - produce molestias para el buen funcionamiento de los aparatos destinados a estos menesteres.

Este efecto se hace evidente al considerar la vida media de estos aparatos.

En las figuras 1-4 (a) y (b) se indica los efectos de la variación de voltaje en el calentamiento y la potencia de estos aparatos.

1.1.2.4.- EFECTO EN LOS EQUIPOS ELECTRONICOS

Se ha observado que estadísticamente una variación de voltaje afecta en una forma muy notable tanto a la vida media como al buen funcionamiento de todo aparato de este tipo.

La capacidad de conducción de corriente, de emisión electrónica

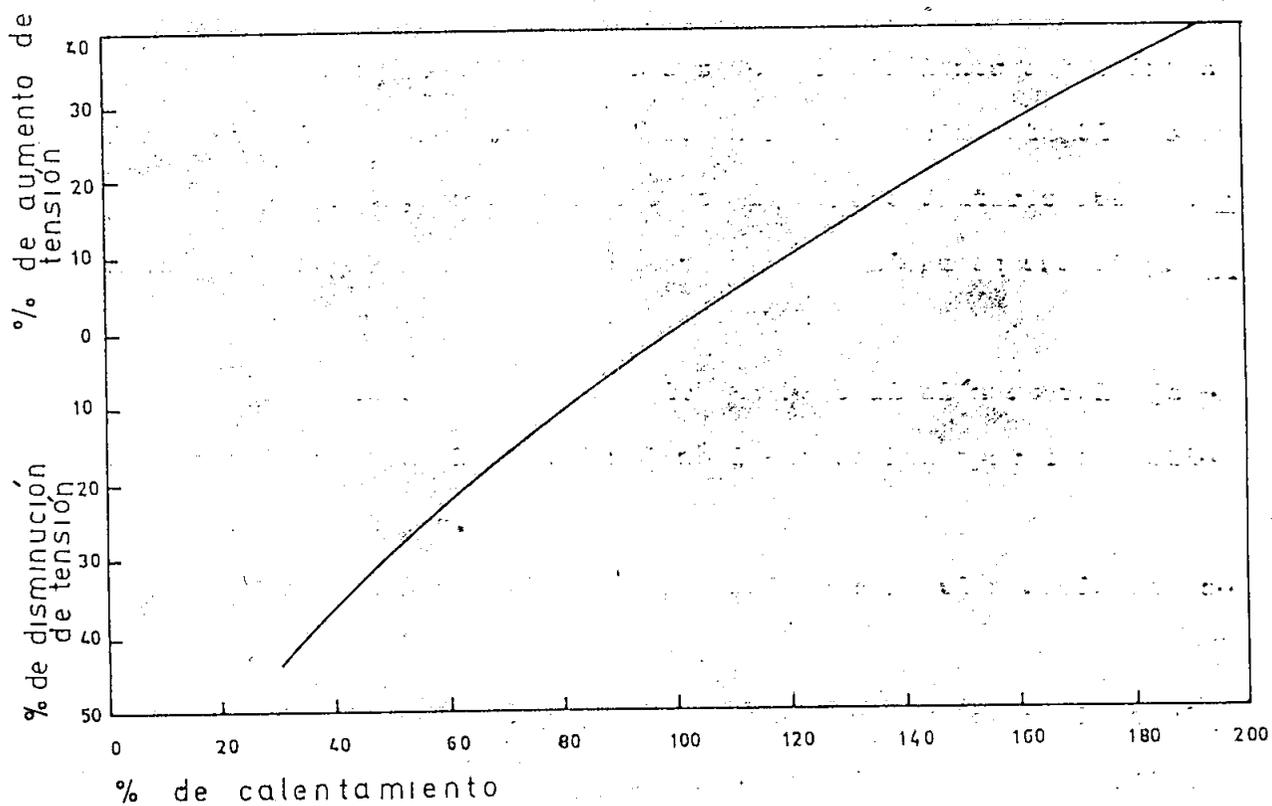
EFECTOS DE LA VARIACION DE VOLTAJE
EN LAS CARGAS DE RESISTENCIA

FIGURA 1-4 a

EFECTO DE LA VARIACION DE VOLTAJE EN LAS CARGAS DE RESISTENCIA

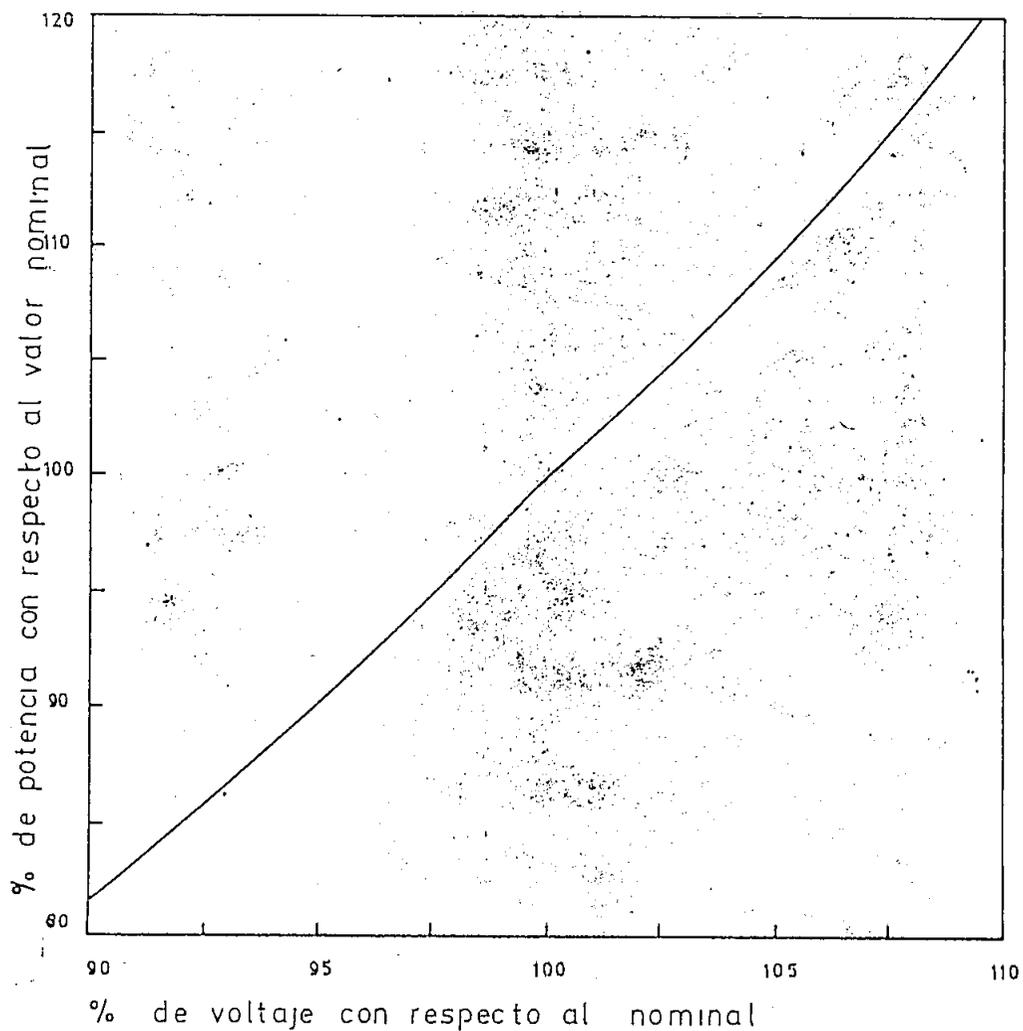


FIGURA 1-4 b

ca, y, la duración de los tubos electrónicos son seriamente afectados por la variaciones de voltaje, especialmente, cuando éstas son amplias. Su gravedad depende de la finalidad y de las características de cada artefacto. Dada la gran variedad de elementos electrónicos existentes no se ha podido establecer en forma específica como les afecta.

Sin embargo, se ha observado que en aparatos tales como radios y televisores que son de amplio uso por los usuarios de la energía eléctrica, cuando las variaciones de voltaje son mayores a un 10% afectan al volumen, brillo, imagen, y, vida media de estos artefactos.

CONCLUSION

De lo que se acaba de exponer se puede concluir que: "Para una buena operación de un sistema de distribución es conveniente que el voltaje varíe solamente dentro de los límites permisibles".

Para cumplir este objetivo se emplean los equipos de regulación de voltaje situados estratégicamente dentro del sistema y con una buena coordinación entre ellos, a fin de que, individualmente y en conjunto cumplan con sus funciones.

1.2.- IMPORTANCIA ECONOMICA

Si la regulación de voltaje tiene su importancia desde el punto de vista técnico no la tiene menos desde el punto de vista económico.

En un sistema de distribución eléctrica aéreo, por razones técnicas, el cálculo del calibre de conductores se funda en la caída de voltaje, es decir, en la regulación de voltaje.

La caída de voltaje permisible en el sistema es un factor determinante de la calidad del voltaje a entregarse y del costo. De esta manera se debe considerar que la regulación de voltaje participa de los gastos fijos del sistema.

La caída de voltaje en el sistema es un factor de mucha importancia para el diseño o para la evaluación de la distribución de la energía eléctrica. Por tanto es muy recomendable tener mucho cuidado en la selección de este factor.

Los usuarios exigen, con mucha razón, continuidad de servicio y voltaje de valor uniforme.

La técnica de regulación de voltaje tiene por objeto satisfacer la exigencias del usuario a un costo económico. Mientras mas fina sea la regulación mayor será el costo de la energía entregada, en caso contrario, a una regulación deficiente le corresponde también una deficiente operación económica del sistema.

Los gastos fijos anuales de la empresa son independientes de la cantidad de energía vendida, pero mientras, mayor sea el número de KWh entre los que se reparte este gasto menor será su incidencia en el costo de cada KWh, o sea, menor será el costo de cada KWh mientras mayor sea el factor de utilización.

El efecto del factor de utilización en el costo de la energía vendida puede verse en la figura 1-5 (a).

Estadísticamente se ha comprobado que, una mejora de la regulación de voltaje, o sea, una buena calidad en el voltaje entregado al usuario por una parte aumenta la energía consumida para el mismo valor

COSTO DE LA ENERGIA PARA KWH NETO EN MILES DE SUCRETES

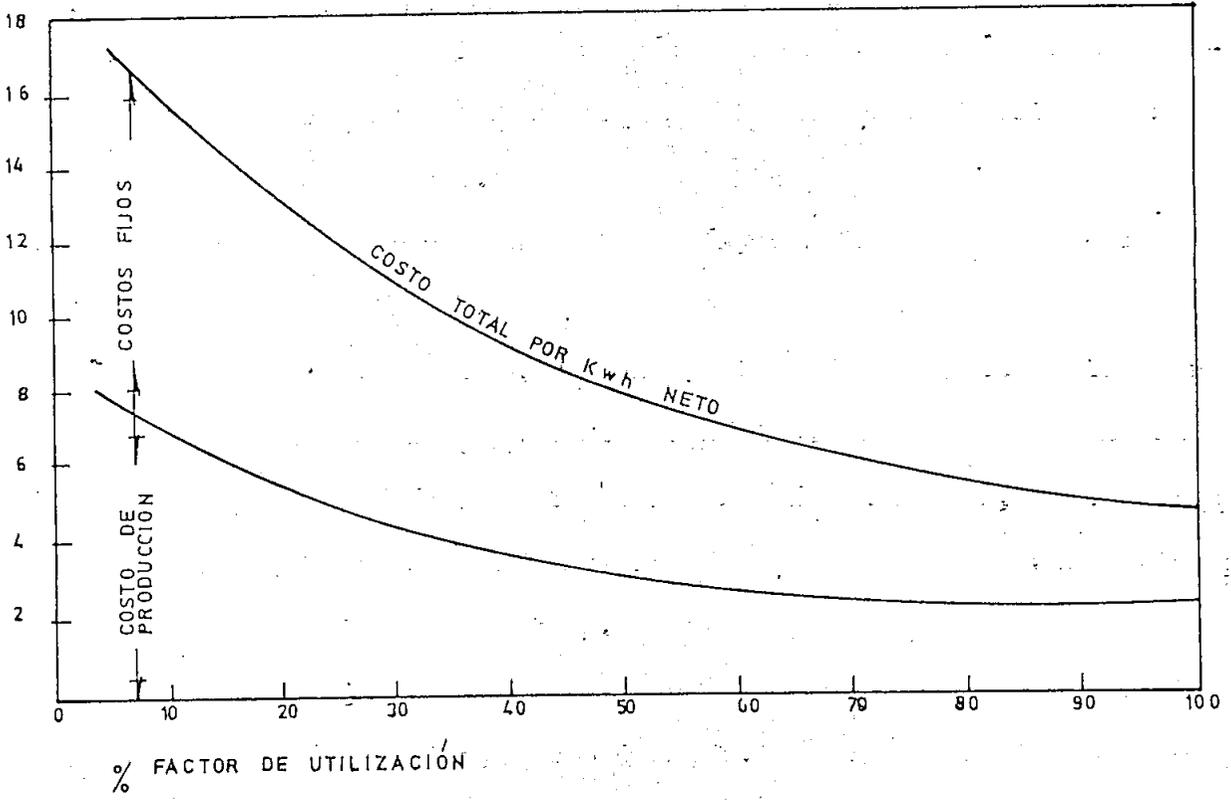


FIGURA 1-5 a

de la carga conectada al sistema y por otra parte hay un incentivo - al consumo, es decir, puede incrementar la carga conectada al sistema mejorando así el factor de utilización que en definitiva mejora la operación económica de la empresa que presta este servicio.

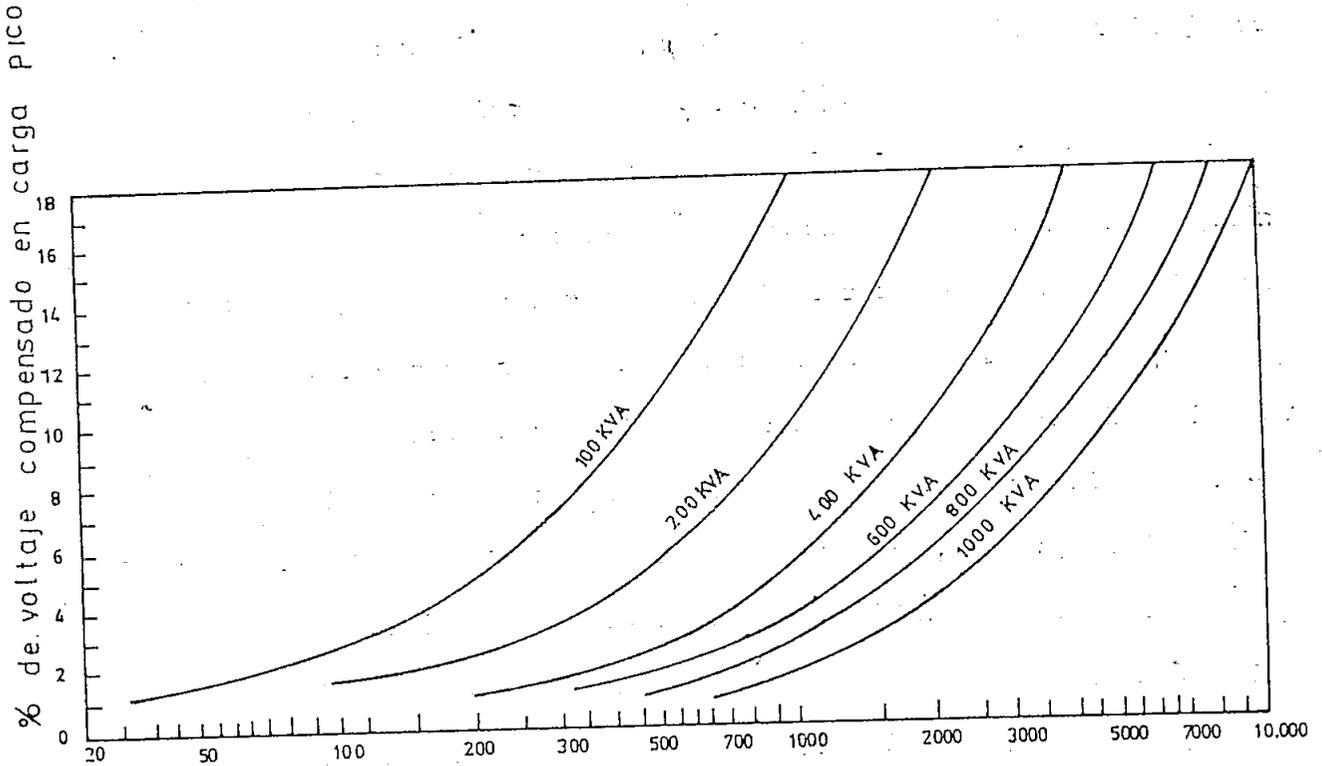
El efecto económico de la mejora de la regulación de voltaje se puede apreciar al estudiar la figura 1-5 (b).

Estas curvas son el resumen de un análisis estadístico realizado en los Estados Unidos y corresponden a una mejora de la regulación de voltaje de alimentadores radiales bajo carga pico con un factor de potencia de 0,95 y con una carga de alumbrado de 50%.

Así por ejemplo, en un alimentador de carga pico anual de 100 Kva una mejora de la regulación del 10% representa un incremento anual - \$ 10.500,00, bajo las mismas condiciones de carga, o sea, debido sólo al aumento de energía consumida. A esto debería agregarse el incremento de carga, justificándose así el gasto en equipo de regulación, el cual se compensaría al incrementarse los ingresos de la empresa.

Si la capacidad de las centrales que suministran la energía al sistema es suficiente, la calidad del servicio que preste va a depender de varios factores entre los que se cuenta la regulación de voltaje. Una mala regulación desmejora las condiciones de servicio, causa molestias a los usuarios, les predispone contra la política de la empresa lo que quiere decir una disminución de sus ingresos.

Junto al esfuerzo de la empresa por mejorar y mantener constante el valor del voltaje debe existir por parte de ésta una permanente vigilancia en el sector de consumo, en especial en el sector industrial



Incremento de ingresos anuales como función de mejora en la regulación de voltaje en suces

SE ASUME: factor de carga 0.3
 factor potencia 0.95
 carga en alumbrado 50%
 ingreso por incremento de carga 3 ¢

FIGURA 1-5 b

cuya tendencia es consumir energía a bajo factor de potencia.

El factor de potencia bajo representa un aumento de costo para la empresa ya que se desmejora el factor de utilización y la regulación copando así la red con energía no pagada por el cliente.

Si el factor de potencia representa un elemento que incide en el costo para la empresa, éste debe ser abonado por el cliente causante de dicho efecto. Con este fin, toda empresa que sirve a cliente de tipo industrial debe intercalar en los contratos de suministro de energía eléctrica algunas cláusulas que obligen a pagar un sobre precio si consumen energía a bajo factor de potencia. Felizmente en nuestro país esto si se ha llevado a la práctica.

Una mala regulación de voltaje no solamente afecta a la empresa que presta este servicio y a sus usuarios, sino también al país al cual se pertenece, pues, el deterioro de equipos y aparatos eléctricos representa una pérdida económica para el país y una salida innecesaria de divisas a finde conseguir su reemplazo.

Un bajo voltaje viene a producir una deficiente iluminación de calles y edificios creandose un ambiente propicio para la producción de accidentes, facilita la delincuencia, favorece al terrorismo y otros actos de índole humana, que, aún cuando no se puede valorar exactamente en sures sin embargo representa un factor de costo para toda la sociedad.

CONCLUSION

La regulación de voltaje es de suma importancia técnica y econó-

mica por las razones que a continuación se expone:

- Produce plena satisfacción en el usuario predisponiéndole favorablemente a apoyar la política de la empresa.
- Funcionamiento satisfactorio de todos los aparatos conectados al sistema y consiguiente disminución de los defectos causados por una variación de voltaje, favoreciendo de esta manera a la economía del usuario y del país.
- Incremento del factor de utilización, mejorando la operación económica de la empresa.
- Disminución de las pérdidas del sistema.
- Facilita ampliaciones y permite aliviar sobrecargas, demorando así la compra e instalación de nuevos equipos.
- Disminuye los daños a la sociedad ya sea por accidentes, terrorismo, delincuencia si es que se mejora la iluminación de los lugares públicos.

CAPITULO II
 REO DE DISTRIBUCION DE LA
 CIUDAD DE AMBATO

2.1.- INTRODUCCION

2.1.1.- BREVE DESCRIPCION DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE LA CIUDAD DE AMBATO

La ciudad de Ambato recibe servicio de energía eléctrica de la Empresa Eléctrica "Ambato" S.A., la cual es una sociedad anónima mercantil establecida en la ciudad en mención que tiene por objeto producir y vender energía eléctrica a la provincia del Tungurahua.

Su sistema eléctrico se interconecta con la provincia del Chimborazo mediante una línea de transmisión de 57 Km a 69 KV.

La mencionada empresa cuenta actualmente con tres centrales eléctricas cuyas características se resumen en el siguiente cuadro.

