

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN UNA EMPRESA DE  
DISTRIBUCIÓN, POR MEDIO DE COMPENSACIÓN REACTIVA  
EN LOS SUMINISTROS DE BAJA TENSIÓN**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**MANUEL GUSTAVO CAHUANA SALGUERO**

**PROMOCIÓN  
1996 - II**

**LIMA – PERÚ  
2005**

*A la belleza de la ciencia;  
buscarla es tan placentero como encontrarla  
.... y ella solo nos esta esperando.*

**REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN UNA EMPRESA DE  
DISTRIBUCIÓN, POR MEDIO DE COMPENSACIÓN REACTIVA EN LOS  
SUMINISTROS DE BAJA TENSIÓN**

## **SUMARIO**

El presente estudio, evalúa las consideraciones técnicas económicas para compensar energía reactiva en el sistema de distribución, por medio de capacitores instalados en suministros de baja tensión. Dicha compensación permitirá reducir las pérdidas, mejorar el perfil de tensiones y otros beneficios adicionales.

En el capítulo I se ofrece una visión general de la compensación reactiva en sistemas de distribución.

El capítulo II se desarrolla los criterios para la selección del capacitor, a instalarse en los suministros de la red de baja tensión

El capítulo III se realiza el modelamiento y análisis del sistema de distribución, considerándose la elevación de tensión a diferentes frecuencias, así mismo se define las características técnicas del capacitor.

El capítulo IV se realiza la evaluación de los ahorros en pérdidas de energía, y la respectiva evaluación económica, así como una propuesta de alimentadores para realizar pilotos de compensación.

## ÍNDICE

### PRÓLOGO

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes	3
1.2	Objetivo	4
1.3	Alcances	4
1.4	Procedimiento a seguir	4

### CAPÍTULO II

#### PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DEL CAPACITOR

2.1	Selección de la capacidad óptima del condensador	6
2.1.1	Evaluación de los suministros	6
	a) Consumo de energía activa de suministros BT5	6
	b) Consumo de energía reactiva de suministros BT5	8
	b.1) Estrato de clientes BT5 con consumo de 100 a 150 Kwh	8
	b.2) Estadística general	9
2.1.2	Evaluación de las SES	10
	a) Evaluación del factor de potencia promedio en las SES	10
	b) Diagrama de carga reactiva en SES	11

2.1.3	Criterio de compensación óptima	14
	a) Compensación en SES	14
	b) Evaluación en SES	15
2.1.4	Determinación de la capacidad óptima por SE	15
	a) Compensación en suministros	16
	b) Capacidad óptima por SE	16
2.1.5	Determinación de la capacidad óptima general	17
2.1.6	Variación de tensión encontradas en suministros	22

### **CAPÍTULO III**

#### **ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA RED**

3.1	Análisis del sistema	23
3.2	Modelamiento de impedancias del sistema	25
3.2.1	Red de media tensión aguas arriba	25
3.2.2	Evaluación de la impedancia del transformador	26
3.2.3	Impedancia de media tensión y de transformación	27
3.2.4	Red de baja tensión	28
3.3	Evaluación del sistema	30
3.3.1	Evaluación a 60 HZ, en barra BT	30
3.3.2	Evaluación a frecuencia diferentes de 60 HZ en barras de baja tensión	32
3.3.3	Efectos sobre el capacitor	34
	a) En barras de baja tensión	34
	b) En un punto de la red de baja tensión	34
3.4	Características técnicas del condensador	36

**CAPÍTULO IV****ANÁLISIS ECONÓMICO**

4.1	Evaluación de ahorros	38
4.1.1	Modelo de estimaciones de ahorros de pérdidas	38
4.1.2	Pérdidas con compensación	39
4.1.3	Ahorro por compensación	40
	a) Cuantificación del ahorro	41
4.2	Evaluación Económica	42
4.3	Propuesta de pilotos	43

<b>CONCLUSIONES</b>	44
---------------------	----

<b>APÈNDICES</b>	46
------------------	----

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	67
---------------------	----

## **PRÓLOGO**

La compensación reactiva en las empresas de distribución, generalmente se ha venido realizando en los sistemas de distribución de media tensión y en el subsistema de transmisión, principalmente para reducción de la compra de energía reactiva y como regulación de la tensión.