Nombre	Unidades Nº	Capacidad KVA	Voltaje KV	Tipo de Generación
Cen. "La Península"	4	3.750	6,9	Hidráulica
Cen. "Miraflores"	4	1.597	2,36	Hidráulica
Cen. "El Batán"	3	3.750	4,16	Térmica

TABLA 2-1

La capacidad total de las centrales es de 9.097 KVA a lo que habría que agregarse unos 1.200 KVA que puede recibir de la central de Alao, con lo cual la potencia máxima disponible es 10.297 KVA.

La demanda máxima a la cual sirve la empresa Eléctrica "Ambato" en condiciones de carga pico, es de 7.624 KW con un factor de potencia de 0,8, según datos estadísticos que mantiene la Empresa.

La potencia media calculada a base del diagrama de consumo de energía eléctrica diaria tomado para un día típico es de 4.250 KW.

La fluctuación diaria de la carga para un día típico se puede apreciar en la figura 2-1.

Dado el alto índice de crecimiento de consumo eléctrico de la ciudad y debido a la gran labor que realiza la Empresa en cuanto a electrificación rural se refiere, muy pronto será superada la potencia disponible, lo cual detendría el progreso industrial y económico de la provincia.

La única esperanza para el futuro es el Proyecto Pisayambo que actualmente está en etapa de construcción.

En el momento actual, el sistema de la Empresa Ambato cuenta con dos subestaciones de servicio para la ciudad: la subestación denominada N^o 1 y la subestación "Ambato".

De la subestación N^o 1, salen cuatro circuitos para servicio de la ciudad y 2 circuitos para interconexión con la subestación "Ambato" y las centrales "El Batán" y "Miraflores".

El sistema de interconexión facilita el suministro de la energía para los diferentes circuitos de servicio de la ciudad y de las pobla

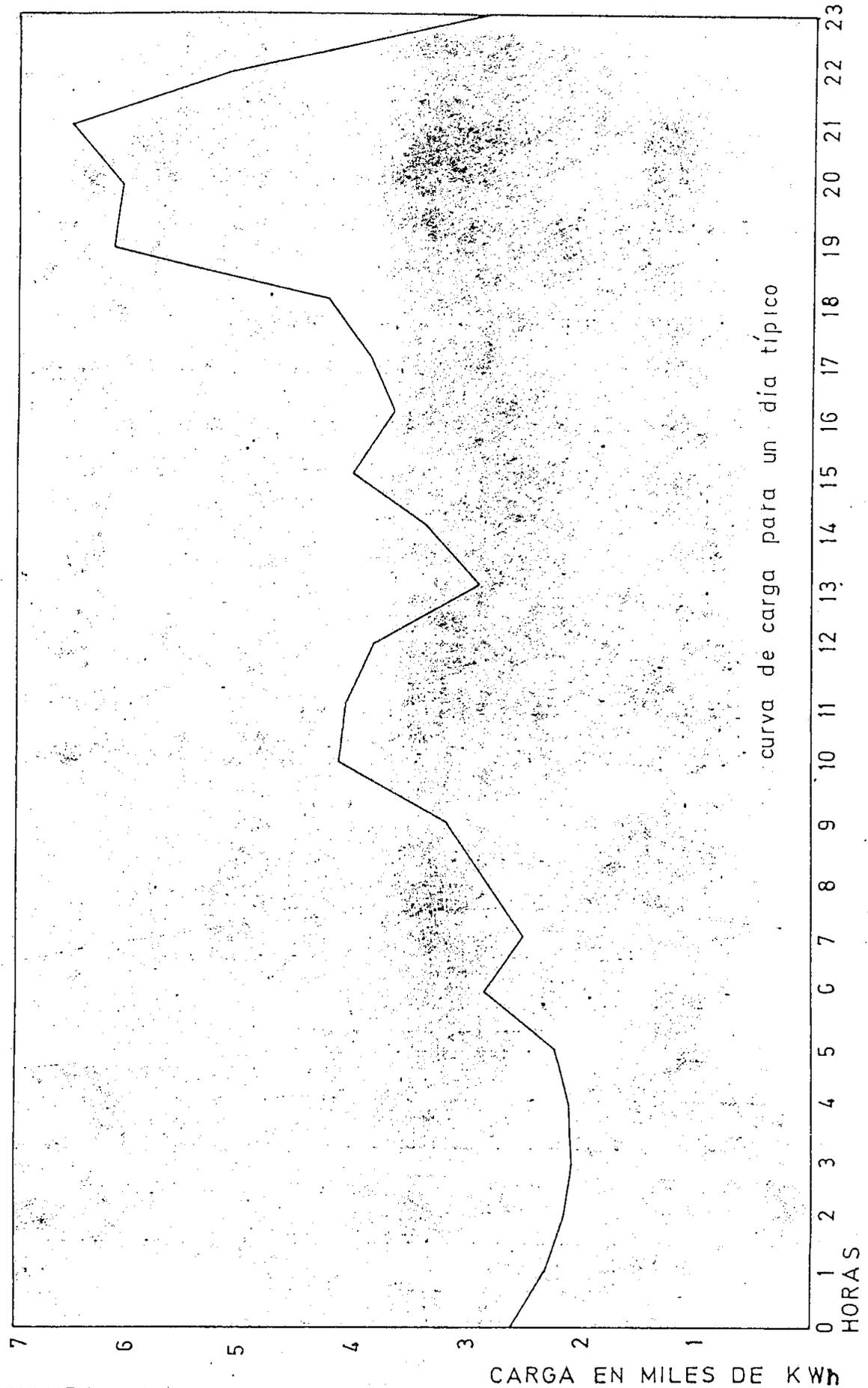


FIGURA 2-1

CARGA EN MILES DE KWh

ciones suburbanas.

De la central "El Batán" salen cuatro circuitos para servicio de la ciudad y el circuito respectivo de interconexión.

La central "Miraflores" entrega la energía por medio de un circuito para servir la parte alta de la ciudad y el sector denominado Ficoa y otro circuitos para la interconexión que sale a través de un trnsformador.

La subestación "Ambato" entrega la energía por medio de cuatro circuitos: un circuito para la interconexión, un circuito que alimenta la parte suroriental de la ciudad y avanza hasta la ciudad de Pelileo con ramales laterales para servir a las poblaciones que estan próximas o en su recorrido, y los dos circuitos restantes sirven para la distribución rural.

Es necesario indicar que Tungurahua es una de las provincias que más servicio rural posee, lo cual es digno de aplauso por esta gran labor realizada por la Empresa "Ambato", que se ha preocupado de incorporar el agro al benéfico uso de la energía eléctrica.

De la central "La Península" a mas del circuito que interconecta con la subestación número 1, arranca un circuito a través de un trnsformador que eleva el voltaje hasta 13,8 KV destinado al servicio del cantón Píllaro que posee actualmente una aguda escasez de energía eléctrica. Dicho circuito, en el momento actual, se encuentra construído hasta un lugar denominado Puerto Arturo faltando unos pocos kiló-metros para llegar a la mencionada ciudad.

Apartir de enero del presente año se inicia la construcción de un cir

cuito que servirá al cantón Baños y poblaciones rurales del mismo.

Todo lo expuesto podemos apreciar en el diagrama unifilar de la figura 2-2.

En cuanto se refiere a la red de distribución que sirve a la ciudad se puede anotar lo siguiente:

En baja tensión se tiene dos áreas: la una servida por un red relativamente nueva y la otra servida por una red vieja la cual se reemplazará.

La tensión de servicio es de 120/208V.

La red de alta tensión es relativamente nueva pudiendo anotarse que hay ciertos tramos en los que el calibre del conductor es menor que en el resto de la red. El calibre del conductor es 1/0 AWG. El voltaje de servicio es a 2, 3 KV, 4,16 KV y 13,8 KV. Esta diversidad de voltajes causa molestias a la operación de la Empresa, problema que será analizado posteriormente.

En el aspecto económico la Empresa tiene una de las tarifas más bajas del país que no obstante, le permite cubrir su operación económica pero con muy poco margen de utilidad. Las bajas tarifas constituyen un incentivo para los nuevos comercios e industrias que pueden establecerse en la ciudad.

Las subestaciones de servicio tienen las adecuadas protecciones e instalaciones necesarias para su buena marcha. Pero ninguna de ellas dispone de equipo de regulación automática, ni cambiadores automáticos de derivaciones bajo carga (L.T.C.) . Los cambios de derivación se realizan manualmente y en vacío, lo cual no permite realizar en ningún -

caso una regulación de voltaje apropiada.

En lo que se refiere a la regulación de voltaje no se ha hecho absolutamente nada que tienda a mejorar este importante problema de la industria eléctrica. No existe ningún aparato cuyo fin sea la regulación de voltaje dentro del sistema de distribución.

Con el objeto de obtener información sobre el problema de la regulación de voltaje se realizaron medidas de voltaje que suministra la empresa en varios puntos de la ciudad y a diferentes horas tales como 6 a.m., 10¹/₂ a.m., 12 p.m., 2 p.m., 7 p.m., y, 10 p.m. observándose que hay variaciones tanto en exceso como en defecto.

Hay lugares en los cuales se registran voltajes inferiores a los 100 V y en otros lugares superan a los 130 V.

De esta observación se ha establecido que existe el problema de la regulación cuya solución se tratará de encontrar en el presente trabajo.

En resumen se puede decir que el sistema de distribución de energía que sirve a la ciudad de Ambato en particular y en general a la provincia del Tungurahua se encuentra en un amplio programa de expansión. De ahí se deriva la necesidad de un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica disponible puesto que su capacidad de reserva actualmente es muy baja.

Esta es otra de las razones que justifican un estudio que tienda a mejorar el voltaje que permitirá un mejor aprovechamiento de la energía disponible y una mejor operación económica de la empresa.

2.1.2.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REGULACION DE VOLTAJE

La regulación de voltaje en un sistema de distribución es afectado por varios factores. Como principales podemos mencionar a los siguientes: tipo de distribución, estado físico de la red, longitud de los circuitos, ubicación de los transformadores, tipo de carga, sonificación de la carga, carga, etc..

Cada uno de estos factores serán estudiados en forma específica para este sistema.

2.2.- TIPO DE DISTRIBUCION.- ASPECTOS IMPORTANTES

La distribución de la energía se lo ha hecho de la siguiente forma:

En alta tensión, la red es del tipo radial simple con interruptores de enlace situados en diferentes puntos a lo largo de los primarios. Estos interruptores permiten conectar tramos de un circuito con los circuitos adyacentes, y normalmente permanecen abiertos.

Cada alimentador o circuito de alta tensión a lo largo de todo su recorrido está seccionado en tramos mediante interruptores que permanecen cerrados. En caso de que se presente una falla o una avería, se abrirían estos interruptores, aislando el tramo falloso y continuando el servicio para el resto de los usuarios del circuito.

La posibilidad de seccionamiento en tramos de un circuito permite mejorar la continuidad del servicio la misma que es bastante deficiente en distribución del tipo radial.

Además, la continuidad del servicio es muy favorecida con el -

uso de los interruptores de enlace con circuitos adyacentes que mencionamos anteriormente.

Producida una falla en un tramo del circuito principal es aislado el tramo falloso, transfiriéndose el resto del circuito a los adyacentes. Al operarse estos interruptores de enlace, debe tenerse cuidado que los circuitos a los cuales se transfiere la carga del circuito falloso, no lleguen a sobrecargarse excesivamente para evitar fuertes caídas de voltaje que desmejoran la regulación. Por la misma razón anterior es necesario cuidar que al transferirse la carga no haya un desbalanceamiento excesivo de las fases.

Como se puede apreciar en el diagrama unifilar de la figura 2-2, actualmente la red de alta tensión consta de los alimentadores que cubren toda el área de la ciudad. La red es aérea montada ya sea en postes de hormigón centrifugado, torres de hierro o en la parte céntrica de la ciudad, sobre crucetas empotradas a las fachadas de los edificios en lugares inaccesibles.

En cuanto al sistema de protección se refiere, los circuitos o alimentadores primarios tienen como elemento básico de protección los fusibles. Se usa interruptores automáticos únicamente a la salida de los alimentadores de las subestaciones o de las centrales eléctricas respectivamente.

La coordinación en tiempo-corriente de los aparatos de protección empleados no fue posible obtenerse por no existir esos datos en la Empresa.

Los equipos de la subestación y los transformadores de distribu

ción están protegidos contra las descargas atmosféricas mediante para rayos situados cerca de los terminales.

La red de distribución secundaria es también del tipo radial simple, aérea, montada sobre estructuras similares a las de la red primaria.

Se ha indicado que el tipo de distribución tanto primaria como secundaria es radial simple.

Se conoce que el tipo de distribución influye en forma notable sobre la regulación de voltaje.

El menos favorable en cuanto a regulación de voltaje y a continuidad de servicio se refiere es el de tipo radial simple. La ventaja de esta forma de distribución es la sencillez de su ejecución y la economía.

Este sistema de distribución con respecto a la facilidad que puede prestar para mejorar la regulación de voltaje es relativamente bueno. Permite sin muchas complicaciones diagnosticar el estado de la regulación, ubicación de los equipos de regulación y su coordinación.

La red de distribución primaria se puede observar en el plano 2-1.

Los planos de la red secundaria no se adjuntaron por no tener nada de particular.

2.3.- ESTADO FISICO DE LA RED

2.3.1.- CAPACIDAD DE LA RED

Al diseñarse una red de distribución son múltiples los factores

que intervienen entre los cuales mencionaremos los siguientes como principales: densidad de carga, índice de crecimiento de la carga, - capacidad para situaciones de emergencia y normal, tipo de distribución, situación y capacidad de las subestaciones, caída de voltaje admisible, protección, tipo de construcción. Si estos factores tienen su influencia para el diseño de la red es muy importante tomarlos en cuenta en la evaluación de los mismos.

En la Empresa se ha tratado de obtener datos que permitan conocer la capacidad de los circuitos primarios y la carga actual que soportan los mismos. Ninguno de los datos fueron dados en forma satisfactoria sino solo en forma aproximada y son los siguientes:

Capacidad de un circuito primario 1.500 KVA.

Carga actual del mismo 800 KVA.

Al observarse en el plano 2-1 correspondiente a la distribución en alta tensión encontramos que cada circuito tiene una diferencia - con los otros.

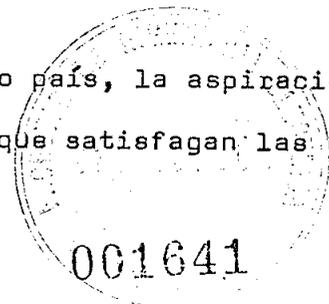
Con el objeto de confirmar estos datos por lo menos en forma - aproximada se puede hacer un cálculo rápido de su capacidad.

El objeto de este cálculo es obtener una estimación de la capacidad actual de cada circuito. Procederemos de la siguiente manera:

- 1.- Fijamos la caída de tensión admisible.

Para fijar la caída de tensión es necesario tomar en cuenta tanto el aspecto técnico como el económico.

Dadas las condiciones económicas de nuestro país, la aspiración es construir redes de distribución económicas y que satisfagan las con



diciones técnicas requeridas.

La experiencia recogida por muchas Empresas que prestan este servicio aconsejan que en las redes de distribución tomando en cuenta los dos aspectos técnico y económico es que se admita una caída de tensión de hasta un 6%.

En el presente caso se admitirá una caída de un 5%.

2.- Tensión de servicio.

Como la red está funcionando, el voltaje de servicio ya está establecido como se indicó en párrafos anteriores y son: 2,3KV, 4,16 KV y 13,8 KV.

3.- Determinación de la caída de tensión unitaria.

La caída de tensión unitaria se refiere a la caída de tensión por cada metro de conductor y cada ampario que transporta.

Para determinar la caída de tensión se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$E = R.I.\cos \phi + X.I.\sin \phi$$

R = Resistencia de un conductor de la línea.

X = Reactancia de un conductor de la línea.

ϕ = Angulo de desfazaje entre la corriente y el voltaje de la carga.

E = Caída de tensión en la línea.

Esta ecuación es aproximada por despreciarse la parte imaginaria de la ecuación completa, el error que se comete es pequeño.

Si tanto la resistencia como la reactancia se toman por unidad de longitud en este caso por cada metro, y la caída de tensión se de

termina por cada amperio que circula se obtiene la caída de tensión unitaria que es la que buscamos.

$$\epsilon = r \cdot \cos \phi + x \cdot \sin \phi$$

ϵ = Caída de tensión unitaria (V/mA)

r = Resistencia de la línea por metro.

x = Reactancia de línea por metro.

ϕ = Angulo de desfazaje voltaje-corriente de carga.

El ángulo de desfazaje voltaje-corriente se puede determinar a partir del factor de potencia. En el caso de la ciudad de Ambato el factor de potencia oscila entre 0,8 a 0,9 según datos de la empresa. En el presente caso se tomará como factor de potencia 0,8.

Los valores de r y x son dados por el material y la forma de construcción de la línea.

El material de los conductores es: cobre estirado al frío de - 97,5% de conductivilidad, 1/0 AWG, cableado de 7 hilos.

Para encontrar el valor de las resistencias y reactancias, recurrimos a tablas que traen los libros y manuales sobre Ingeniería Eléctrica. Estos valores se resumen en la tabla 2-2.

	D= 0,40 m.	D= 0,72 m.
Conductor N° 1/0		
r (Ω /m)	0,377.10 ⁻³	0,35.10 ⁻³
x (Ω /m)	0,360.10 ⁻³	0,30.10 ⁻³
(V/mA)	0,518.10 ⁻³	0,472.10 ⁻³

TABLA 2-2

4.- Longitud de los circuitos.

Para efectos de cálculo de la capacidad de un circuito primario establecido no se toma en cuenta la longitud total del circuito sino una longitud equivalente y es aquella longitud en la cual se considera concentrada la carga total del circuito.

5.- Cálculo de la capacidad de cada circuito.

Para este cálculo aplicaremos dos métodos: por la fórmula de la caída de tensión y por el método de los KVA- Km preestablecidos. De los dos valores que se obtengan, sacaremos un valor medio aritmético. Método de la caída de tensión: Se determina aplicando la siguiente ecuación práctica.

$$KVA = \frac{\varepsilon \text{ KV.}}{\phi .L}$$

KVA = Potencia de la línea en Kilovoltio-amperio

ε = Caída de tensión total del circuito preestablecida.

L = Longitud del circuito en metros.

ϕ = Caída de tensión unitaria.

KV = Tensión del circuito línea-línea.

Aplicando esta ecuación obtendremos la capacidad aproximada de cada primario, la cual se resume en la tabla 2-3.

Método de los KVA - Km preestablecidos: los KVA - Km vienen tabulados en manuales de ingeniería Eléctrica para un determinado valor de caída de tensión, generalmente para el 1%.

Para determinar la capacidad cuando la regulación es mayor del

1% se aplica la siguiente ecuación

$$KVA = \frac{(KVA-Km) \cdot \epsilon}{L}$$

KVA-Km = KVA Preestablecidos para 1Km y el 1% de re
gulación.

ϵ = Regulación preestablecida.

La capacidad cálculo por este método se resume en la tabla 2-4.

Observándose los resultados de la aplicación de los dos métodos, prácticamente son iguales.

El promedio tenemos resumido en la tabla 2-5 y se tomará estos valores como la capacidad estimada de cada circuito.

Entre los resultados de los cálculos realizados y los datos obtenidos en la Empresa, en algunos circuitos se notan una diferencia bastante grande, por lo cual para todo nuestro estudio tomaremos como válidos los cálculos realizados.

Carga actual de cada circuito.- La carga actual de los circuitos como se indicó anteriormente no fué posible obtenerse por no existir registros de esta importantísima información para el estudio presente.

En forma similar al caso anterior procederemos a un cálculo estimativo a fin de tener una idea de cómo están cargados cada circuito.

Para este cálculo tomaremos en cuenta la carga instalada en transformadores, la carga media del sistema y el factor de carga de la Em-presa.

El factor de carga de la Empresa "Ambato" es de 0,44.

Circuito	Cnd. Nº	Voltaje KV	ϵ V	σ $10^{-3}V/Am$	L m.	$KVA = \frac{\epsilon \cdot KV}{L \cdot \sigma}$ KVA
Plaza-Urbina	1/0	4,16	208	0,5176	800	2.100
Av. Olímpica	1/0	4,16	208	0,5176	800	2.100
Unidad Nacional	1/0	4,16	208	0,5176	1.070	1.530
Ingahurco	1/0	4,16	208	0,5176	1.880	900
Central	1/0	4,16	208	0,5176	2.000	840
Pérez Anda	1/0	4,16	208	0,5176	1.800	978
Ficoa-Moreflores	1/0	4,16	208	0,5176	1.270	1.330
Ramal Ficoa	1/0	2,3	115	0,5176	1.430	340
Ramal parte alta	1/0	2,3	115	0,5176	1.700	295

TABLA 2-3

Circuito	CND. Nº	Volt. KV	KVA-Km Reg.1%	l Km	Capacidad KVA
Plaza Urbina	1/0	4,16	333.1	800	2.080
Av. Olímpica	1/0	4,16	333.1	800	2.080
Undad. Nacional	1/0	4,16	333.1	1.070	1.560
Ingahurco	1/0	4,16	333.1	1.880	885
Pérez Andía	1/0	4,16	333.1	1.800	920
Central	1/0	4,16	333.1	2.000	835
Ficoa-Miraflores	1/0	4,16	333.1	1.270	1.310
Ramal Ficoa	1/0	2,30	111	1.430	365
Ramal Parte alta	1/0	2,30	111	1.700	327

TABLA 2-4

Los datos estimados se resumen en la tabla 2-6.