Sin embargo, dichas compensaciones reducían las pérdidas desde el punto de instalación del condensador y hacia aguas arriba. De encontrarse instalado los compensadores en el subsistema de transmisión, el beneficio de reducción de pérdidas es mínimo, contrariamente la compensación ideal, es aquella en la que se elimina la energía reactiva en el mismo punto donde se produce, es decir en el suministro del cliente.

La propuesta de compensar la energía reactiva desde los suministros de baja tensión, permitiría una reducción de pérdidas, desde las redes de baja tensión y aguas arriba en los diferentes subsistemas así como en los transformadores de energía. Complementariamente se presentaría una mejora del perfil de tensiones, principalmente en los suministros de baja tensión.



Si bien los beneficios de la compensación son variados, los principales beneficios económicos se presentan en la reducción de pérdidas y en la reducción de compra de energía reactiva. En el caso de la reducción de pérdidas, se presenta un beneficio adicional, que es el valor de mercado de la empresa. Poseer un bajo porcentaje de pérdidas; conjuntamente con un bajo ratio clientes / trabajadores son indicadores de una empresa eficiente, lo cual impactan directamente en el costo de las acciones.

El presente trabajo, tiene como objetivo, definir las características técnicas del capacitor así como evaluar los beneficios técnicos económicos de la compensación en suministros de baja tensión.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

La energía reactiva, asociada al normal consumo de los clientes, circula en las redes de distribución de baja y media tensión, los efectos de esta energía reactiva para la empresa distribuidoras son principalmente las siguientes:

- ❖ Compra adicional de energía reactiva
- ❖ Pérdidas por efecto Joule en las redes
- ❖ Incremento de la caída de tensiones
- ❖ Reducción de la capacidad de distribución de energía activa en los conductores

La compensación reactiva a través de condensadores, se ha realizado generalmente en las redes de media tensión y en el sistema de subtransmisión, lo cual representa un alivio en las redes desde el punto de instalación hacia “aguas arriba”. Sin embargo los efectos de dicha compensación no inciden en las redes de baja tensión ni en los transformadores MT/BT.

## **1.2. Objetivo**

El presente estudio tiene como objetivo, evaluar las consideraciones técnicas y económicas para llevar a cabo un piloto de compensación reactiva, a nivel de los suministros de baja tensión. Lo cual conseguiría principalmente reducir las pérdidas de energía, mejorar el perfil de tensiones y aumentar la capacidad de las redes.

## **1.3. Alcance**

Los alcances del presente estudio son los siguientes:

- Determinación de el capacitor óptimo para la compensación reactiva por suministros
- Evaluar los impactos de elevación de tensión en la redes
- Evaluación de los efectos de los armónicos en la red
- Evaluación de los efectos de los armónicos en el capacitor
- Cuantificar los beneficios potenciales en una empresa de distribución

## **1.4. Procedimientos**

Seguiremos el siguiente procedimiento:

-Selección de la capacidad óptima del capacitor, que involucra los siguientes puntos

- ✓ Selección de la capacidad óptima del condensador
- ✓ Evaluación de los suministros
- ✓ Evaluación de las SES
- ✓ Criterio de compensación óptima
- ✓ Determinación de la capacidad óptima por SE
- ✓ Determinación de la capacidad óptima general

- ✓ Variación de tensión encontradas en suministros

Modelamiento y análisis de la red, que evaluará los siguientes puntos:

- ✓ Modelamiento del sistema
- ✓ Modelamiento de impedancias del sistema
- ✓ Análisis del sistema
- ✓ Evaluación a 60 HZ, en barra BT
- ✓ Evaluación a frecuencia diferentes de 60 HZ en barras de baja tensión
- ✓ Efectos sobre el capacitor
- ✓ Características técnicas del condensador

## **CAPÍTULO II**

### **PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DEL CAPACITOR**

#### **2.1 Selección de la capacidad óptima del condensador**

##### **2.1.1 Evaluación de los suministros**

La energía reactiva en las redes de baja tensión, es originada por los distintos suministros conectados a dicha red. Por lo tanto es necesario realizar un análisis del mercado de baja tensión, respecto a su consumo de energía activa y reactiva.

En este análisis exceptuamos a los suministros NO-BT5, debido a que su consumo de energía activa es muy variada, y su consumo de reactivos también es variado y alto; por lo que se necesitaría una compensación especial para cada cliente.