Los valores estimados corresponden a un a carga media.

En condiciones de carga pico, esos valores se harían cercanos al doble con lo cual algunos circuitos tales como: Unidad Nacional, Pérez Anda y Central sobre pasarían su capacidad y plantearían ya problemas de regulación de voltaje.

Especialmente el circuito central, con una carga media, esta ya con una sobrecarga; bajo carga pico presentaría serios problemas de regulación.

En cuanto a baja tensión el problemas es mucho mas serio, tomando en cuenta que una parte de la ciudad esta servida por una red no adecuada como se anotó en parrafos anteriores.

Circuito	Capacidad KVA
Plaza Urbina	2.090
Av. Olímpica	2.090
Unidad Nacional	1.545
Ingahurco	892,5
Pérez Anda	949
Central	837,5
Ficoa-Miraflores	1.320
Ramal Ficoa	1.430
Ramal parte alta	1.700

TABLA 2-5

Circuito	Capacidad en Transformadores KVA	Factor de Carga	Carga estimada KVA
Plaza Urbina	420	0,44	182,5
Av. Olímpica	590	0,44	240
Unidad Nacional	2.091	0,44	920
Ingahurco	810	0,44	355
Pérez Anda	1.368	0,44	560
Remal Ficoa	491	0,44	217
Ficoa Moraflores	971	0,44	437
Central	2.045	0,44	900
Parte Alta	356	0,44	156

TABLA 2-6

2.3.2.- LONGITUD DE LOS CIRCUITOS

La longitud de los circuitos de distribución en alta tensión es función de la densidad de carga del área servida y del voltaje.

La longitud de los circuitos primarios del sistema en estudio se puede decir que está dentro de valores aceptables, excepción del circuito central que es bastante extenso tomado en cuenta la carga que sirve.

La longitud de los circuitos se tiene en la tabla 2-3 y 2-4.-

2.3.3.- TRANSFORMADORES.- CAPACIDAD Y UBICACION

La capacidad de los transformadores conectados a los diferentes primarios en forma global se resume en la tabla 2-6 y en forma individual en las figuras 2-20a 2-10, en las cuales se puede apreciar su ubicación en los diferentes ramales.

En la red de distribución en estudio no se conoce la fecha de instalación de los transformadores, la carga inicial, ni las condiciones de carga actual salvo unos pocos datos aislados que se han comenzado a sacar.

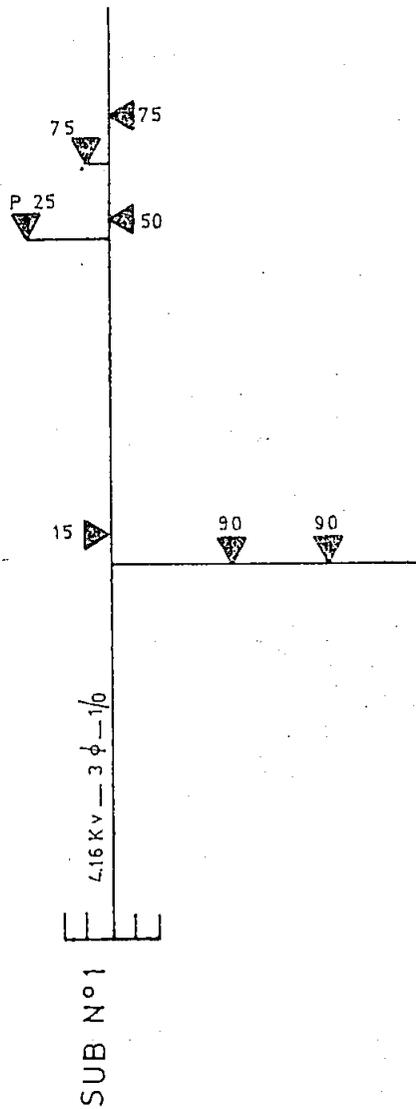
Como información adicional podemos mencionar que la mayor parte de los transformadores tienen algunos años de servicio.

2.3.4.- TRANSFORMADORES.- DATOS DE CARGA

El objeto de conocer los datos de carga de un transformador es para poder determinar la caída de tensión que se tiene dentro del transformador, dato importante desde el punto de vista de la regula-

CIRCUITO PLAZA URBINA Nº 2

ESC. 1:10.000



- ▲ transformador
- ▲ 10 transformador de 10 KVA

FIGURA 2-2

CIRCUITO AVENIDA OLIMPICA

ESC. 1:10,000

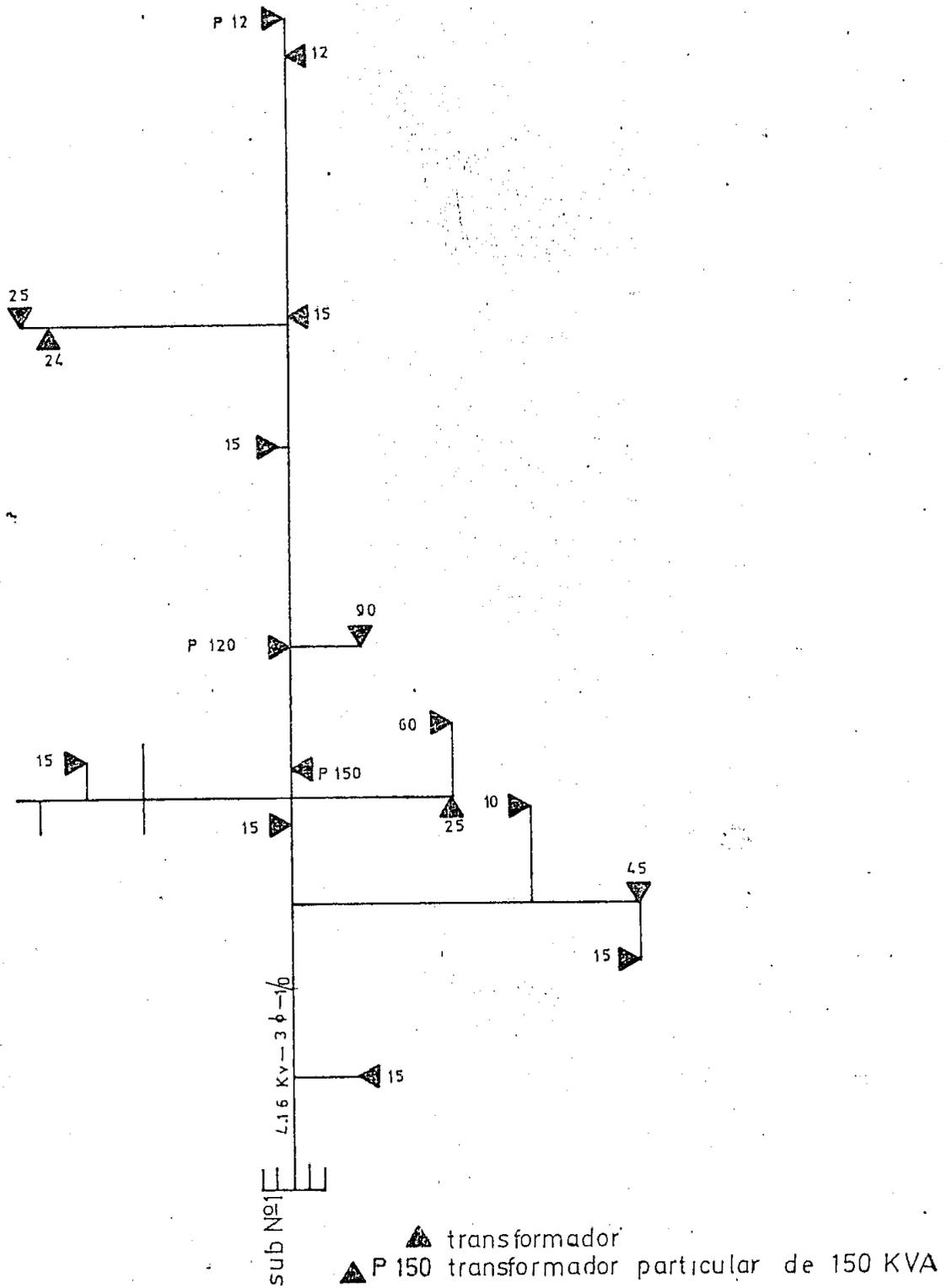
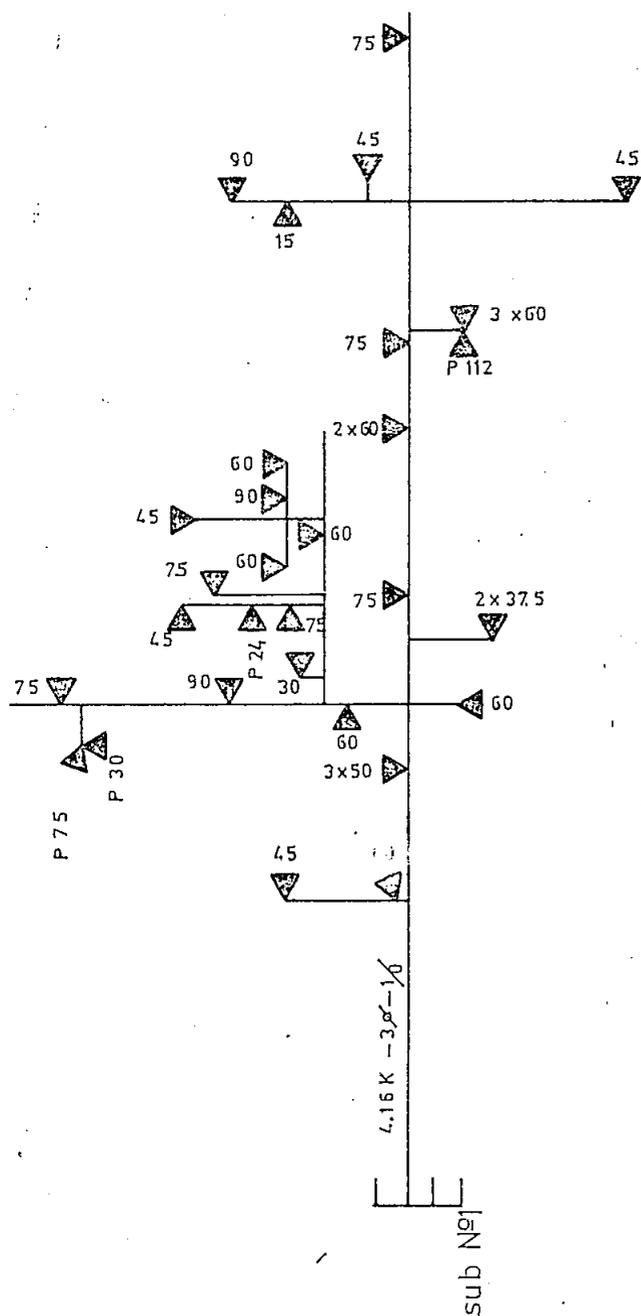


FIGURA 2-3

CIRCUITO UNIDAD NACIONAL

12 de noviembre



▲ transformador

45 ▲ trafos de 45 KVA

FIGURA 2-4

CIRCUITO INGAHURCO

ESC. 1:10.000

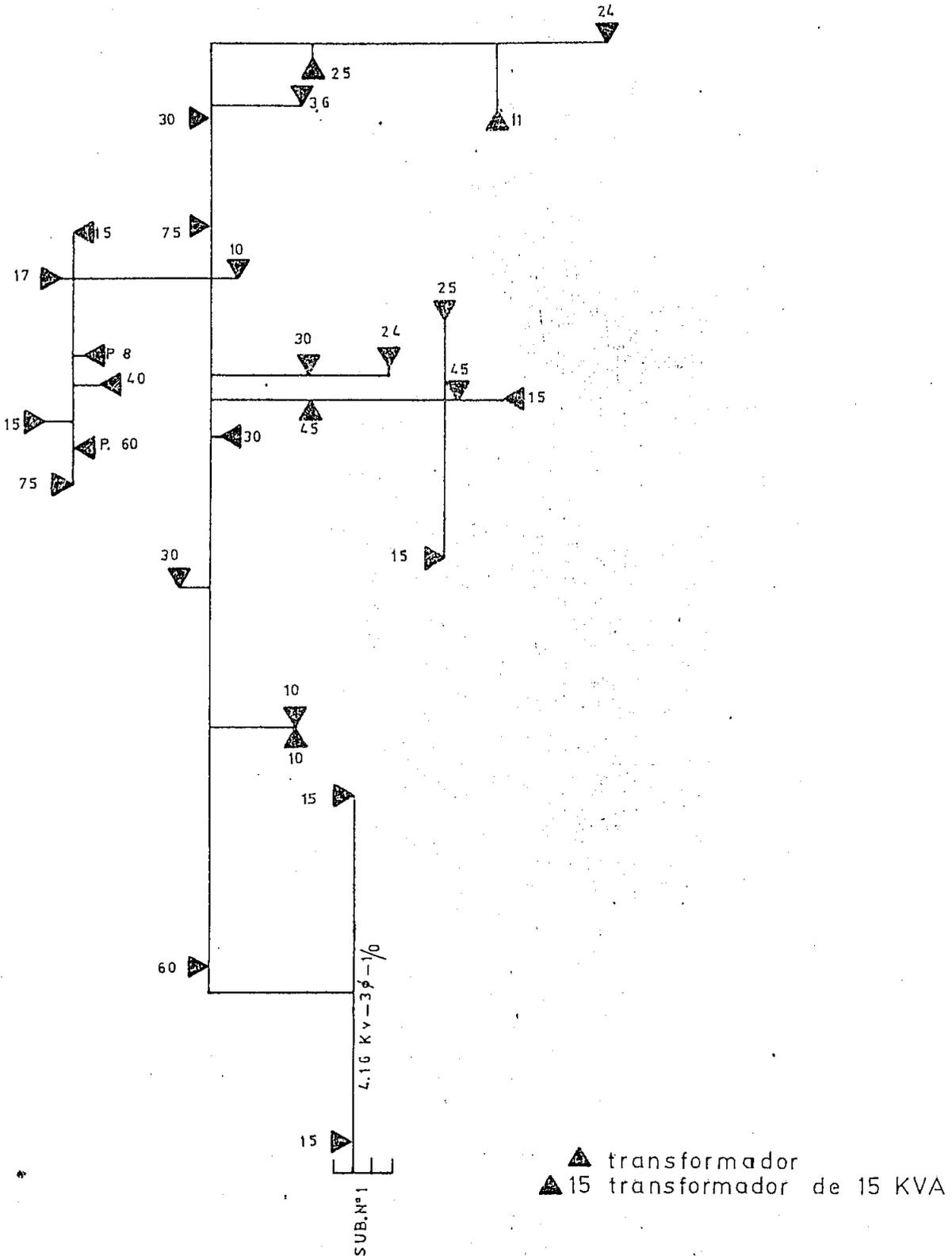
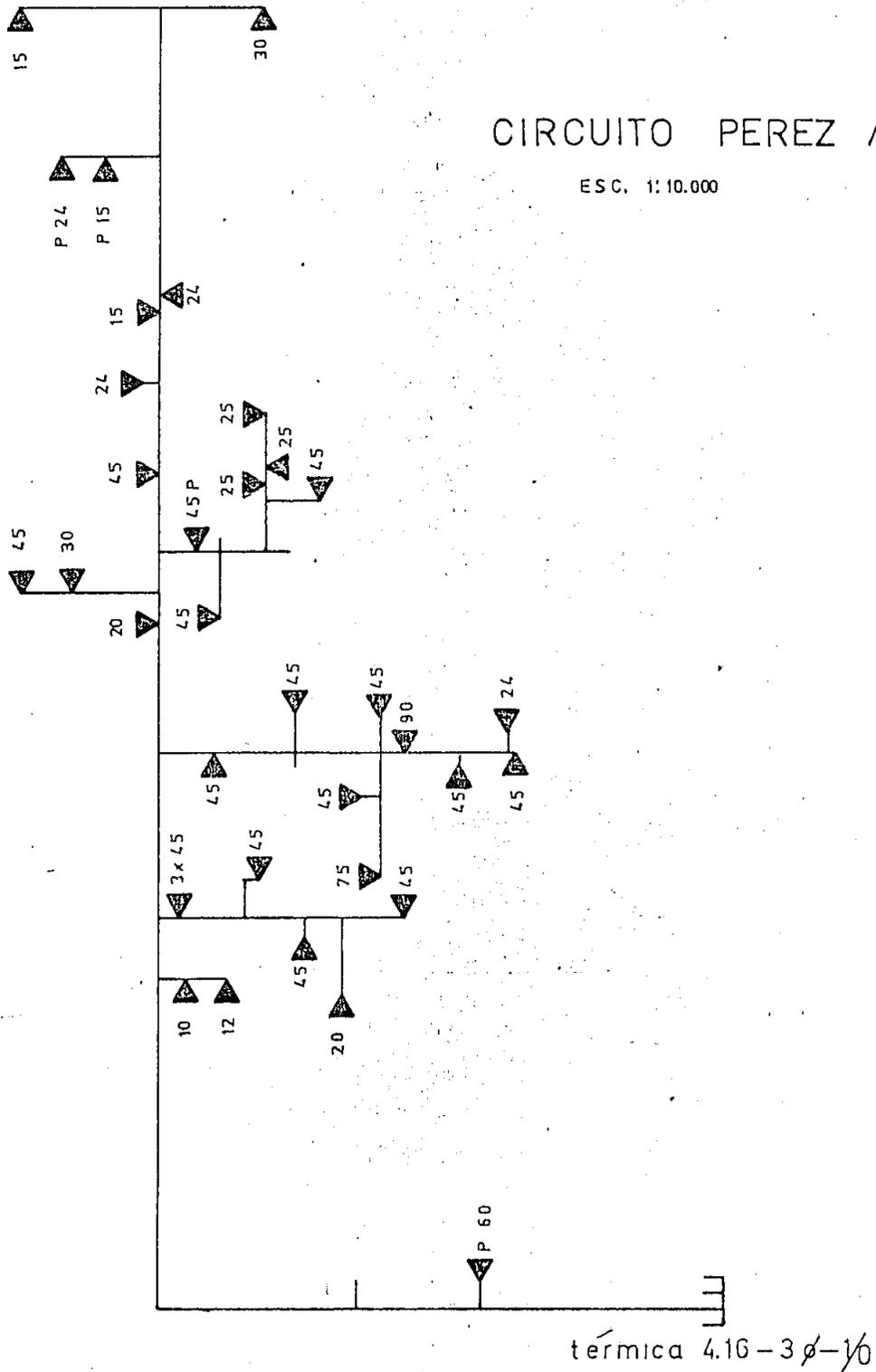


FIGURA 2-5

CIRCUITO PEREZ ANDA

ESC. 1:10.000

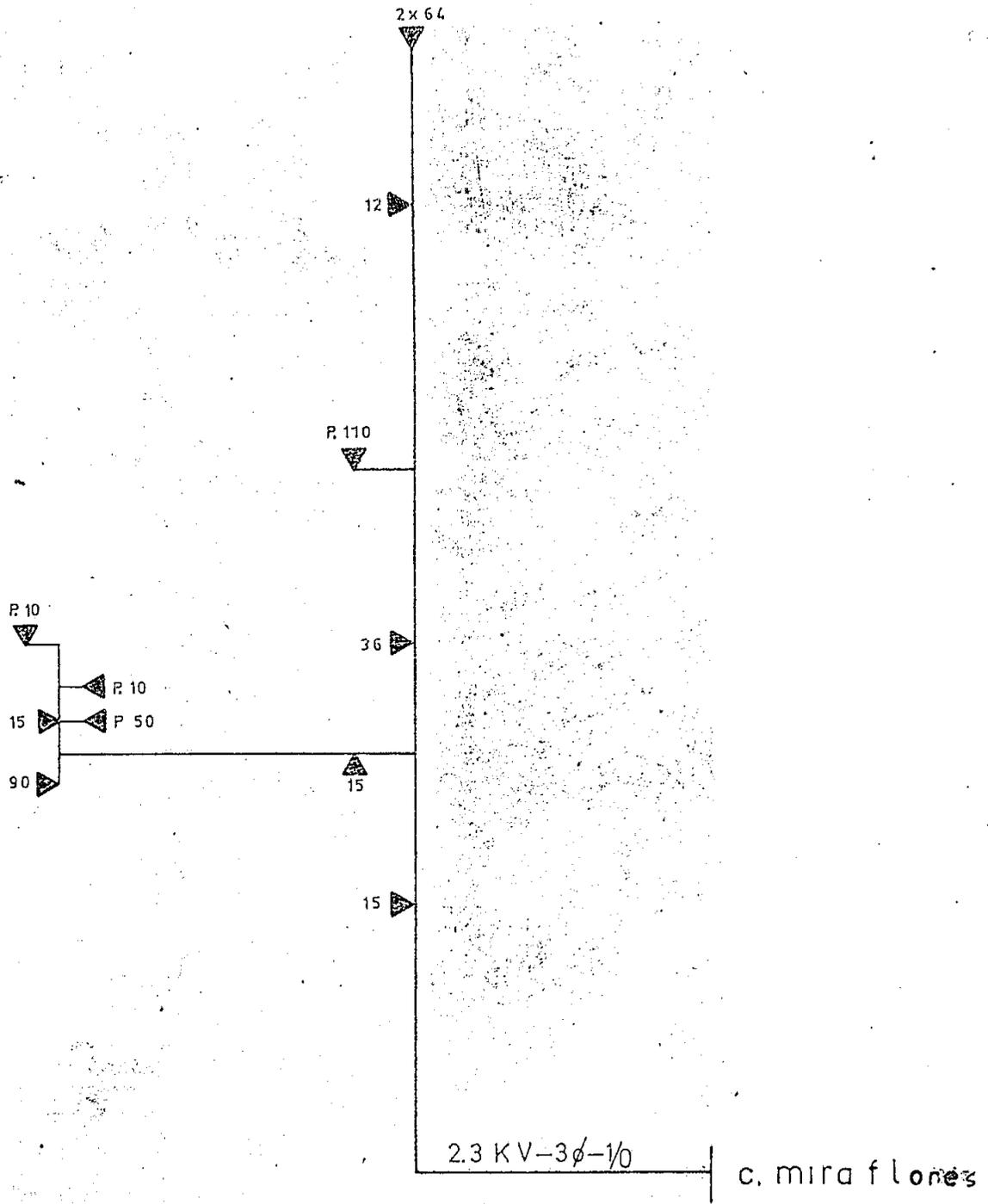


- ▲ transformador
- ▲ trafos de 12 KVA

FIGURA 2-6

CIRCUITO RAMAL FICOA

ESC 1:10,000

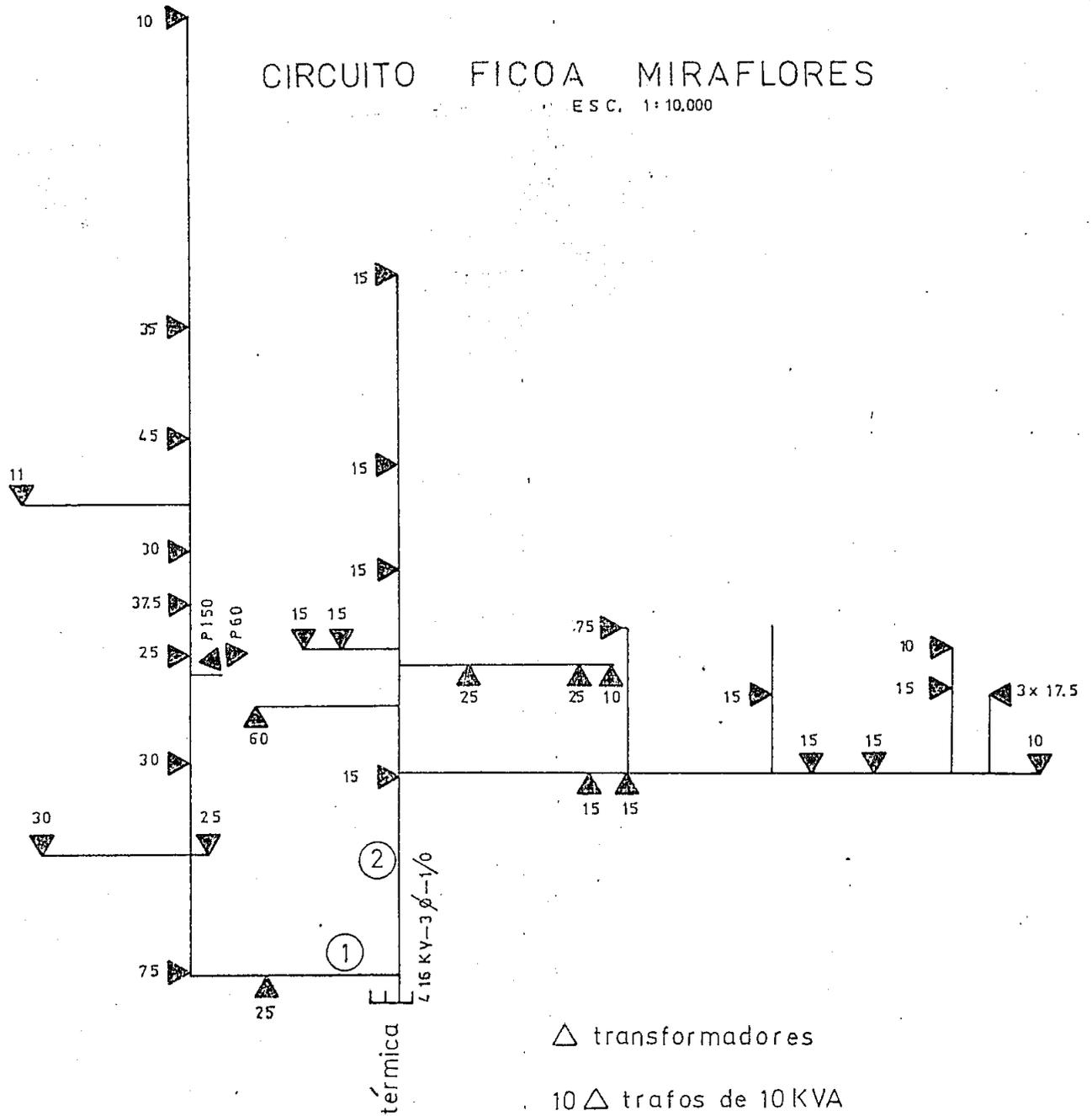


▲ transformador
 15 ▲ transformador de 15 KVA

FIGURA 2-7

CIRCUITO FICOA MIRAFLORES

E.S.C. 1:10,000



△ transformadores

10 △ trafos de 10 KVA

① ramal Nº1

② ramal Nº2

FIGURA 2-8

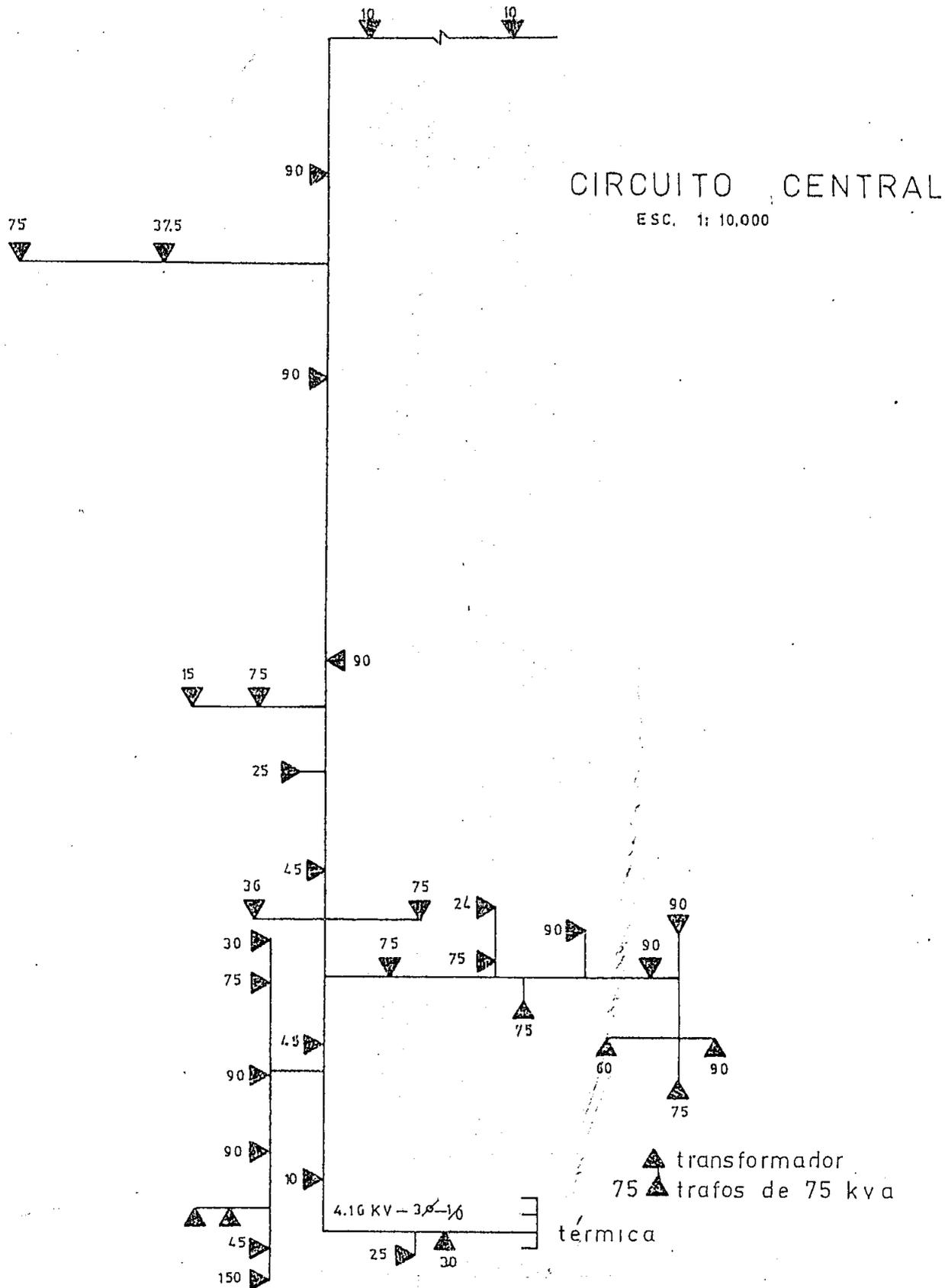


FIGURA 2-9

CIRCUITO PARTE ALTA DE LA CIUDAD

ESC. 1: 10.000

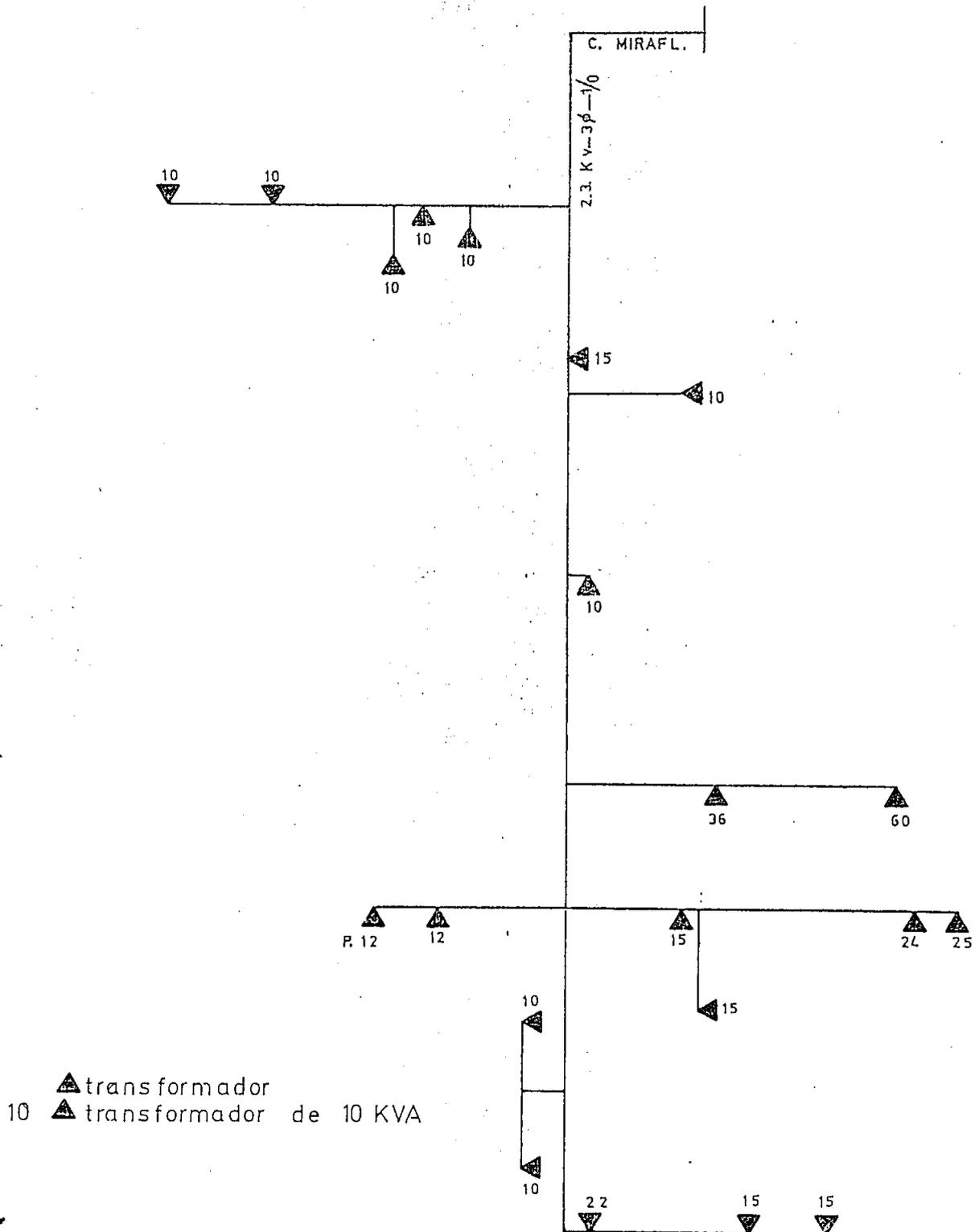


FIGURA 2-10

ción.

Desgraciadamente en el presente caso no ha sido posible obtenerse por esta razón se admitirá que en los transformadores hay una caída de tensión de 2% que es valor máximo que normalmente se acepta para estos aparatos.

2.4.1.- TIPO DE CARGA

La Empresa Eléctrica Ambato, dentro de la ciudad, clasifica la carga servida de acuerdo al uso dado a la energía eléctrica, en la siguiente forma: cargas comerciales, residenciales, industriales y públicas. Los datos correspondientes se resumen en la tabla 2-8.

	Residencial	Industrial	Comercial	público
Abonados Nº	7.121	213	2.921	43
KWh/ mes	632.055	48.851	362.675	4.641
Porcentaje	60%	4,7%	34,6%	0,7%
Indice de Crecimiento	9,7%	8%	3%	

TABLA 2-8

El índice de crecimiento total de la carga de la ciudad de Ambato está al rededor del 8,55%. Es un valor bastante apreciable y - significa que al ritmo de crecimiento actual, la demanda se duplica-

rá en un lapso de tiempo de unos 8 años.

Como las tarifas de cobro de la energía eléctrica de la ciudad es de las más bajas en el país, no sería raro que este índice de crecimiento se eleve notablemente debido a que las cargas industriales son incentivadas por el bajo costo de la energía.

2.4.2.- INFLUENCIA DE LA CARGA EN LA FLUCTUACION DEL VOLTAJE

Las fluctuaciones del voltaje dentro de un sistema de distribución causan serias molestias en los circuitos de alumbrado y radio recepción.

Las causas que producen tales fluctuaciones están o dentro del sistema o en las cargas servidas.

Las fluctuaciones del voltaje originadas dentro del sistema son muy raras y cuando son detectadas se las puede eliminar fácilmente.

La gran mayoría de las fluctuaciones del voltaje son ocasionadas en los aparatos consumidores de la energía de los usuarios. Una de las causas muy comunes de estos fenómenos son los arranques de los motores y es mas notable, mientras mayor sea la potencia de los mismos.

Por razones de costo, eficiencia y confiabilidad, los motores son diseñados para una corriente de arranque, algunas veces mayor que la corriente de funcionamiento normal, con el objeto de alcanzar rápidamente el torque suficiente para vencer la inercia de los mecanismos accionados.

La relación entre la fluctuación de voltaje y la frecuencia

con la que se produce causando efectos molestos en iluminación, por la operación de varios aparatos observamos en la figura 2-11.

Todos los accionamiento a motor con cargas cíclicas producen fluctuaciones del voltaje. Cuando la frecuencia de las fluctuaciones es de algunas veces por segundo, causan serias molestias a los usuarios.

Otras de las cargas que tienen que ver con las fluctuaciones de voltaje son los equipos para soldaduras por su bajo factor de carga y su operación intermitente. También sus molestias son serias debido a la frecuencia de operación bastante alta. Sus efectos son más notables cuando las cargas adyacentes son pequeñas. Cargas como hornos de resistencia, de inducción, de arco, equipos de aire acondicionado, frigoríficos, etc., causan el mismo problema.

Especialmente los dos primeros tipos de carga son muy frecuentes en la ciudad de Ambato en aserríos, pequeñas industrias metalme-cánicas, talleres mecánicos, carpinterías e industrias, etc..

Para mantener una buena relación entre los clientes y la Empresa es muy saludable prevenir que no ocurran estos fenómenos, antes que solucionarlos una vez que se han presentado.

La solución de estos fenómenos por parte de la Empresa, resulta muy caro y a veces imposible. Una de las soluciones es dar al alimentador donde se presenta este fenómeno en forma marcada, una capacidad grande de cortocircuito con el objeto de mantener la corriente dentro de los límites tolerables, solución que no sería posible en circuitos ya construídos. Otra solución es el banqueo de la red.

Otra forma de atenuar estos efectos es la operación de tales cargas a través de su propio transformador, solución que resulta cara para el usuario.

También se puede exigir al usuario el uso de condensadores en serie, a la entrada de tales cargas, pero esta solución puede causar problemas al sistema.

En la industria, cuando se presentan estos fenómenos de una - manera muy notable, es necesario realizar estudios muy serios a fin de minimizar su efectos, llegándose a soluciones tales como modificaciones de procesos, incrementos de tiempos de operaciones y arranques todo lo cual representa un apreciable costo.

Con el objeto de proteger a sus usuarios centro estos fenómenos que desmejoran la calidad del voltaje suministrado y la armonía que debe existir entre Empres-Usuario, es necesario tomar medidas - preventivas entre las que mencionaremos las siguientes:

- Es indispensable exigir una completa información de las características de las nuevas cargas a instalarse para que se tomen las medidas convenientes, cuando se preveen la presencia de tales fenómenos.
- Establecer un límite tolerable de las fluctuaciones de voltaje producidas por el usuario.
- Información de los estados transitorios y de la operación ciclica de la carga para prever cualquier problema.

CONCLUSION GENERAL

En el presente estudio realizado en este capítulo se observa un problema técnico - económico de mucha importancia que es la regulación de voltaje, cuya solución se tratara de encontrar en el capítulo siguiente.

CAPITULO III

MEJORAS DE LA REGULACION DE VOLTAJE

Y RECOMENDACIONES

3.1.- TIPOS DE VOLTAJES Y RECOMENDACIONES PARA SU UNIFORMACION

En el capítulo anterior se hizo referencia a los voltajes de distribución tanto en alta como en baja tensión del sistema de distribución de la ciudad de Ambato.

En lo que se refiere al voltaje en baja tensión no existe nin gún problema sobre diversidad de voltaje ya que normalmente se distribuye a 120 V y 208 V.

En alta tensión los voltajes de distribución son: 2,3 KV, - 4,16 KV, y, 13,8 KV, surgiendo en esta área el problema de la diversidad de voltajes.

La heterogeneidad de los voltajes de distribución dentro de un sistema representa un inconveniente para la operación eficiente del mismo, por la razones que a continuación se exponen:

- Necesidad de una constante vigilancia para cualquier cambio, modificación, reemplazo y mantenimiento.
- Exigencia de una mayor existencia de materiales de repuesto en bodega.
- Necesidad en bodega de un mayor espacio físico, ordenamiento y clasificación de los materiales en existencia.
- Una mayor inversión económica de los materiales de repuesto.

Por estas razones y otras, como la mejora de regulación de voltaje que se pueda obtener, hace pensar en la conveniencia de un voltaje único de distribución en la alta tensión de este sistema.

En nuestro país, gracias al acertado criterio de INECEL, se tiende a uniformizar los voltajes de distribución el alta tensión de los sistemas existentes. El nivel del voltaje seleccionado para este fin, por criterios técnico-económicos, es de 13,8 KV.

Como antes de la existencia de INECEL no había ningún organismo estatal encargado de regular el servicio de energía eléctrica a nivel nacional, existe actualmente en el país una diversidad de voltajes de distribución primaria, lo que constituye un lastre para el desarrollo de este importante servicio, por múltiples razones, entre las cuales podemos enumerar las siguientes:

- No permite un mejor aprovechamiento del material eléctrico existente en el país, como: transformadores, aisladores y otros - artefactos.
- Presenta un inconveniente para los planes nacionales de interconexión ya que se requiere una fuerte inversión para disponer de diversos tipos de subestaciones que adapten el voltaje de interconexión al existente en el lugar.
- Representa un fuerte elemento de costo por la gran inversión en material eléctrico que se necesitará para cambiar al nuevo voltaje estandarizado.