##### **a) Consumo de Energía Activa de Suministros BT5**

Para evaluar el consumo del mercado de clientes, se posee el siguiente cuadro estadístico, de consumo por estrato.

Tabla 2.1 Consumo de clientes BT5

RANGO	E.PROM (KWH)	EMPRESA DISTRIBUIDORA			
		SUM	SUM (%)	E.TOTAL (MWH)	E.TOTAL (%)
0		44 733	6,7%		0,0%
0-30	15	71 182	10,7%	1 071	0,8%
30-60	45	77 581	11,6%	3 456	2,4%
60-100	79	105 589	15,8%	8 367	5,9%
100-150	123	98 503	14,8%	12 091	8,6%
150-200	173	63 979	9,6%	11 056	7,8%
200-300	244	76 849	11,5%	18 755	13,3%
300-500	383	69 703	10,4%	26 690	18,9%
500-800	621	33 615	5,0%	20 860	14,8%
800-1000	888	9 128	1,4%	8 103	5,7%
1000-2000	1 334	12 459	1,9%	16 626	11,8%
2000-3000	2 410	2 474	0,4%	5 964	4,2%
3000-5000	3 754	1 267	0,2%	4 757	3,4%
5000-10000	6 288	455	0,1%	2 861	2,0%
>=10000	15 615	38	0,0%	593	0,4%
	212	667 555	100%	141 251	100%

Donde:

E\_prom: Energía promedio mensual facturada

Sum : Cantidad de suministros

E\_total: Energía total

#### Observaciones

- El 6.7% de los clientes BT5, no consumen energía.
- Más de la mitad de los clientes BT5, poseen consumos menores a 150 Kwh.
- La mayor contribución en la facturación lo dan los clientes BT5, cuyos consumos se encuentran entre 300 y 500 Kwh.
- Es bastante probable que los suministros que poseen consumos mayores 10,000 kwh, le corresponda poseer una tarifa no BT5.
- Clientes BT5, de muy altos consumos, también consumirán alta energía reactiva y necesitarán una compensación en particular.

### Conclusión preliminar

La muy variante demanda de energía por parte de los clientes, configura a trabajar la compensación con el estrato de clientes representativos. Estratos de altos consumos requerirían capacitores de mayor volumen.

### b) Consumo de Energía Reactiva de suministros BT5

Para evaluar el consumo de energía de los clientes, se ha contado con mediciones de energía activa y reactiva por un periodo de 24 horas, en una muestra de 108 clientes BT5 de diferentes consumos.

#### b.1) Estrato de clientes BT5 con consumo de 100 a 150 Kwh.

Se evalúa la energía reactiva asociada a los consumos de clientes, los factores de potencia máximo, mínimo y promedio registrado.

Tabla 2.2. FDP en suministros BT5 con consumo entre 100 y 150 Kwh.

N	FASE	EA	ER	fdp prom	fdp min	fdp max	ER/EA
1	M	100.5	44.9	0.91	0.67	1.00	45%
2	M	100.6	109.0	0.68	0.49	0.95	108%
3	M	105.3	59.7	0.87	0.64	1.00	57%
4	M	112.3	101.8	0.74	0.18	1.00	91%
5	M	113.9	68.5	0.86	0.69	1.00	60%
6	M	114.6	28.3	0.97	0.77	1.00	25%
7	M	117.6	90.7	0.79	0.42	1.00	77%
8	T	118.1	80.0	0.83	0.49	1.00	68%
9	T	119.8	102.4	0.76	0.49	1.00	85%
10	M	121.4	54.5	0.91	0.57	0.99	45%
11	M	124.4	73.2	0.86	0.56	0.99	59%
12	T	128.0	119.7	0.73	0.53	0.90	93%
13	M	129.7	116.2	0.74	0.55	0.98	90%
14	M	137.7	89.1	0.84	0.60	0.99	65%
15	T	138.5	28.6	0.98	0.95	1.00	21%
16	M	139.8	118.0	0.76	0.64	1.00	84%
17	M	140.8	62.8	0.91	0.55	1.00	45%
18	T	142.0	133.8	0.73	0.52	0.99	94%
19	M	142.8	61.1	0.92	0.71	1.00	43%
20	T	150.2	105.3	0.82	0.46	1.00	70%

Donde:

EA: Energía Activa

ER: Energía Reactiva

fdp: Factor de potencia

### Observaciones

- Se observa que para similares consumos, la energía reactiva demandada es muy diferente, esto se debe a que los clientes poseen diferente tipos de carga de acuerdo al giro de uso o al estrato socioeconómico.
- Así tenemos los casos 1 y 2, que poseen igual consumo, sin embargo el primero demanda reactivos igual al 45% de energía activa y el segundo demanda 108%.