El criterio de unificar el voltaje de distribución en el país esta actualmente llevándose a la práctica y a corto o largo plazo,-

todos los sistemas nacionales de distribución primaria deben adoptar el nivel de 13,8 KV.

Por tanto, los voltajes de distribución de la ciudad de Ambato deben también uniformizarse, tomando como voltaje único de distribución, el de 13,8 KV, por la razones expuestas anteriormente.

El cambio de los voltajes primarios por un voltaje único, más alto que los existentes, representa una gran ventaja técnica como quedará demostrado en el análisis que a continuación se hace.

- Si se mantiene la misma carga y regulación de voltaje en el sistema permite incrementar la longitud de la red primaria en forma directamente proporcional al cuadrado de la relación entre el nuevo voltaje y el existente o antiguo.

$$L = L_o. (V_n/V_a)^2$$

L_o = Longitud inicial del primario

L = Longitud que puede tener el primario bajo el nuevo voltaje

V_n = Voltaje nuevo

V_a = Voltaje existente o antiguo.

- Manteniéndose la longitud y regulación de voltajes iniciales, la carga puede aumentarse proporcionalmente a la relación de los voltajes.

$$P = P_o. (V_n/V_a)$$

P_o = Potencia actual

P = Potencia nueva

- Con igual regulación de voltaje, hace posible un incremento

tanto en carga como en longitud del circuito. O sea, al incrementar se la distancia se cubre una mayor área servida.

- Cuando existe problemas de regulación de voltaje, el incremento de voltaje primario reduce la caída de voltaje en forma proporcional al cuadrado de la relación de voltajes.

$$\Delta V_n = \Delta V_a \cdot (V_a/V_n)^2$$

ΔV_n = Caída nueva de voltaje

ΔV_a = Caída antigua de voltaje

Explicando mas detenidamente este último efecto, que es el que nos interesa por el momento, la razón es la siguiente:

Bajo las mismas condiciones de carga y extensión del alimentador, al aumentarse en n veces el voltaje la corriente se reduce en la relación I/n .

De esto se deduce que:

$$\Delta V_n = \frac{Z \cdot I/n}{n \cdot V_a}$$

$$\frac{\Delta V_n\%}{\Delta V_a\%} = 1/n^2$$

$$n = V_n/V_a$$

$$\Delta V_n\% = \Delta V_a\% \cdot (V_a/V_n)^2$$

Para el caso del sistema de distribución primaria de Ambato, de acuerdo a lo expuesto, el cambio de voltaje produciría los siguientes resultados:

Si variamos el voltaje de 2,3 KV y 4,16 KV hasta 13,8 KV, la relación de voltajes sería: 6 y 3,32 respectivamente.

Para los primarios que actualmente se distribuyen a 2,3 KV, las posibilidades serian las siguientes:

- La carga servida podría incrementarse hasta 6 veces.
- La longitud del circuito podría incrementarse hasta 36 veces.
- La caída de tensión se reduciría hasta $1/36$, mejorando notablemente la regulación.

Para los primarios que se distribuyen a 4,16 KV las posibilidades serian las siguientes:

- La carga puede incrementarse hasta 3,32 veces.
- La longitud de circuito puede incrementarse aproximadamente has 11 veces.
- La caída de tensión se reduciría hasta $1/11$, también para este caso la mejora de la regulación seria notable.

Desde el punto de vista técnico, el incremento del voltaje so lucionaría prácticamente nuestro problema, pero económicamente tiene serios inconvenientes.

3.1.1.- INCONVENIENTE PARA LA ELEVACION DEL VOLTAJE PRIMARIO

El nivel del voltaje primario es un parámetro del sistema - que incide directamente en el costo, en el diseño y en la operación del mismo.

Si el nivel del voltaje primario es incrementado en un valor apreciable, como se anotó en parrafos anteriores, el principal inconveniente con el que se encontraría es el costo elevado que ocasionaría tal cambio.

Necesariamente para llevar a la práctica el cambio de voltaje deben analizarse con mucho cuidado los siguientes factores de costo:

- En el diseño tendrían que modificarse los siguientes elementos: subestaciones, estructuras, espaciamentos, distancias a edificios, otros.
- Cambios de los aparatos eléctricos no adecuados al nuevo voltaje tales como transformadores, cruzetas, aisladores, subestaciones, otros.
- Modificación del sistema de mantenimiento y equipo usado.

Estos factores representan fuertes inversiones que limitan esta práctica.

Este método aplicado con el único objeto de mejorar la regulación de voltaje es sumamente caro y no es recomendado en ningún caso.

Para poder aplicar el cambio de voltaje primario tendrían que existir otras razones que lo justifiquen, tales como un alto índice de crecimiento de las cargas, una acelerada extensión de las áreas servidas, etc..

3.1.2.- RECOMENDACIONES

Es conveniente que la Empresa Eléctrica Ambato inicie el cambio de los voltajes de distribución primaria al voltaje único de 13,8 KV, por las siguientes razones que lo justifican:

- Uniformación de los voltajes de distribución primaria.
- Satisfacer la creciente demanda de energía.
- Cubrir las nuevas áreas de carga, creadas por la acelerada ex

tensión de la ciudad.

- Prepararse para recibir la energía del proyecto Pisayambo que entró ya en etapa de ejecución.
- Cumplir con el objetivo nacional de tener un voltaje único de distribución primaria.
- Mejorar su regulación de voltaje.

Por el fuerte costo que representa este cambio se recomienda realizarlo en forma paulatina, comenzando primero por cubrir las nuevas áreas de demanda con circuitos para este voltaje, retirar paulatinamente los circuitos a 2,3 KV y reemplazarlos por otros al nuevo voltaje. En forma similar para los circuitos a 4,16 KV.

Como esta solución demoraría algunos años para su ejecución en el presente estudio, la dejamos únicamente como una recomendación a largo plazo.

3.2.- ALTERNATIVAS PRINCIPALES PARA LA MEJORA DE LA REGULACION DE VOLTAJE

La mejora en la regulación de voltaje puede ser ejecutada por varios métodos. Un análisis de todo ellos resultaría muy extenso, razón por la cual nos limitaremos a estudios unos pocos de ellos, a fin de elegir el mejor o los mejores para solucionar nuestro problema en forma inmediata.

Es necesario aclarar que cada método tiene su forma propia de resolver el problema y no se puede decir cual de ellos es el más óptimo. Depende esencialmente de como se presente el problema.

En ciertas ocasiones una solución es óptima para un caso y la misma puede no ser óptima para otro caso.

Uno de los factores limitantes para la aplicación de un método u otro es el económico. Por lo cual es conveniente hacer un análisis económico que nos indique el costo por cada voltio mejorado. La relación del costo con respecto a la mejora de voltaje obtenida, es un índice que nos sugiere el método más económico, pero no establece si es el más conveniente.

Otro criterio que orienta hacia el método mas adecuado es la elasticidad que presenta para ejecutar la mejora de la regulación.

Tomando en cuenta estas observaciones, procedemos a estudiar algunos de estos métodos.

3.2.1.- CAMBIO DE CONDUCTORES

La impedancia que presenta un circuito, es un factor que influye notablemente en la caída de tensión y por consiguiente en la regulación de voltaje de ese circuito.

Si la carga de circuito permanece constante, la caída de tensión en el circuito va depender esencialmente de su impedancia. Si la impedancia disminuye, la caída de tensión dentro del circuito es menor y la regulación se mejora.

La forma de disminuir la impedancia es aumentando el calibre de los conductores que forman parte del circuito.

Un incremento en el calibre de los conductores representa una disminución de la resistencia y la reactancia.

Con el objeto de tener una idea de la variación de estos parámetros, presentamos la tabla 3-1, que nos indica la resistencia y la reactancia por cada kilómetro de un circuito de conductores paralelos y coplanares con un espaciamiento de 40 centímetros entre los conductores.

Haciendo un análisis comparativo entre el peso, la resistencia y la reactancia, para variaciones de calibre desde el número 1/0 a 4/0 a WG se ha obtenido los siguientes resultados:

Cond. Nº AWG	Peso Kg/Km	Ra Ω /Km	Xa Ω /Km	Xb Ω /Km	Xt Ω /Km
1/0	463	0,377	0,340	0,0217	0,3617
2/0	587	0,300	0,330	0,0217	0,3517
3/0	733	0,237	0,320	0,0217	0,3417
4/0	930	0,188	0,313	0,0217	0,3347
250.000	1.100	0,160	0,298	0,0217	0,3197
300.000	1.320	0,134	0,295	0,0217	0,3167

TABLA 3-1

Al variar el calibre de un 1/0 a 2/0, el peso aumenta en un 26%, la resistencia disminuye en un 20% y la reactancia disminuye en un 3% cuando se varía de 1/0 a 3/0, el peso aumenta en un 58,5% la resistencia disminuye en un 37% y la reactancia en un 6%.

Si variamos de 1/0 a 4/0, el peso aumenta en un 100%, la resistencia disminuye en un 50% y la reactancia en un 8,5%.

En la figura 3-1 se puede analizar las mejoras que obtendríamos en la regulación de voltaje con este cambio de conductores.

de esta figura se obtiene que, para una variación de calibre de 1/0 a 4/0, la regulación de voltaje mejoraría en 1,5. Explicando mejor, diríamos que la caída de voltaje se reduciría a los 2/3 de la anterior. Por ejemplo: Si la caída de voltaje anterior era del 12%, la actual se reduciría al 8% o sea se tendría una mejora del 4%.

De la tabla 3-1 también podemos observar que el cambio de un conductor, como el dado en el ejemplo anterior, implica que el peso del conductor se duplica y por tanto el costo del conductor con respecto al anterior sería el doble.

Además sería necesario un análisis de los otros elementos de la línea tales como: aisladores, cruceetas, postes, etc., con el objeto de darse cuenta si tienen la suficiente resistencia mecánica - para soportar al nuevo conductor.

En general podemos decir que el cambio de un conductor por uno de mayor calibre implica los siguientes costos:

- Costo del nuevo conductor.
- Costo de los arreglos necesarios para la instalación del nuevo conductor.
- Costo del retiro del antiguo conductor y montaje del nuevo.
- Costos imprevistos.

RELACION DE CAIDA VOLTAJE DEL EXISTENTE AL NUEVO

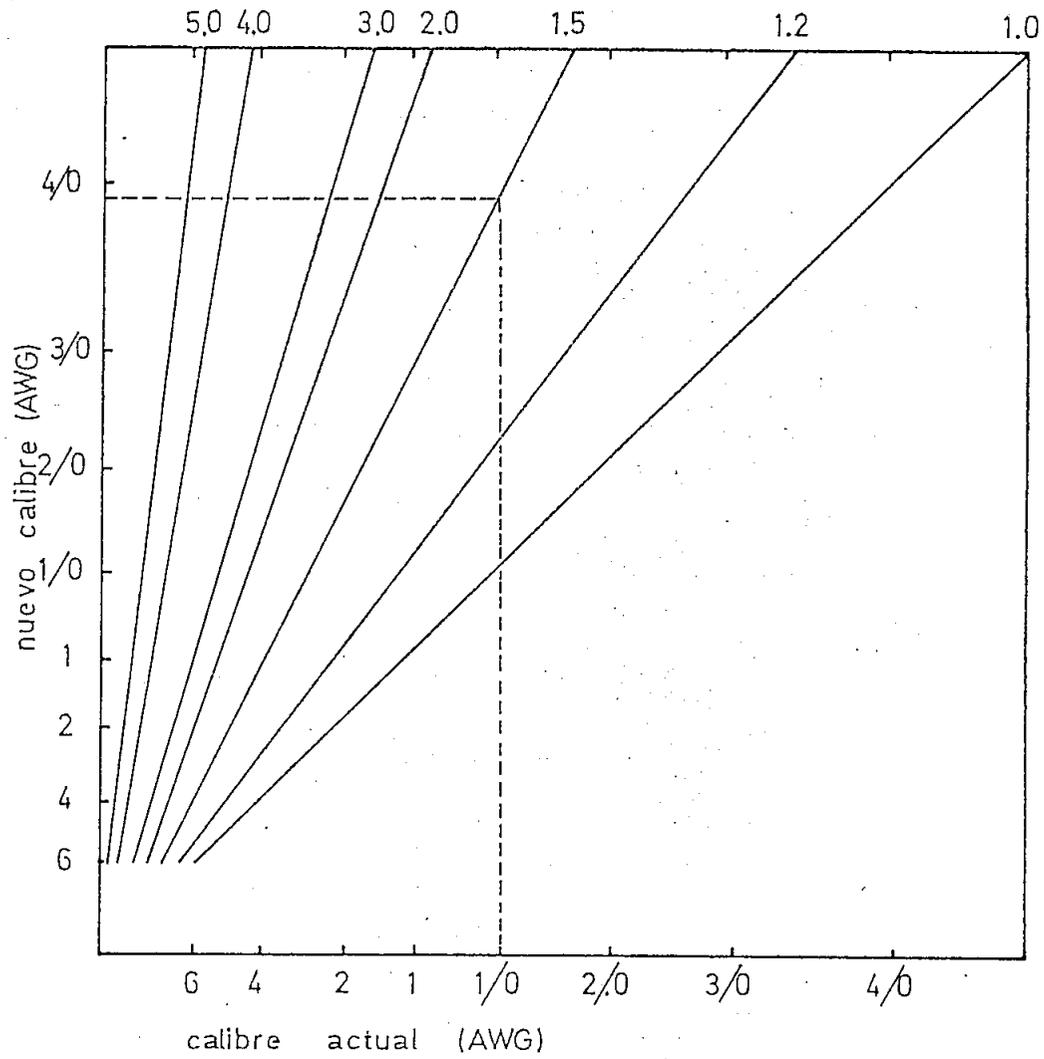


figura 3-1

Todos estos costos sumados dan un apreciable monto total que encarece notablemente este método.

Analizando las ventajas y desventajas de este cambio podríamos decir lo siguiente:

VENTAJAS

- Incremento de la capacidad del circuito.
- Mejora de la regulación.

DESVENTAJAS

- Representa un alto costo por cada voltio mejorado.
- Es un método rígido, no posee elasticidad porque la mejora en la regulación de voltaje es en un valor fijo para un calibre de conductor dado.
- Exige para aumentar la mejora de la regulación de un método complementario.

CONCLUSION

Para nuestro sistema en estudio podemos decir:
Este método no es recomendable puesto que nuestro objetivo principal es mejorar la regulación de voltaje.

Es un método aplicable solamente cuando se satisfacen otras exigencias tales como: aumento de la capacidad del circuito, extensión de área servida, un incremento notable de carga. Solo como efecto secundario puede mejorar la regulación.

3.2.2.- REUBICACION DE TRANSFORMADORES

En un sistema radial, como es el caso de nuestro estudio, ca-

3.2.2 Reubicación de transformadores
En un sistema radial, como es el caso de nuestro estudio, cada transformador sirve un tramo de la red secundaria.

Es importante que cada transformador se encuentre bien ubicado en el tramo de red que sirve, permitiendo evitarse caídas innecesarias de voltaje que desmejora la regulación.

Su ubicación adecuada es en lo posible en el centro de gravedad de la carga.

Cuando un transformador está mal ubicado o su capacidad no es la necesaria debe procederse a solucionar este problema.

Si la capacidad del circuito servido lo permite se cambia el transformador sobrecargado por otro de mayor capacidad, sino lo permite es necesario añadir otro transformador y dividir entre los dos la carga del secundario obteniéndose un pequeño porcentaje de mejora de la regulación.

Para la reubicación de los transformadores es indispensable disponer de datos de carga de los mismos y de los ramales de la red secundaria que sirve, datos que en el capítulo precedente aclaramos que no se disponen.

La ventaja de este método es su bajo costo en comparación a cualquier otro método la desventaja está en que la mejora que se puede tener es muy pequeña.

CONCLUSION

En el presente caso es imposible aprovecharse en absoluto de este método por no disponer de los datos necesarios.

Sin embargo, se recomienda que este método debe tomarse en cuenta para un futuro mediano.

3.2.3.- CAMBIO DE SISTEMA DE DISTRIBUCION

Un sistema de distribución comprende, el circuito primario o de alta tensión, el circuito secundario y los transformadores de distribución.

Los sistemas de distribución tanto en alta como en baja tensión son de varios tipos entre los que indicaremos los siguientes:

- Radial simple.
- Radial con interruptores de enlace y seccionamiento.
- Radial con alimentador expreso.
- Radial en anillo, con interruptores de enlace.
- Red mallada
- Red banqueada

Existen algunas otras variantes de estos sistemas de distribución, dependiendo del objetivo que se trate de cumplir.

RED DE ALTA TENSION

En el capítulo segundo ya se indicó el tipo de red de esta ciudad. El problema que tratamos de dilucidar es la mejora de regulación de voltaje que obtendríamos al pasar de un sistema de distribución a otro.

El problema enfocaremos de la siguiente manera a fin de no extendernos innecesariamente, analizaremos los siguientes aspectos de cada cambio: ventajas y desventajas en general y desde el punto de vista de la regulación, costo de este cambio y factibilidad de la ejecución.

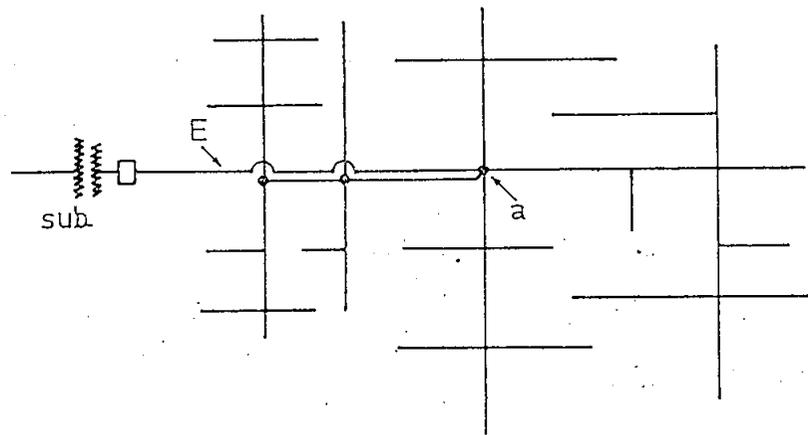
Además aclaramos que solo analizaremos los factores fundamentales y mas importantes sin énttrar en detalles minuciosos que no es el objetivo de este trabajo.

3.2.3.1.- CAMBIO DEL SISTEMA ACTUAL AL RADIAL CON EXPRESO

El sistema radial con expreso fundamentalmente consiste en un primario troncal que parte desde la subestación hasta el centro de gravedad de la carga, punto desde el cual se realiza la distribución radial, retornando un ramal hacia la subestación en forma paralela al troncal, sirviendo de esta manera las cargas que se encuentran en esta área. Un esquema de este sistema de distribución podemos observar en el diagrama unifilar de la fígura 3-2.

VENTAJAS DE ESTE SISTEMA

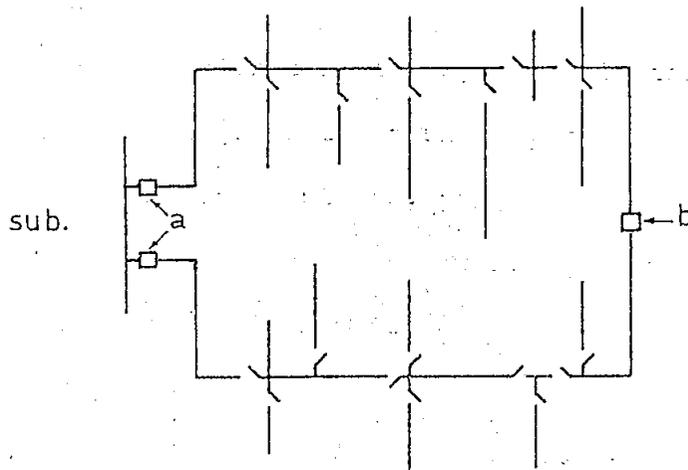
- Para iguales condiciones de carga, esta disposición mejora la regulación de voltaje hasta en un 40%, si comparamos con el sistema que actualmente se utiliza, ya que, el tramo que soporta toda la carga es corto y de gran calibre y la carga en los demás ramales también disminuye.
- Usando un regulador de voltaje en la subestación podemos controlar el voltaje en el centro de carga. En horas de demanda máxima podemos elevar el voltaje para obtener en los puntos de consumo un voltaje próximo al valor nominal.
- Con una regulación igual a la del sistema en funcionamiento y en condiciones similares de ramales laterales, sublaterales y carga, la capacidad del sistema se incrementa pudiendo llegar



a--centro de cara
E--expreso

SISTEMA RADIAL CON EXPRESO

figura 3-2



a disyuntor de salida
b interruptor automático de enlace

SISTEMA RADIAL EN ANILLO

figura 3-3

hasta a duplicar.

- Para un porcentaje de regulación dado permite un ahorro en conductores o en calibre de conductores, comparándose con el sistema en uso.
- Para cada circuito expreso el área servida es mas extensa.

DESVENTAJAS

- La primera gran desventaja de este sistema es que no es adecuado para zonas en desarrollo, como es precisamente el caso de la ciudad de Ambato, por la dificultad que presenta el continuo desplazamiento del centro de gravedad de la carga. Este desplazamiento produce sobrecarga de algunos ramales, desmejorando el voltaje de los abonados servidos por éstos.
- Para tener una continuidad de servicio similar a la del sistema actual es necesario un mayor número de interruptores que aislen los tramos del red fallosa.
- Una falla en el alimentador troncal deja fuera de servicio toda el área servida por este circuito, con el agravante de que no es aconsejable el uso de interruptores de enlace con los circuitos adyacentes.
- Las mejoras obtenidas en la regulación son pequeñas y de un solo valor.

CONCLUSION

El objetivo principal de este trabajo es encontrar un método para la mejora inmediata de la regulación de voltaje.

Con este método la mejora es pequeña por lo que daría un alto costo por cada voltio mejorado.

Además se hace indispensable el uso de regulación suplementaria en la subestación con lo que encarece aún mas esta posibilidad.

De este se concluye que esta alternativa no es factible en la solución de nuestro problema.

3.2.3.2.- CAMBIO AL SISTEMA RADIAL EN ANILLO CON INTERRUPTOR DE ENLACE

Esta variante del sistema radial consiste en formar anillos con los primarios que salen de la subestación, tomados de dos en dos, cada par de primarios que forman el anillo se conecta entre si mediante un interruptor de enlace como se puede observar en la figura 3-3. De cada primario que forma parte de esta disposición parte dos ramales que cubren el área servida por dicho anillo.

El par de alimentadores al salir de la subestación pueden hacerlo a través de un solo interruptor automático o cada uno con su respectivo interruptor, siendo la disposición mas adecuada esta última, por una mayor seguridad de la continuidad de servicio.

La interconexión entre los dos alimentadores es posible hacerlo mediante un interruptor automático o con un seccionador de enlace.

VENTAJAS

Cuando opera el lazo normalmente cerrado se mejora notablemente la regulación de voltaje por reducirse a un mínimo la caída de tensión en el sistema.

- El área servida es más extensa que en el sistema actual.
- Los ramales derivados son en menor número que en el radial, surtiéndose un ahorro en conductores.
- Es mejor la continuidad del servicio.

DESVENTAJAS

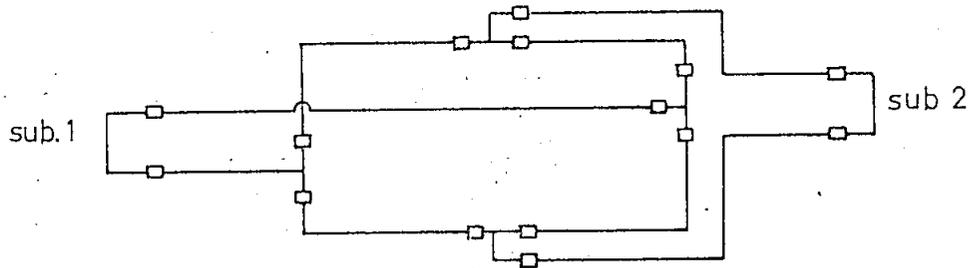
- Es un sistema de poco uso por el alto costo que demanda.
- Para mejorar la continuidad de servicio es indispensable el uso de gran número de interruptores automáticos lo que encarece aún más este sistema.
- Normalmente este sistema se opera con el interruptor de enlace abierto para evitar el peligro de alimentación por dos puntos, esto hace que las ventajas que se obtienen se minimicen.
- Es aconsejado en áreas de alta densidad de carga.

CONCLUSION

Análisis económicos y técnicos realizados por compañías con amplia experiencia en el servicio eléctrico han demostrado que las ventajas técnicas obtenidas con este sistema no justifican la fuerte inversión que requiere. Por esta y otras razones establecemos que no es factible el cambio a este sistema.

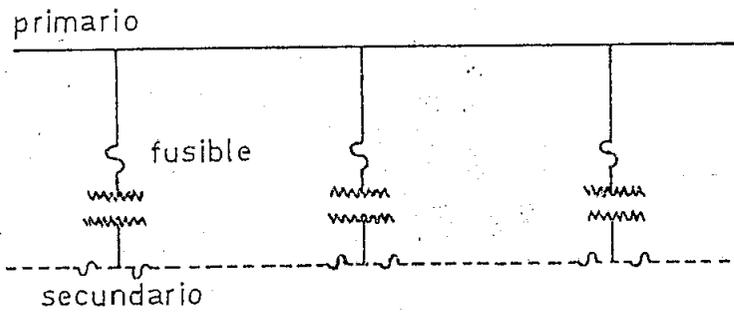
3.2.3.3.- CAMBIO AL SISTEMA MALLADO

El sistema mallado primario se forma interconectando varios alimentadores primarios alimentados desde varias subestaciones como se puede observar en la figura 3-4.



SISTEMA PRIMARIO MALLADO

figura 3-4



SISTEMA BANQUEADO

figura 3-5

Cada alimentador interconectado debe tener su respectivo interruptor automático. Además es indispensable el uso de gran número de interruptores automáticos en diferentes puntos de la malla formada.-

VENTAJAS

- Este sistema provee de una excelente regulación y continuidad de servicio.
- Tiene una amplia capacidad de suministro de energía.

DESVENTAJAS

- El diseño y operación de este sistema es muy complicado.
- Económicamente representa una fuerte inversión inicial y en mantenimiento.
- Solo se justificaría en áreas de muy alta densidad de carga, que no es el caso presente.
- No se puede aprovechar la experiencia de otras empresas de servicio eléctrico por la poca difusión de este sistema inclusive en los Estados Unidos.

CONCLUSION

El cambio a este sistema de distribución no es factible por el alto costo, la complejidad y la falta de experiencia que se tiene en nuestro país respecto a esta forma de distribuir la energía en alta tensión.

RED SECUNDARIA

La red secundaria comprende el transformador de distribución, los circuitos secundarios, las acometidas y el medidor de energía.

La distribución secundaria es un factor que afecta a la regulación y es indispensable prestar la adecuada atención para que la calidad del voltaje no se vea afectada en este importante sector.

Entre los sistemas de amplio uso en distribución secundaria están: El radial, el banqueado, y el mallado.

Ya habíamos indicado que la red de la ciudad de Ambato es radial y se encuentra una parte en buen estado y el resto en un proceso de cambio.

Si con el objeto de mejorar la regulación cambiáramos por un nuevo sistema de distribución, entre las alternativas que tendríamos sería cambiar por sistemas mallados o banqueados.

En forma similar que para la red de alta tensión, estudiaremos los puntos mas importantes de estos sistemas, sus ventajas y sus desventajas.

3.2.3.4.- CAMBIO AL SISTEMA BANQUEADO

El banqueo de un sistema radial consiste en conectar en paralelo los secundarios de todos los transformadores servidos por el mismo primario como se puede observar en la figura 3-5.

Existen varias disposiciones de una red banqueada: en forma linal, en lazo, en forma de malla.

Pasar a este sistema desde el sistema radial es relativamente sencillo, basta conectar entre si circuitos secundarios servidos por el mismo primario y agregarse los elementos de rrotección tanto en el lado primario como en el secundario de los transformadores.

VENTAJAS

- Hay una mejora notable en la regulación de voltaje y en la continuidad del servicio.
- Evita la fluctuaciones de voltaje por cambios bruscos de carga y arranque de motores.
- Permite una economía en capacidad de transformadores y calibre de conductores en comparación con el sistema actual por la diversificación de las cargas servidas.
- Es un sistema flexible y facilita el servicio a nuevas áreas.

DESVENTAJAS

- La confiabilidad de este método depende esencialmente del sistema de protección utilizada.
- Al existir varios caminos de alimentación las corrientes de cortocircuito son grandes.
- Es mas largo el tiempo de localización y reparación de fallas, o sea, requiere un mayor mantenimiento.
- Su funcionamiento es óptimo cuando las características y capacidad de los transformadores banqueados son similares.

CONCLUSION

De lo expuesto anteriormente se concluye, que aunque este sistema presenta ventajas para la regulación de voltaje, su aplicación daría ciertas dificultades por la diversidad de transformadores existentes en nuestro sistema.

Solamente dejaremos sentada como una sugerencia a la Empresa para que se analice esta posibilidad.

3.2.3.5.- CAMBIO AL SISTEMA MALLADO

El sistema mallado secundario se realiza conectandose la red de baja tensión en forma de grillas o mallas. Los transformadores que van conectados a estas mallas son alimentados por diferentes primarios como se puede observar en la figura 3-6.

El sistema mallado puede ser aéreo y subterráneo.

VENTAJAS

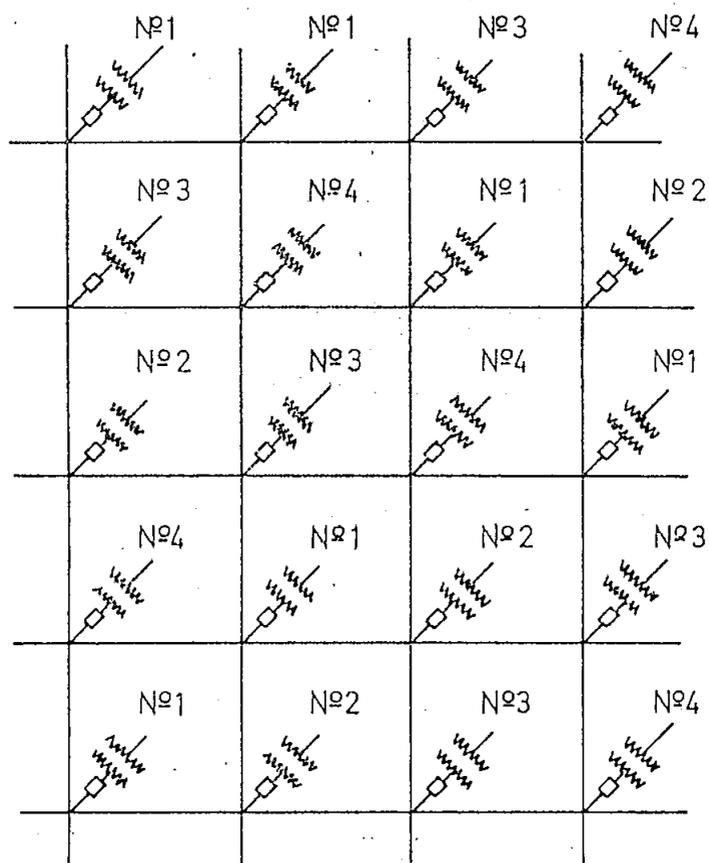
- Ahorro en capacidad de transformadores y en calibre de conductores.
- Notable incremento en seguridad y continuidad de servicio.
- Flexibilidad para la atención de nuevas cargas y extensión de la red.
- Practicamente la calidad de voltaje es única en toda el área.
Excelente regulación.

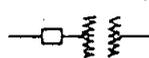
DESVENTAJAS

- Se usan solamente en áreas de gran densidad de cargas, del orden de 300 KVA a 1.200 KVA/300 m.
- El costo inicial es muy alto en comparación con el sistema actual y cualquier otro sistema.
- El sistema de protección es muy complejo y requiere de elevadas inversiones.
- El costo de mantenimiento es mucho más caro.

CONCLUSION

La ciudad de nuestro estudio, no posee una densidad de carga,




 Nº1 transformador conectado al alimentador Nº1

SISTEMA MALLADO SECUNDARIO

figura 3-6

que justifique el uso del sistema mallado con todo su gran costo inicial y las complicaciones que ocasionaría el paso a este sistema.

Por tanto no es factible pasar a esta alternativa, porque prácticamente se tendría que dejar inservible la red actual y no hay una razón que eso justifique.

CONCLUSION GENERAL SOBRE EL CAMBIO A OTRO SISTEMA DE DISTRIBUCION

Todo sistema de distribución representa un fuerte elemento de costo para las respectivas Empresas. La inversión está en el orden del 38% al 60% del total de las inversiones de la Empresa.

Este porcentaje da una idea clara de la importancia que tiene el sistema de distribución de la energía para una Empresa.

Por la fuerte inversión que representa, la Empresa tiene que procurar el máximo rendimiento económico de las instalaciones existentes.

La solución de un problema como la regulación de voltaje no es razón suficiente para producir modificaciones totales o parciales de la red existente, pues, hay otros medios más económicos que cumplen este objetivo.

3.2.4.- ZONIFICACION DE LAS CARGAS

En la planificación de la distribución de la energía eléctrica se prevén los tipos de carga que se tendrán en las respectivas áreas servidas.

La planificación zonificada de las cargas es la agrupación de las cargas de características similares en zonas bien definidas, -

por ejemplo: zonas, residenciales de primera, segunda, tercera; zonas comerciales de primera, segunda; zonas industriales: industria pesada, industria liviana.

Las zonificación de las cargas tiene sus ventajas y también sus desventajas. Analizaremos cada una de ellas por separado.

VENTAJAS

- Evita la continuas fluctuaciones de voltaje en zonas comerciales y residenciales, por ausencia de grandes cargas inductivas en sus circuitos.
- El factor de potencia en los alimentadores que sirven zonas comerciales y residenciales es mejor por la ausencia de grandes reactancias.
- Permite prever el uso de subestaciones que entreguen alimentadores de características similares facilitándose la regulación desde la subestación sin necesidad de equipo de regulación suplementaria, problema que se presenta cuando las características de los alimentadores que salen de la subestación son diferentes.
- En zonas comerciales y residenciales da lugar al ahorro en cable de conductores por la ausencia de grandes cargas concentradas.
- Minimiza el problema del desequilibrio de las cargas.
- Se puede mejorar la continuidad del servicio de acuerdo a las necesidades específicas de las cargas servidas. Para zonas industriales la continuidad se asegura alimentandose con dos circuitos.

cuitos separados.

- Evita problemas de ecología e higiene ambiental. Como las cargas industriales siempre producen residuos, desperdicios y ruidos, que son nocivos para la salud humana, éstas no deben encontrarse en áreas comerciales y residenciales.

DESVENTAJAS

- No favorece a la diversidad de carga, disminuyéndose el aprovechamiento económico de las instalaciones de todo el sistema.
- Da lugar a una discriminación en la calidad del servicio eléctrico por el esmero y preferencia de servir a las cargas mas importantes.

CONCLUSIONES

En la ciudad de Ambato existe una mezcla total de las cargas industriales comerciales y residenciales.

Las cargas industriales toman la energía directamente de la alta tensión a través de transformadores propios o alquilados a la Empresa, pero de los mismos alimentadores que sirven el resto de cargas. Esta forma de efectuar el servicio entorpece la calidad del voltaje de este sistema.

Se anoto que la zonificación de cargas favorece a la calidad y regulación de voltaje. Pero el problema de la zonificación de cargas no es nada sencillo, si tomamos en cuenta que el desarrollo urbanístico de la ciudad no estuvo sujeto a ninguna norma ni control de parte de la autoridades municipales lo que hace practicamente imposible pensar en la solución de este problema en forma inmediata.

Lo que se puede sugerir es que la Empresa en colaboración con el municipio, paulatinamente establezca una zonificación de cargas.

El Consejo Provincial del Tungurahua tiene el proyecto de construir un parque industrial, agrupando toda la industria en una zona determinada. Con este objeto obtuvo la visita de un observador técnico de la Naciones Unidas que realizó investigaciones del potencial industrial de la provincia.

Este proyecto haría mucho bien a la ciudad y favorecería a la solución del problema de zonificación de cargas.

3.2.5.- REUBICACION Y AUMENTO DE SUBESTACIONES

Como se observo en el diagrama unifilar de la figura 2-2 del capítulo anterior parte de la distribución de alta tensión se ejecuta directamente desde las centrales "Miraflores" y "El Batán" que se encuentran muy proximas. Las dos centrales tienen una potencia instalada de 5.347,5 KVA. Pero la central "El Batán" funciona a plena capacidad solo en las horas de demanda máxima y el resto de tiempo funciona con poca carga.

La central "La Península" entrega su energía a la subestación Nº 1 a 6.900 voltios. En esta subestación se reduce el voltaje y se distribuye a la ciudad. La potencia instalada de esta central es de 3.750 KVA y la potencia de la subestación es de 6.000 KVA, mas dos transformadores, el uno de 1.000 KVA y el otro de 2.500 KVA que sirven para la interconexión con la subestación "Ambato" que recibe la energía de la provincia del Chimborazo.

Practicamente, en la actualidad se puede decir que única subestación de distribución de la ciudad de Ambato es la N° 1, pues, la carga que entrega la otra subestación dentro de la ciudad es mínima.

La subestación "Ambato" tiene una capacidad de 5.000 KVA, recibe la energía de la central "Alao" a 69 KV, reduce la tensión y entrega la energía a algunas parroquias y cantones de la provincia y a un mínimo sector de la ciudad aplicando criterios similares a los establecidos hasta aquí analizaremos la factibilidad de reubicar la subestación o aumentar subestaciones.

3.2.5.1.- AUMENTO DE SUBESTACIONES

La subestación N° 1 tiene una capacidad suficiente para soportar la carga actual y mantiene una capacidad de reserva que puede ser aprovechada por algunos años.

Las facilidades que presenta para la regulación de voltaje es deficiente, se reduce a cambiadores de derivaciones en forma manual y en vacío.

También las subestaciones "Ambato" posee capacidad suficiente para soprtar la carga presente y futura. Esta subestación será la entrada de la energía del proyecto Pisayambo, cuando Ambato entre a formar parte del Sistema Centro-Norte. Tampoco esta subestación tiene facilidades para una regulación automática de voltaje.

Tomando en cuenta la capacidad de las dos subestaciones llegaría a 11.000 KVA, lo que daría un margen de reserva para satisfacer demandas duras por algunos años. Si existe capacidad suficiente en

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACION N°1 (loreto)

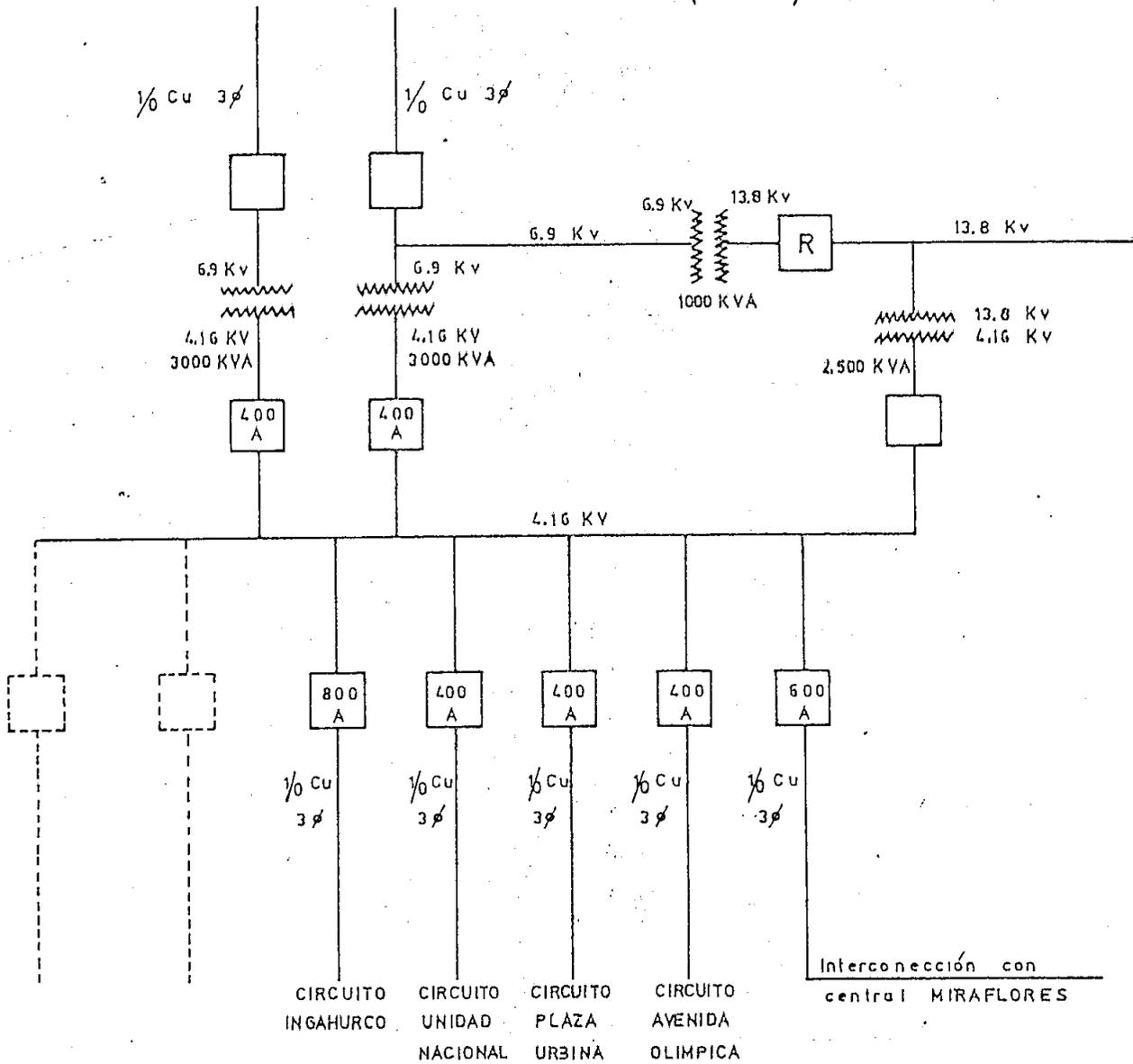


FIGURA 3-7

65 A

SUBESTACION "AMBATO"