## b.2 Estadística General

De los 108 suministros registrados se tiene:

Tabla 2.3 - Estadística del fdp de acuerdo a la energía de consumo

Energía	MONOFÁSICO					TRIFÁSICO					TOTAL				
	CNT	EA	ER	ER/EA	FDP	CNT	EA	ER	ER/EA	FDP	CNT	EA	ER	ER/EA	FDP
<0,20>	6	11	7	64%	0.84						6	11	7	64%	0.84
<20,40>	9	30	10	33%	0.95	1	35	34	95%	0.73	10	31	12	40%	0.93
<40,100>	16	75	49	65%	0.84						16	75	49	65%	0.84
<100-150>	14	122	77	63%	0.84	6	133	95	72%	0.81	20	125	82	66%	0.83
<150,200>	14	169	116	69%	0.82	3	173	127	73%	0.81	17	170	118	69%	0.82
<200,250>	4	229	161	70%	0.82	2	246	117	48%	0.90	6	235	146	62%	0.85
<250,300>	3	274	133	49%	0.90	2	277	151	54%	0.88	5	275	140	51%	0.89
<300,400>	6	344	313	91%	0.74	3	330	342	104%	0.69	9	340	323	95%	0.72
<400,1000>	6	519	354	68%	0.83	9	587	245	42%	0.92	15	560	289	52%	0.89
<1000,2000>	1	1 843	1 050	57%	0.87	3	1 350	746	55%	0.88	4	1 474	822	56%	0.87
<b>Total general</b>	<b>79</b>	<b>182</b>	<b>123</b>	<b>68%</b>	<b>0.83</b>	<b>29</b>	<b>439</b>	<b>241</b>	<b>55%</b>	<b>0.88</b>	<b>108</b>	<b>251</b>	<b>155</b>	<b>62%</b>	<b>0.85</b>



## Observaciones

- No hay una correlación clara entre el consumo y el fdp
- El fdp promedio general es de 0.85, lo cual indica que los clientes demandan de energía reactiva el 62% de la energía activa consumida.

## Conclusión preliminar

Se puede concluir, que un factor de potencia representativo de los clientes BT5 es 0.85

### 2.1.2 Evaluación de las SES

Se contó con una data inicial de 5 715 diagramas de SES, de las cuales se realizo una depuración inicial por:

- No contar con la data completa (tensión, corriente o fdp)
- SES con sobretensiones de acuerdo a norma
- La energía de la SE, esta muy lejos de coincidir con la energía facturada de sus clientes
- No poseer suministros monofásicos o muy pocos monofásicos (trifásicos con muy alto consumo y que requeririan compensaciones reactivas particulares)

De esta primera depuración, se contó para un primer análisis con 2,646 SES.

#### a) Evaluación del factor de potencia promedio en las SES

Se procede a evaluar el fdp y la energía reactiva de las SES

Tabla 2.4 – El fdp y la energía reactiva en SES

DATOS	FDP PROM (INT)										Total general
	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8-0.85	0.85-0.9	0.9-0.95	0.95-1	
CNT SES	1	3	27	57	95	236	331	643	625	628	2 646
CNT SES (%)	0.04%	0.11%	1.02%	2.15%	3.59%	8.92%	12.51%	24.30%	23.62%	23.73%	100%
ER-MES(MVAR)	13	9	830	1 808	3 542	6 020	7 149	13 201	14 386	7 165	54 122
ER-MES(%)	0.02%	0.02%	1.53%	3.34%	6.54%	11.12%	13.21%	24.39%	26.58%	13.24%	100%

### Observaciones

- La mayor cantidad de SES, poseen un fdp que se encuentran en el intervalo de 0.85 a 0.9.
- La mayor cantidad de energía reactiva se encuentra concentrado en SES que poseen fdp entre 0.9 a 0.95
- Cerca del 65% de la energía reactiva se encuentra en SES con  $\text{fdp} > 0.85$ .

### Conclusión preliminar

No todas las SES poseen un fdp cercano a 0.85, que era incidente en los suministros BT5 observados anteriormente. Esto se debe a la existencia de clientes No BT5 y al alumbrado público que crean variabilidad en el fdp.

### b) Diagrama de carga reactiva en SES

Las SES presentan distintos tipos de diagrama de carga reactiva, dichos diagramas no toman valores constantes.

Diagramas poco comunes:

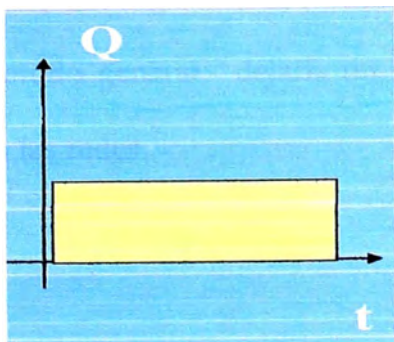


Fig. 2.1 Diagrama base

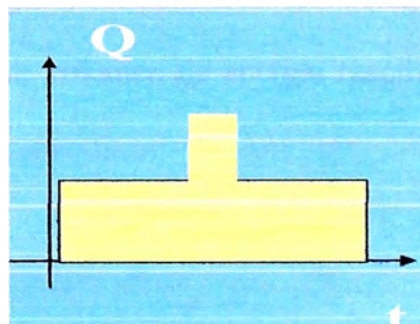


Fig. 2.2 Diagrama con pico

En estos casos la compensación a realizar es directa, tendiendo a compensar la base del diagrama. Sin embargo en la práctica los diagramas son muy variados.

Diagrama de carga reactiva más general

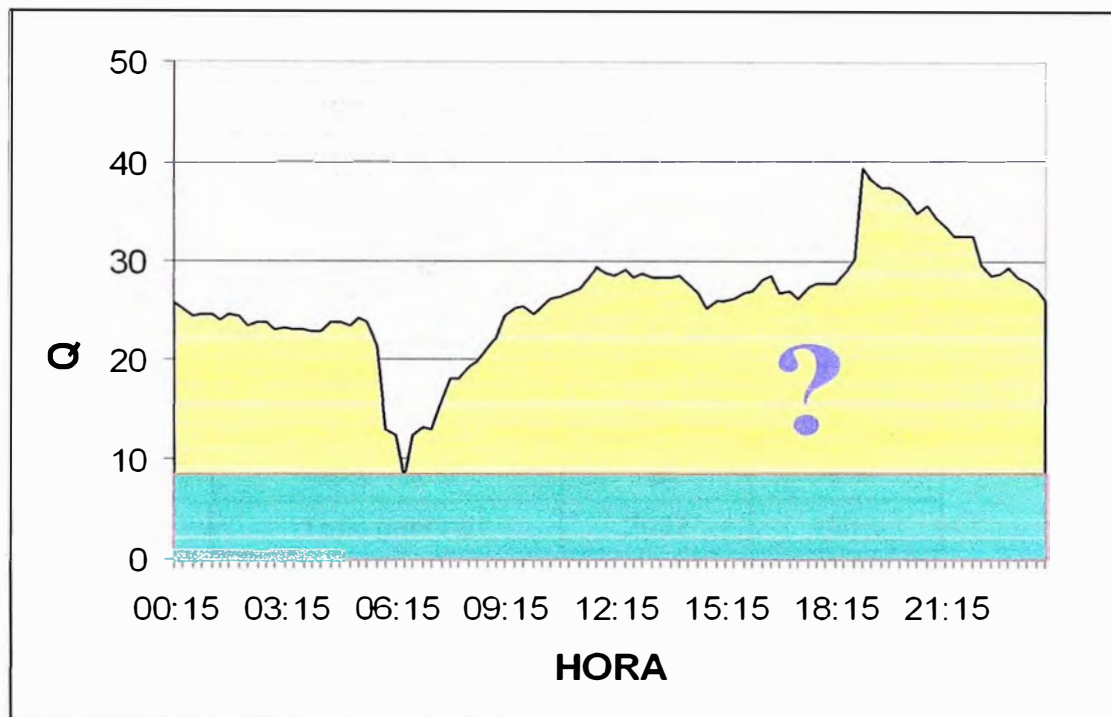


Fig. 2.3 Diagrama de carga reactivo general

En un diagrama de energía reactiva general, la base no necesariamente representa una parte significativa del total de la energía reactiva. El compensar la base, como método general, dejaría un muy importante volumen de energía reactiva existiendo en las redes.