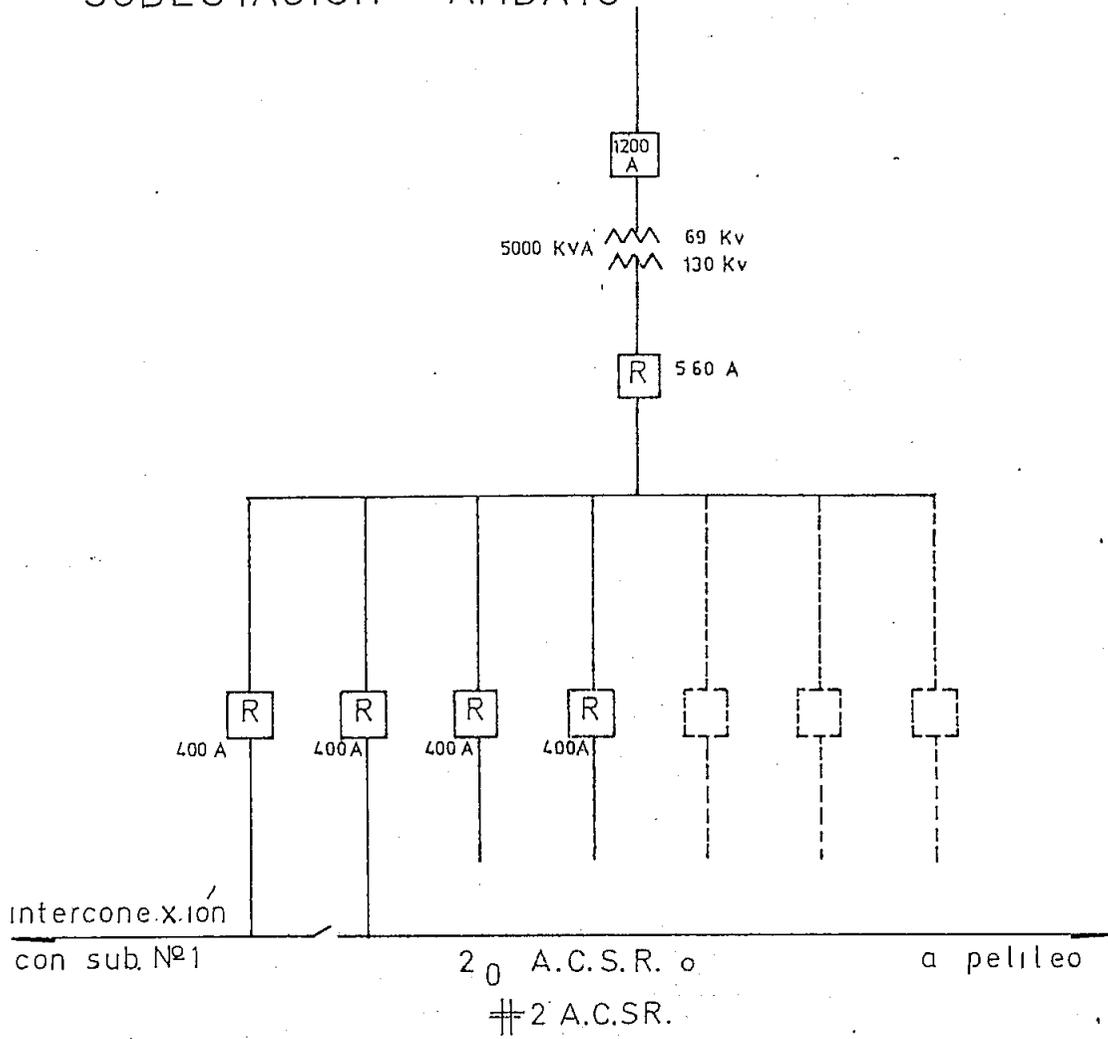


FIGURA 3-8

las subestaciones no resulta conveniente pensar en un aumento de las mismas, tomando en cuenta que la inversión es bastante fuerte.

Podemos hacer algunas recomendaciones tendientes a lograr alguna mejora en el servicio:

- Es importante que la subestación "Ambato" asuma cada vez mayor carga dentro de la ciudad, lo que daría como resultado una doble ventaja:
 - Frenaría la expansión de los circuitos a 4,16 KV y 2,3 KV, facilitando el panorama para una futura uniformación de los voltajes.
 - Se tendría un mejor aprovechamiento técnico-económico de sus instalaciones.

3.2.5.2.- REUBICACION DE LAS SUBESTACIONES

Reubicar una subestación representa:

- Cambiar físicamente de lugar, llevándola a otro sitio más adecuado.
- Un reordenamiento de los circuitos primarios y parte de los circuitos secundarios servidos por la subestación reubicada.

Para proceder a la reubicación de una subestación tienen que existir razones que justifiquen plenamente esta medida, entre las cuales mencionaremos las siguientes:

- Extensión muy grande de los primarios por la mala ubicación de la subestación.
- Exesivas pérdidas de energía y de tensión por la razón anterior.

- Contraste muy grande con la estética del lugar. Molestias por el ruido y peligro de accidentes.

Estas condiciones no se dan en el caso de las subestaciones de Ambato la ubicación actual es la óptima, por lo menos es aceptable.

Por lo tanto concluimos que no es conveniente una reubicación de las subestaciones.

A las razones anteriores podemos agregar las siguientes:

- Un extenso sector de la ciudad quedaría sujeto a recibir energía en condiciones de emergencia durante el tiempo que dure este trabajo.
- El porcentaje de mejora en la regulación es pequeño.
- El costo que implica esta medida es apreciable.
- Se requiere regulación suplementaria si el problema de regulación persiste.

3.2.6.- EMPLEO DE CONDENSADORES

3.2.6.1.- EMPLEO DE CONDENSADORES EN PARALELO

Las cargas conectadas a un sistema, consumen dos clases de potencia: la potencia activa y la potencia reactiva. Estas dos clases de potencia necesariamente tienen que ser suministradas por el sistema. La potencia activa debe ser entregada por las centrales de generación, la otra potencia puede ser suministrada por las mismas centrales o por otros dispositivos como condensadores estáticos o rotatorios (motores sincronicos sobrecitados) en paralelo.

La función esencial de los capacitores en paralelo en el lugar donde se los ubique es la de suministrar VAR al sistema en el que fueron conectados.

La relación de las potencias activa y reactiva da el llamado factor de potencia.

La acción de los condensadores en paralelo estará dirigida a un sistema donde se tenga un factor de potencia atrasado.

Por motivos económicos, en los sistema de distribución se usan capacitores en paralelo, generalmente en el lado de alta tensión.

Los condensadores conectados en paralelo entre otros efectos producen una elevación del nivel del voltaje, en el lugar donde son instalados, alcanzandose el máximo valor en este punto. Desgraciadamente la elevación del nivel del voltaje que se obtiene es independiente de las condiciones de carga, lo que puede ocasionar problemas en condiciones de carga ligera.

Con una aproximación adecuada para trabajos prácticos, el incremento máximo de voltaje dado por estos condensadores se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$V = \frac{(KVAR) \cdot (d) \cdot (X)}{10 (KV)^2}$$

V = Incremento porcentual de voltaje

d = Distancia del lugar de instalación a la subestación o a la fuente de energía.

KVAR = Potencia reactiva del banco de capacitores

Para que un banco de condensadores en paralelo cumplan satisfactoriamente la función de mejorar el voltaje es indispensable conocer el voltaje a plena carga y a carga ligera en el lugar de su instalación (se considera como carga ligera, un tercio o menos del valor a plena carga).

En condiciones de carga ligera se produce un factor de potencia adelantado y una elevación de voltaje en las cargas próximas al banco de condensadores. Para obviar esta dificultad se usan bancos de condensadores equipados con un conmutador automático bajo carga que posee reles detectores de las condiciones de voltaje. Este conmutador automático desconecta del circuito en forma escalonada todo o parte del banco de condensadores o viceversa de acuerdo a las condiciones de voltaje existentes.

Analicemos las ventajas y desventajas que puede representar el uso de condensadores en paralelo en un sistema de distribución.

VENTAJAS

- Eleva el nivel de voltaje en la carga por disminución de la caída de tensión en el circuito.
- Disminuye la componente atrasada de la corriente dentro del circuito.
- Mejora de la regulación de voltaje.
- Liberación de capacidad en el sistema.
- Disminución de los KVA de carga en las fuentes de generación.
- Reducción de las pérdidas de energía $I^2 R$ e $I^2 X$.

- Mejoramiento del factor de potencia en las fuentes de generación y circuitos.

DESVENTAJAS

- El incremento de voltaje es limitado.
- Bajo cargas ligeras puede haber sobrevoltajes en las cargas próximas a las instalaciones de condensadores.
- El costo se incrementa notablemente al requerirse conmutación automática escalonada.
- Puede hacerse necesaria una regulación suplementaria.

CONCLUSION

El sistema de producción de la energía hidráulica de Ambato prácticamente se encuentra copado. Esta energía es más económica que la obtenida en las central técnica.

Además se ha visto en la necesidad de comprar energía a la provincia del Chimborazo.

El uso de condensadores en el sistema de distribución por las razones expuestas anteriormente liberaría capacidad para generar energía activa en las centrales hidráulicas que son la base de la energía distribuida en la ciudad.

La energía así obtenida sería más económica y se compraría a la provincia del Chimborazo menor cantidad de energía.

Por estas razones conviene analizar esta alternativa de una forma más detenida.

3.2.6.2. = EMPLEO DE CONDENSADORES EN SERIE

En un circuito de corriente alterna generalmente hay reactancias inductivas las cuales pueden ser canceladas total o parcialmente mediante reactancias capacitivas.

En el capítulo anterior habíamos dado que, aproximadamente la caída de voltaje en un circuito viene dada por la siguiente ecuación:

$$\mathcal{E} = I.R.\cos \phi + I.X_L \text{ sen } \phi$$

Si en el circuito conectamos un capacitor en serie equivale a introducir una reactancia capacitiva X_C . El efecto, se demuestra en la siguiente ecuación:

$$\mathcal{E} = I.R.\cos \phi + I.(X_L - X_C) \text{ sen } \phi$$

Si la magnitud de X_L y X_C es la misma, éstas se cancelan y la caída de voltaje se reduce al valor de:

$$\mathcal{E} = I.R.\cos \phi$$

Este es el efecto que se logra con el uso de los capacitores en serie.

Veamos algunas de las ventajas que tiene la aplicación de los condensadores en serie en un circuito:

- Reduce la caída de voltaje producida por la reactancia inductiva del alimentador.
- El incremento de voltaje o la mejora de voltaje es proporcional a la magnitud de la corriente que lo atraviesa.
- Carece de inercia en la variación del voltaje que produce, - es decir, éste crece simultáneamente como crece la carga.

- Controla la fluctuaciones de voltaje debido a arranques de motores y otros artefactos.

Analicemos una de las desventajas.

- Causa efectos de resonancia en los circuitos donde se los instalan, los cuales son difíciles de controlar.
- Ofrece serios problemas en cuanto a su protección y operación se refiere.
- Existe poca experiencia en cuanto al uso de estos aparatos como reguladores de voltaje en distribución.

CONCLUSION

Por lo problemático que resulta la aplicación de los condensadores en serie descartamos esta alternativa para nuestro sistema en estudio.

3.2.7.- OTROS METODOS

Además de los métodos analizados y que han sido descartados por las razones expuestas a excepción de uno, existen otros métodos para la mejora de la regulación de voltaje. Entre estos podemos analizar los siguientes:

- 1.- Equipos de regulación de tensión en la subestación.
- 2.- Equipos de regulación suplementaria en los alimentadores.

El análisis de estos métodos se justifican por cuanto hasta este momento no hemos encontrado un método adecuado para una mejora inmediata del voltaje de nuestro sistema.

3.2.7.1.- EQUIPO DE REGULACION DE VOLTAJE EN LA SUBESTACION

El equipo de regulación de tensión en la subestación puede ser:

- Equipo de cambio automático de derivaciones bajo carga (L.T.C.)
- Reguladores de voltaje tipo "Estación"
- Reguladores de voltaje a la salida de cada alimentador.

3.2.7.1.1.- EQUIPO DE CAMBIO AUTOMATICO DE DERIVACIONES BAJO CARGA

Estos aparatos como su nombre lo indica cambia automáticamente las derivaciones de los transformadores de la subestación sin interrumpir el flujo de energía. Se construyen de ocho, dieciseis, treinta y dos pasos, siempre en forma escalonada, permitiendo así un rango de regulación de $\pm 10\%$, valor suficiente para solucionar cualquier problema de regulación.

Considerándose bajo el aspecto técnico, estos aparatos de maniobra escalonada bajo carga, son reguladores, pero, tomando en cuenta el aspecto constructivo van unidos solidariamente al transformador.

Ninguna de las subestaciones del sistema de distribución en estudio posee este tipo de mecanismos y como no es posible dotarlos por ser un aparato que viene montado desde la fábrica, este método queda descartado.

3.2.7.1.2.- REGULADORES DE VOLTAJE TIPO "ESTACION"

Los reguladores de voltaje tipo "estación" son aplicados a las barras de la subestación y controlan el voltaje de barras y por tan

to el voltaje de todos los alimentadores que salen de aquellas.

Estos reguladores controlan las variaciones de voltaje, manteniendo el voltaje de barras dentro de un valor predeterminado. Para una operación más eficiente se los calibra de tal forma que en las horas de carga pico se tenga un voltaje más alto para compensar la caída de tensión de los alimentadores. El rango de regulación es de $\pm 10\%$, dividido en 32 pasos escalonados.

Entre las ventajas de estos aparatos mencionamos las siguientes:

- Permite un diseño económico de los alimentadores primarios al mantenerse el voltaje a un nivel adecuado.
- Da una buena regulación del sistema.

Entre las desventajas indicaremos las siguientes:

- Para una eficiente regulación de barras es indispensable que las cargas sean equilibradas en cada uno de los alimentadores.
- Los alimentadores regulados tienen que poseer características similares de potencia, distancia a la primera carga, y al centro de gravedad de las cargas, ciclo de cargas coincidente, etc. Estas exigencias son difíciles de conseguir si las cargas servidas no tienen una adecuada zonificación.
- Cuando hay alimentadores de características diferentes es necesario agrupar aquellos que tengan características similares. Cada grupo tendrá sus propias barras y un regulador de voltaje tipo estación. Esta disposición incide fuertemente sobre el costo de este método.

- Por la imposibilidad de dar a cada alimentador una regulación de acuerdo a sus propias necesidades es indispensable muchas veces una regulación suplementaria.
- Es aconsejado para una subestación de gran capacidad y en zonas de alta densidad de carga.
- Es un método sumamente caro, por el alto costo del regulador, que es igual o mayor al de la subestación. Requiere una protección muy selecta.

CONCLUSION

Una regulación de voltaje mediante este tipo de reguladores no es aconsejado en nuestro sistema por no reunir las condiciones técnicas y por su muy alto costo.

3.2.7.1.3.- REGULADORES PARA CADA ALIMENTADOR

En este método se controla el voltaje de cada alimentador mediante un regulador de voltaje instalado en la subestación en el punto de arranque de cada alimentador. La instalación de esta forma de control de voltaje es aconsejada cuando los alimentadores son de características diferentes y en un número mayor de cuatro.

Entre las ventajas que ofrece este método se puede mencionar a las siguientes:

- Una regulación de acuerdo a las necesidades de cada alimentador.
- No necesitan que haya otros dispositivos de regulación en la subestación.
- Se alcanza un buen nivel de voltaje.

Entre sus desventajas mencionaremos las siguientes:

- Cuando son varios los alimentadores que parte de la subestación, su costo puede llegar a ser más alto, que el de la regulación de barras.
- Necesita una buena protección por ser un equipo caro.
- El mantenimiento tiene que ser frecuente y costoso.
- Es recomendado para alimentadores que sirven grandes cargas y en áreas de alta demanda.

CONCLUSION

De acuerdo a los principios expuestos anteriormente y analizando las características de nuestro sistema podemos establecer que tam poco este método es conveniente.

3.2.7.2.- EQUIPO DE REGULACION SUPLEMENTARIA.- REGULADORES DE LINEA

Se entiende por regulación suplementaria el uso de equipo de mejora de voltaje a lo largo de los primarios, o sea fuera de la subestación o de la central productora de la energía.

La regulación suplementaria puede ser realizada mediante los llamados reguladores de línea o también mediante bancos de transformadores en paralelo con o sin conmutación automática de su capacidad.

Los reguladores de línea para facilitar el crecimiento de la carga, se instalan antes del punto donde se establece el voltaje mí nimo permisible, dándose un margen de voltaje que permita el incremento de la carga en el alimentador.

El rango de regulación que se puede obtener mediante este método esta dentro del 4% al 10%.

Generalmente los equipos trabajan como elevadores del nivel de voltaje, siendo muy pocos los casos en los que se necesitan reducción de voltaje.

Los reguladores de voltaje tipo línea son construídos con un rango de regulación de $\pm 5\%$ y $\pm 10\%$, su aplicación depende del problema que se trate de solucionar.

La regulación suplementaria tiene una amplia aplicación en solucionar los problemas de regulación, gracias a las múltiples ventajas que tiene, entre las cuales podemos anotar las siguientes:

- Tiene un bajo costo en comparación de otros métodos de mejora de voltaje.
- Se tiene una regulación más selectiva en el punto donde se hace necesaria y en la magnitud que exige cada caso particular.
- Es independiente para cada circuito y no interfiere en el funcionamiento de los otros alimentadores.
- Es aplicable, tanto en sistemas pequeños como en sistemas grandes.
- Su aplicación y mantenimiento es más fácil que para otros reguladores.
- Da una regulación elástica.
- El equipo va montado sobre postes en forma similar a los transformadores.

Las desventajas que presentan son las siguientes:

- Se construyen para potencias limitadas de 12 a 170 KVA.
- Si la caída de tensión en la línea se debe a un bajo factor de potencia, estos aparatos no eliminan la verdadera causa.

CONCLUSION

Por las razones expuestas anteriormente, por la facilidad de su aplicación a sistemas radiales como es el caso de nuestro estudio, consideramos ésta es otra alternativa conveniente para la mejora de la regulación en el sistema de distribución de la ciudad de Ambato.

RESUMEN

Las alternativas seleccionadas como posibles son: el uso de condensadores en paralelo y el uso de reguladores de voltaje a lo largo de los primarios. Estas alternativas serán estudiadas más detenidamente a fin de seleccionar las más convenientes.

3.3.- COSTOS EN LA EJECUCION DE LAS MEJORAS CON ALTERNATIVAS

3.3.1.- INTRODUCCION

La industria eléctrica en los tiempos actuales es considerada de vital importancia para las necesidades modernas y un elemento fundamental para el desarrollo industrial y comercial de un país o de un conglomerado humano.

Su importancia es tal que, la industrialización y el nivel de vida de los habitantes de una nación se pueden medir de acuerdo a -

los millones de KWh consumidos en un año o al número de KWh/habitante.

Ventajosamente en nuestro país, gracias a la labor desplegada por INECEL se ha llegado a entender la importancia de la energía eléctrica y se están realizando obras que nos sacarán del último lugar - que ocupamos en América del Sur, en cuanto a electrificación se refiere.

Actualmente a la producción y suministro de la energía eléctrica se considera como una industria capaz de solventarse por sí misma y de dar una moderada utilidad a los capitales invertidos.

La industria eléctrica como tal tiene un gran costo total que debe cubrirse con la venta de energía a los usuarios.

El costo total podemos dividir en dos: costos fijos y costos variables.

Los costos fijos comprende: impuestos, seguros, depreciación, intereses, y son costos que siempre están presentes, se genere o no energía.

Los costos variables son costos que estan en función de la cantidad de energía generada y que en caso extremo de paralización total se podría prescindir de ellos. Dentro de este rubro se contemplan:- salarios, supervisión, suministros, desperdicios, reparaciones, mantenimiento, combustibles, lubricantes, etc.

Una gran parte de la energía vendida a los usuarios esta destinada a cubrir los gastos fijos y variables que demandan su producción

y el resto de la energía para dar una utilidad a los capitales inver
tidos.

El precio de venta de la energía eléctrica a los diferentes -
usuarios no es Único, pero se puede obtener un valor promedio.