Presentamos una estadística de lo que representa la energía reactiva base, respecto al total de la SE

Tabla 2.5 Evaluación de energía reactiva base

ER-Base /ER - Total	Total	(%)
0% -10%	633	30%
10% - 20%	40	2%
20% - 30%	89	4%
30% - 40%	139	7%
40% - 50%	252	12%
50% - 60%	385	18%
60% - 70%	395	19%
70% - 80%	143	7%
80% - 90%	6	0%
Total general	2082	100%

#### Observaciones

- El cuadro 2.5, señala que en un 30% de los casos, la energía reactiva base representa menos del 10% de la energía reactiva total.
- En algunos de los casos anteriores, en su diagrama de carga se observa instantes donde no hay energía reactiva; por consiguiente  $Q_{base}=0$ .
- La energía reactiva base representa en promedio menos del 50% de la energía reactiva total (análisis de las 2082 SES)

#### Conclusión preliminar

La compensación reactiva en base del diagrama, no necesariamente representa la compensación reactiva óptima. Esta compensación solo es la elemental.

### 2.1.3 Criterio de compensación óptima

#### a) Evaluación en un conductor

Buscaremos determinar que valor debe tener la corriente de compensación “Ic”, para obtener las pérdidas mínimas en un conductor de resistencia “R”, que conduce inicialmente las corrientes “Ip” e “Iq”.

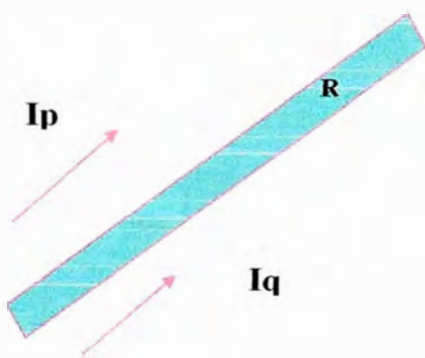


Fig. 2.4 Pérdidas en un conductor

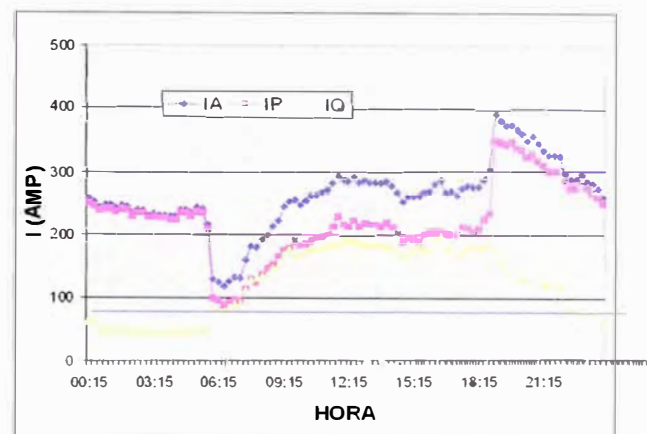


Fig. 2.5 Carga en el conductor

$$P_{comp} = \sum [I_p^2 + (I_q - I_c)^2] * R * t \quad ; \quad (2.1)$$

Para un  $I_c$  determinado las pérdidas serán mínimas

Aplicando derivada para obtener mínimas pérdidas:

$$dp/dI_c = 0 \quad \rightarrow \quad I_c = \sum I_q / n \quad \rightarrow \quad I_c = I_q \text{ promedio}$$

La corriente fija de compensación, para que las pérdidas sean mínimas, es igual al promedio de las corrientes reactivas

## b) Evaluación en SES

Se procede a calcular las pérdidas de energía en dos SES, para distintos porcentaje de la corriente reactiva de compensación. Los resultados de la evaluación en las SES 30S y 31S son las siguientes:

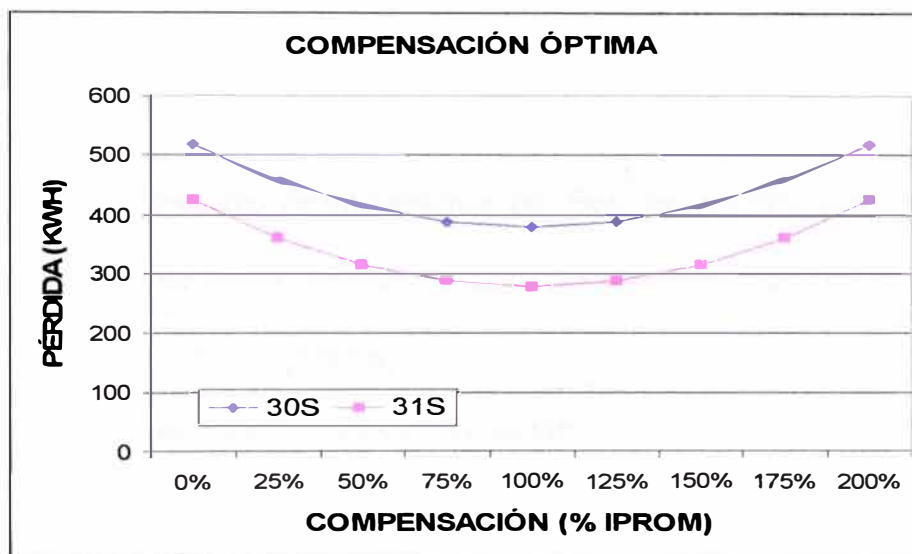


Fig. 2.6 – Pérdidas con compensación

Para las SES evaluadas se verifica que las pérdidas mínimas se dan cuando compensamos con  $I_c = I_{q\_prom}$ .

### Conclusión preliminar

La compensación óptima, que permite obtener las pérdidas mínimas, se obtiene con la corriente promedio ( $I_{q\_prom}$ ) del diagrama reactivo respectivo.

#### 2.1.4 Determinación de la capacidad óptima por SE

Del punto anterior se concluye que la compensación reactiva óptima se obtiene con una carga reactiva igual al promedio de la que posee la Subestación.

Los capacitores colocados en los suministros, en su conjunto, producirán dicha energía reactiva requerida.

**a) Compensación en suministros.**

Se decide realizar la compensación, solo en suministros monofásicos. La compensación en suministros trifásicos implica lo siguiente:

- I Colocación de un capacitor por fase, tres en total por cada suministro, a fin de evitar un desbalance de tensión en el cliente ( a pesar de que su impacto es mínimo)
- II Exige mayor costo de instalación.
- III Requiere mayores dimensiones de espacio.

**Objetivo:**

La compensación en los suministros monofásicos, indirectamente “cubrirán” la energía reactiva demandada por los trifásicos y los no BT5; y permitirán compensar a la subestación a su carga reactiva promedio.

**b) Capacidad óptima por SE.**

Para cada Subestación (SE) se tiene, un capacitor óptimo a poder instalarse en los suministros:

Capacitor ( $Q_c$ ) =  $Q_{\text{prom de SE}} / \text{Cantidad de suministros monofásicos}$

Cada SE posee su capacitor óptimo, buscaremos la mayor incidencia del capacitor óptimo en las diferentes SES.