Si conocemos los costos fijos, variables y el ingreso por ven-
ta de energía podemos trazar una gráfica. El objeto de esta grafica
es determinar el llamado PUNTO DE EQUILIBRIO, que nos indica que la
venta de energía cubre todos los gastos necesarios para su producción.

Si la venta de energía sobrepasa ese punto significa que la -
Empresa está teniendo utilidad.

La ventaja del punto de equilibrio es la siguientes: al efec-
tuarse inversiones por amplificaciones y mejorar de un sistema, de-
be tenerse mucho cuidado de no ocasionar un desplazamiento muy amplio
del punto de equilibrio, porque, puede dar lugar a una deficiente -
marcha económica de la Empresa o, los beneficios económicos de tales
inversiones deben restablecer y mejorar ese punto de equilibrio.

Con este gráfico se puede rapidamente observar el efecto eco-
nómico de una inversión.

Punto de equilibrio para la Empresa Eléctrica Ambato:

datos para un año de operación.

gastos fijos: \$/ 2'776.184,00.

Gastos variables: \$/ 6'483.377,00

Ingresos por venta de energía: \$/ 10'064.075,00

Precio promedio por venta de energía: \$/ 0,484/KWh.

Costo medio por KWh facturado: S/ 0,445.

Energía vendida por la Empresa: 20'8404.290 KWh por año.

Para encontrar el punto de equilibrio procedemos de la siguiente manera:

- En el eje de las abscisas ponemos la producción total de la energía vendida.
- En el eje de las ordenadas se ponen los costos y los ingresos generalmente en millones de sucres.
- Luego trazamos la recta de ingresos por venta de energía:

$$I = p \cdot E$$

I = Ingresos por venta de energía

p = Precio de venta por KWh

E = Número de KWh vendidos.

- Por último trazamos la recta de costos totales:

$$C = C_f + c \cdot E$$

C = Costo total de la producción

C_f = Costo fijo

c. = Costo variable promedio/KWh

El punto de corte de estas dos rectas nos dará el punto de equilibrio.

Este punto nos indica la energía mínima que debe vender la Empresa para que no haya ni pérdida ni ganancia.

Del gráfico correspondiente podemos establecer que la utilidad por venta de energía es muy pequeña para la Empresa Eléctrica Ambato, y que toda nueva inversión que se haga tiene que generar inmediata -

PUNTO DE EQUILIBRIO DE INGRESOS Y COSTOS DE LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO

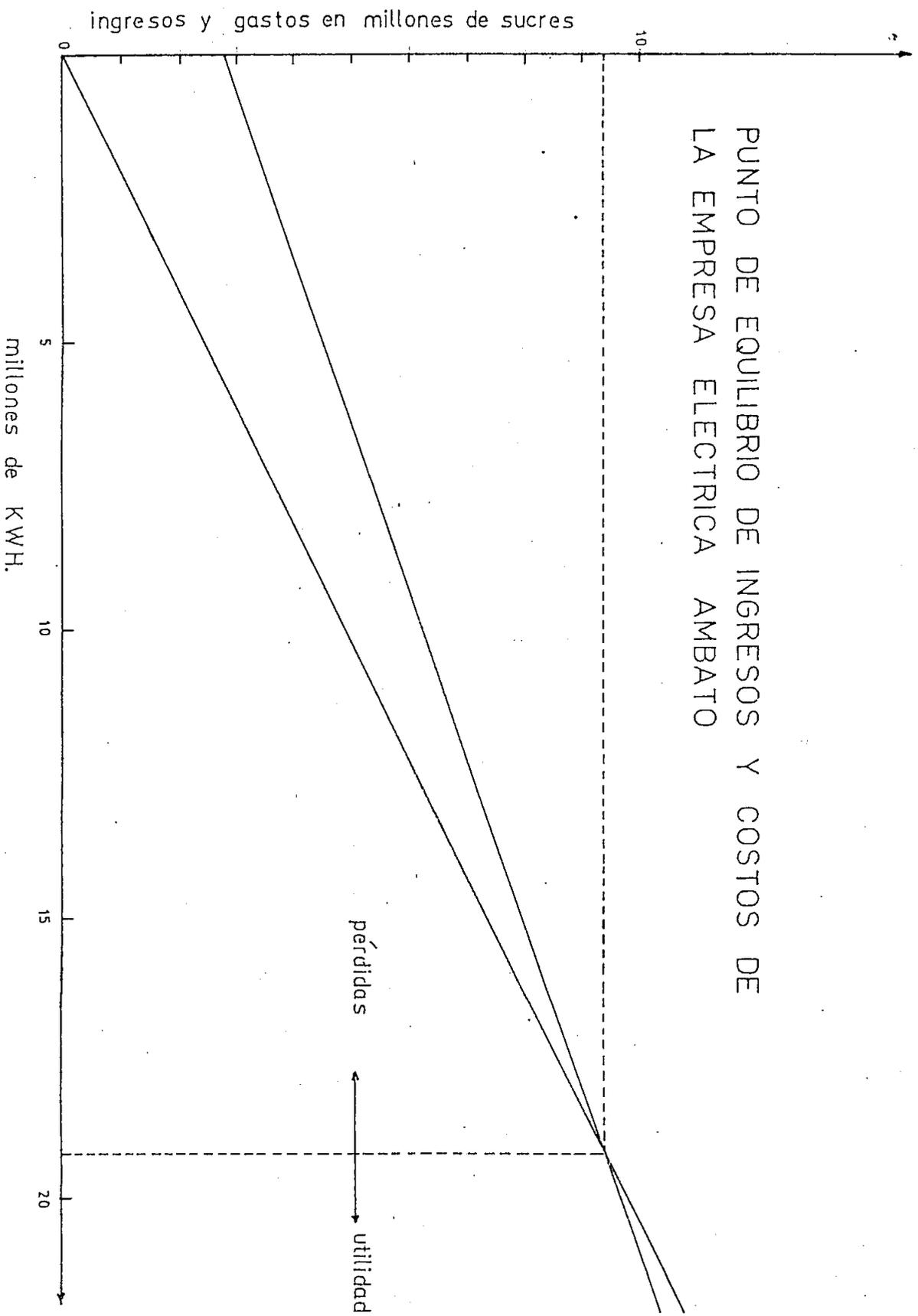


figura 3-9

mente ingresos para que la Empresa no trabaje a pérdida. La figura correspondiente al punto de equilibrio es la 3-7.

Esta parte correspondiente a la introducción nos servirá más adelante al analizar los beneficios económicos, de la instalación de equipos de mejora de voltaje.

3.3.2.- ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS

Toda Empresa que tiene que realizar compras de maquinaria y equipo para mejoras o ampliaciones de sus sistema de servicio, se enfrenta con el problema de las alternativas.

El análisis de las alternativas es la búsqueda del equipo que tenga el mayor valor económico para la Empresa, esto es el que realice el trabajo requerido al más bajo costo.

En la compra de equipo como en el presente caso, equipo de regulación de voltaje, el problema del precio con relación al servicio que van a prestar es muy importante. Pero no es solo el precio de compra el único factor determinante, es también la capacidad de rendir un servicio específico y es menester determinar esa capacidad si se quiere hacer una elección inteligente.

Los equipos eléctricos generalmente se compran a base de especificaciones garantizadas. Para un análisis comparativo hay que tomar en cuenta esas especificaciones.

En el presente estudio para conseguir nuestro objetivo principal, que es la mejora inmediata del voltaje en la red de distribución de Ambato, hemos seleccionado dos alternativas.

Para llegar a una decisión final hagamos un análisis comparativo entre las cualidades técnicas y económicas de los dos aparatos: condensadores en paralelo y reguladores de voltaje de línea, propuestos en las alternativas.

Las cualidades técnicas podemos resumir en la tabla 3-2.

Como resultado de la observación de esta tabla podemos decir que los dos aparatos tienen tanto ventajas técnicas así como desventajas en mutua comparación.

Si hacemos un análisis más concreto para seleccionar la alternativa más conveniente, de la variación que lograríamos con cada uno de los aparatos y su costo respectivo.

Los costos de los aparatos serán los que actualmente tenemos en el mercado y que han sido proporcionados por una casa comercial de la ciudad de Quito.

Para este análisis se ha tomado como ejemplo el circuito primario denominado Unidad Nacional, cuyos datos son los siguientes:

Carga media de este circuito	920 KVA
Demanda máxima estimada	1.650 KVA
Capacidad estimada	1.545 KVA

En este primario puede observarse, que para una demanda máxima existe ya una sobrecarga.

La capacidad tanto para condensadores como para los reguladores de línea se determina aplicando las ecuaciones aconsejadas por los manuales y libros especializados como "Distribution Systems" .

Los resultados se resumen en la tabla 3-3.

Cualidades	Condensadores en paralelo	Reguladores de línea	Observaciones
Rango máximo de variación	4%	± 10%	
Rango mínimo de variación de voltaje	0	0	Con reguladores puede ser 0ero
Variación de voltaje según necesidades	No	Si	Con reguladores a voluntad (± 10%)
Variación de voltaje hacia la fuente.	Si	N.	
Reducción de pérdidas I ² .R y I ² . X	Si	No	
Elevación de la capacidad del sistema.	Si	Si	Reguladores aumentan la capacidad de salida
Aditamentos adicionales para operación y desconexión	Si	No	Condensadores resistencias de descargas, otros.

TABLA 3-2

CIRCUITO UNIDAD NACIONAL		
	Condensadores en paralelo	Reguladores de línea
Capacidad en	990 KVAR	100 KVA
Incremento de voltaje	2%	± 10%
Costo en mercado	\$277.644	\$114.744
Costo/V. mejorado	"138.822	" 11.474
Necesidad de elementos para su operación eficiente	Si	No
Costos de montaje comparado	Mayor	Menor

TABLA 3-3

Los datos reunidos en la tabla han sido calculado para condiciones de carga máxima.

La capacidad de los condesadores en paralelo es la máxima que puede darse a estos aparatos, que es en el caso en que el factor de potencia del circuito se varíe hasta la unidad. En este caso necesariamente se necesita que el aparato salga fuera del circuito para condiciones de carga ligera, por tanto haciendose indispensable proveer de los aditamentos necesarios para cumplir esta operación, lo -

que encarece mucho más esta alternativa.

CONCLUSION

Del análisis Técnico-Económico de las dos alternativas se establece que la más conveniente es la de los reguladores automáticos de voltaje de línea por cuanto la utilización de condensadores en paralelo resulta muy costosa y no satisface los requerimientos técnicos.

De este estudio realizado se puede recomendar a la Empresa Eléctrica Ambato que solucione el problema inmediato de la regulación mediante el empleo de los reguladores de voltaje de línea.

A las razones anteriores podemos agregar las siguientes:

- Es el método de regulación de voltaje más barato para las condiciones en las cuales se encuentra este sistema.
- El rango de variación es amplio, permitiendo un control más eficiente del voltaje.
- Daría el tiempo necesario para que la Empresa inicie soluciones mediatas para la eficiente operación de sus sistema.

3.3.2.1.- RECOMENDACIONES INMEDIATAS

Tomando en cuenta la capacidad, la carga media y la carga en horas de demanda máxima en los circuitos de la red en estudio, podemos establecer que los circuitos que necesitan una inmediata atención a su regulación de voltaje son los siguientes:

- Circuito Central.
- Circuito Unidad Nacional.

- Circuito Pérez Anda.

De estos circuitos el más afectado es el Central, el cual en condiciones de carga media ya tiene problemas de regulación y en condiciones de carga máxima los problemas de regulación son muy serios.

Si no se toman medidas inmediatas los problemas de regulación que afecten a estos circuitos serán muy notables y causarán una pérdida económica a la Empresa.

Además debemos tomar en consideración que los tres circuitos mencionados son los que más fuertemente soportan la carga servida en la ciudad, con valor de más del 50%, he ahí otra razón de su inmediata atención.

Los otros circuitos pueden seguir funcionando sin problemas por un período de unos tres años, dado el caso que el índice de crecimiento de la carga no altere.

Las recomendaciones de las mejoras de voltaje, en forma inmediata, son de los llamados "Estudios a corto plazo", o sea que la solución del problema es para unos pocos años, tiempo en el cual se procederá a aplicarse las recomendaciones mediatas.

Las ventajas de las instalaciones propuestas son tales, que permiten una facilidad en ampliar, variar, reubicar, transferir a otro circuito, a más de la elasticidad de la regulación ya indicada.

CAPACIDAD Y COSTO DE LOS REGULADORES REQUERIDOS EN ESTA RECOMENDACION

La capacidad de los reguladores para los circuitos que necesitan una inmediata atención se determinó en la forma mencionada anteriormente y los valores obtenidos se resumen en la tabla 3-4.

Circuito	Regulador KVA	Regulador en Mercado KVA	Costo \$/
Central	81,1	100	114.744
Unidad Nacional	82,5	100	114.744
Pérez Anda	50,5	66	82.200
COSTO TOTAL			311.688

TABLA 3-4

La capacidad que deben tener los reguladores a emplearse son los correspondientes a los indicados en la columna " regulador en mercado", que indican valores superiores a los calculados, en vista de que son los únicos que existen a disposición.

Aunque aparentemente estarían sobredimensionados, sin embargo, se prevé su utilización por un período de tres años, de acuerdo con el índice de crecimiento de la carga.

Luego de este período se tendría que proceder a una reubicación, de acuerdo a las condiciones existentes.

Se espera que la energía suministrada en la realización del Proyecto Pisayambo se encontrará disponible, y, la Empresa habrá ejecutado mejoras tendientes al mejor aprovechamiento de ella.

3.3.2.2.- RECOMENDACIONES MEDIATAS Y A LARGO PLAZO



Entre las principales recomendaciones anotaremos las siguientes las cuales serán ejecutadas progresivamente de acuerdo a las posibilidades económicas de la Empresa.

- Uniformación de su voltaje de distribución primaria, adoptando el valor de 13,8 KV en todo el sistema, como se recomendó en párrafos anteriores.
- Medir la carga de los transformadores y de los circuitos secundarios a fin de iniciar a una reubicación de los transformadores al centro de gravedad de la carga.
- Proceder a un análisis más riguroso sobre la posibilidad de un "banqueo" de su red.
- Iniciar una zonificación de cargas en las áreas nuevas.
Reglamentar la instalación de nuevas cargas de tipo industrial.
- Proceder a una separación de las cargas industriales, sirviendo a las mismas con primarios exclusivos para este objeto.
- Mejorar el factor de potencia de la red mediante el empleo de condensadores en paralelo.
- Efectuar mediciones de las cargas de los primarios y proceder a un reparto más equitativo, para evitar de esta manera sobrecargas en determinados primarios.
- Reemplazar la red secundaria en mal estado en las diferentes áreas servidas por otra que reúna las características propias que permitan efectuar un buen servicio.

3.4.- ANALISIS DEL BENEFICIO ECONOMICO

Al encontrar el punto de equilibrio entre Ingresos y Egresos de la Empresa Eléctrica Ambato habíamos establecido que la utilidad de la Empresa por venta de energía es muy baja.

Por tanto, es de mucha importancia determinar el beneficio económico de la instalación de los aparatos recomendados y en general de la mejora de la regulación de voltaje.

A continuación indicamos los principales beneficios a esperarse:

- Aumento de los ingresos por un mayor consumo de energía de la misma carga actual.

Para aclarar esta afirmación hagamos las siguientes consideraciones:

La energía consumida por los usuarios residenciales, en nuestro medio la gran mayoría lo hacen mediante cargas resistivas. En esta ciudad el 60% de la energía consumida se debe a los usuarios residenciales.

Esta energía se puede calcular aplicando la siguiente ecuación elemental

$$W = (V^2/R) \cdot t \cdot \cos \phi$$

W = Energía en KWh

R = Resistencia de la carga

t = tiempo

$\cos \phi$ = Factor de potencia

Si hacemos un análisis numérico encontramos que si el voltaje aplicado al artefacto se reduce, para condiciones similares de tiempo y factor de potencia, la energía consumida por el mismo artefacto también se reduce en forma proporcional al cuadrado del voltaje. Por ejemplo: si el voltaje se reduce en un 2%, la energía consumida se reduciría en un 4%. Si el voltaje se reduce en un 5% la energía se reduce en un 9,75%.

Si recordamos que esto no solamente ocurre bajo cargas resistivas, sino también con otras cargas como motores, según se establece en el capítulo primero, concluimos: que una reducción de voltaje decrece el consumo de la energía.

Si la reducción de voltaje es compensada mediante el uso de un equipo de regulación como en el caso de la regulación presente, equivale a decir que se ha incrementado el consumo de energía en el mismo porcentaje que debía bajar.

Como en el caso de la solución inmediata que se recomienda, los tres circuitos seleccionados soportan algo más del 50% de la carga de la ciudad. Una mejora del voltaje en estos circuitos incrementaría el consumo de energía en un 50% de las cargas de la ciudad.

Realizando un cálculo de los ingresos que se obtendría por venta de energía tendríamos lo siguiente:
Tomamos la cantidad de energía vendida el año pasado. Como el índice medio de crecimiento de la carga es de 8,55%, se proyecta para este año de la siguiente manera:

Energía total vendida: 22'586.290 KWh/año.

Aproximadamente para estos tres circuitos corresponde: -
11'293.145 KWh/año.

El precio de venta medio es de \$/ 0,484/KWh.

Con una mejora del 2% de la regulación de voltaje, el consumo de la energía aumentaría en: 452.000 KWh/año, y el ingreso por este concepto llegaría a \$/ 218.000,00/año.

Si la mejora de la regulación es de un 5%, el aumento de consumo es de 1'100.000 KWh/año, y el ingreso obtenido es \$/ 530.000/año.

De esta análisis, que aunque no es riguroso, nos permite - establecer en forma clara que esta solución recomendada, generaría ingresos suficientes para cubrir su costo y aun dar utilidad a la Empresa.

Además el punto de equilibrio de la Empresa sería mejorado.

- Otro beneficio de la mejora de la regulación, es el incentivo al incremento de consumo de energía.

Estadísticamente se ha comprobado que el usuario con una calidad de voltaje mejor aumenta el factor de utilización de sus instalaciones.

- Aumento de la capacidad de los circuitos, desde el punto de instalación de los reguladores hasta el terminal de la línea. Como las redes aéreas prácticamente no tienen limitaciones por la temperatura sobre sus conductores, el incremento de su capacidad le permitiría asumir una mayor carga y por tanto un mejor aprovechamiento económico de todas sus instalaciones.

Por todas estas razones concluimos que: " La Empresa Eléctrica Ambato sale altamente beneficiada con una mejora de la regulación de voltaje en su sistema de distribución".

BIBLIOGRAFIA

- 1.- A.W. HIRST; Applied Electricity, Jawerth Edition, New York 1966
- 2.- / RUSSELL E. CAYWOOD; Electric Utility Rate Economics, Ed. McGraw-Hill New York 1966
- 3.- J.R. DIXON; Design Engineering Analysis, Ed. McGraw-Hill, New York 1966
- 4.- WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, Distribution Systems, East Pittsburgh, PA 1965
- 5.- / J.G. TARBOUX; Electric Power Equipement, Ed. McGraw-Hill, New York 1967
- 6.- GENERAL ELECTRIC, Distribution Date Book Ed. 1967
- 7.- / SKROTZKI; Electric Transmission and Distribution, Ed. McGraw-Hill, New York 1954
- 8.- / JOHN S. LYONS and STANLEY W. DUBLIN; Electric Engineering and Economics and Ethice For Professional Engineering Examinations, Ed. Hayden Book company, New York 1970
- 9.- / COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD; Ingeniería de Distribución, Ed. En México 1970
- 10.- Gaudencio ZOPPETTI; Redes Eléctricas de Alta y Baja Tensión, Ed. Gustavo Gili, Barcelona 1968
- 11.- / GAUDENCIO ZOPPETTI; Estaciones Transformadoras y de Distribución, Ed. Gustavo Gili, Barcelona 1963
- 12.- A.E. KNOWLTON; Manuel "Standard del Ingeniero Electricista", Tomo I y II Ed. Labor 1967

- 13.- BUCHHOLD; Centrales y Redes Eléctricas, Ed. Labor 1959
- 14.- LANGSDORF; Theory of Alternating Current Machinery, Ed. McGraw Hill, New York 1955
- 15.- / C.W. KELLERY; Economics and Application of shunt Capacitors on Utility Systems, 1971
- 16.- REUTENSTROUCH; Economía de Empresas Industriales, Ed. Fondo de Cultura, México 1966
- 17.- INECEL; Información Económica e Indices de Gestión Empresarial Quito 1972
- 18.- INECEL; Boletín Nº 7, División de Explotación, Sección Estadística, Quito 1972
- 19.- INGS. JACOME Y H. PLACENCIA, apuntes de clase 1966
- 20.- / S.S. FELS0, How Step Voltage Regulators Operate, Ed. McGraw-Hill Edison 1972
- 21.- / LA AEG AL DIA; Regulación de Tensión en transformadores, con Mecanismos de Maniobra Escalonada. Ed. 1955 Nº 4.