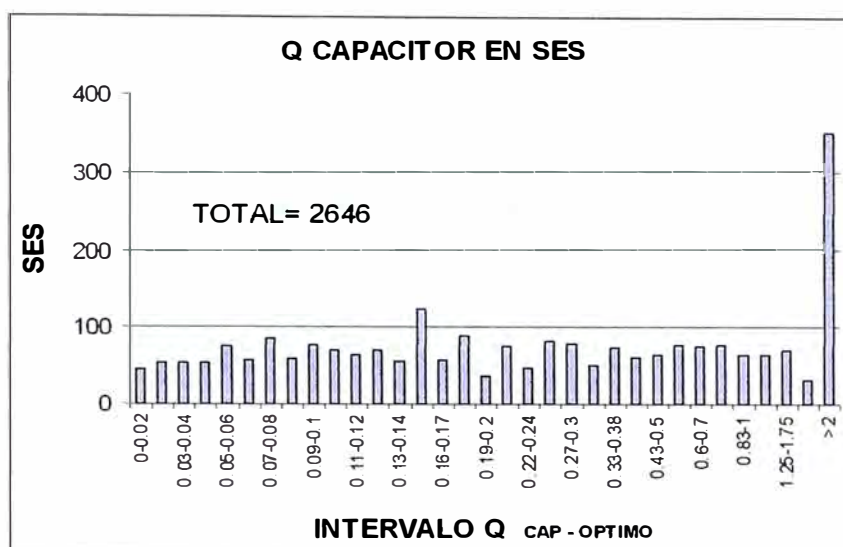


Fig. 2.7 Distribución de Q-optimos en SES

#### Observaciones

- La compensación óptima en las SES, requiere de muy distintos valores de capacitores, no presentándose un capacitor representativo ( $Q_c > 2$ , representa un estrato también disperso)
- Las SES que requieren un  $Q_c$  pequeño se debe a que no poseen muchos reactivos o poseen una gran cantidad de suministros monofásicos
- Las SES que requieren un  $Q_c$  muy alto, se debe a que presentan reactivos muy altos o pocos suministros monofásicos.

#### 2.1.5 Determinación de la capacidad óptima general

Debido a que existe una alta variabilidad en la capacidad óptima en SES, buscaremos cierta flexibilidad en la solución.

Nuestro objetivo será obtener un único capacitor, que permita realizar las compensaciones en las diferentes SES



## Consideraciones

- I) La instalación del condensador la podemos realizar
- En cada suministro
  - En cada dos, tres, cuatro o cinco suministros.
- II) Se pone como caso extremo el caso de cada cinco suministro, a fin de no desvirtuar la idea original de compensar a nivel de cada suministro

Ejemplo, de posibilidades de compensación:

SE 005

Suministros monofásicos : 100

Qprom-SE : 100

Tabla 2.6 Rango Q-óptimo para una SE

Suministros de la SE	Qprom_SE	Instalacion cada n suministros	Suministros Con Capacitor	Q óptimo
100	100	1	100	1
100	100	2	50	2
100	100	3	33	3
100	100	4	25	4
100	100	5	20	5

Al plantear que las SES pueden ser compensadas, de diferente alternativas; se posee ya un rango de Q-óptimo. Se Procede de similar manera para las distintas SES. Seguidamente se busca un Q-óptimo común para las diferentes SES.

Nota: Las SES con  $Q > 2$ , visto en la Fig. N° 2.7, han sido depuradas por ser atípicas (pocos suministros monofásicos, energía reactiva de la SE muy elevada)

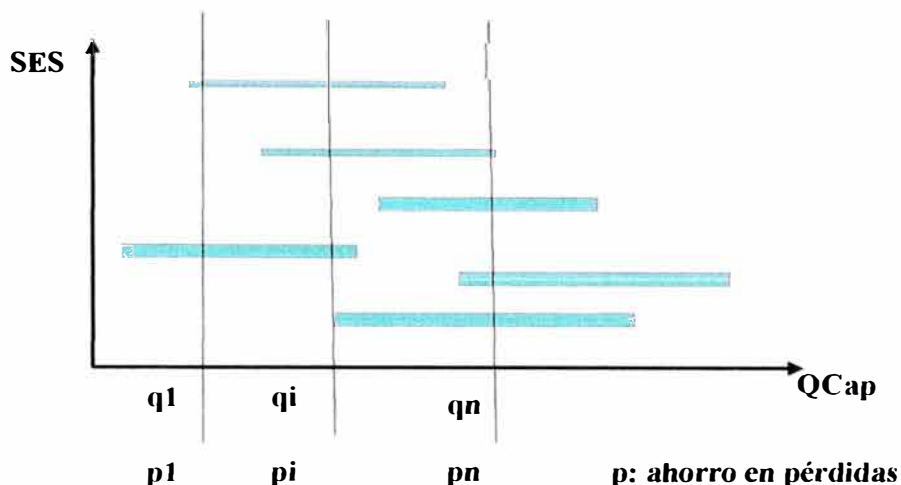


Fig. 2. 8 Distribución de rango de Q-óptimo en SES

El gráfico mostrado, representa los distintos rangos de Q-óptimo de las SES evaluadas, de esta manera existe oportunidad de que un  $Q_{cap}$  ( $q_i$ ), logre compensar óptimamente a un buen número de SES.

El  $q_i$  general buscado, se seleccionará de acuerdo al mayor ahorro de pérdidas obtenido en el grupo de SES donde logra compensar óptimamente.

SE muestran los resultados numéricos

Tabla 2.7 Evaluación de las características de las SES de acuerdo a la compensación óptima escogida.

QPOSIBLE>	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SES	200	860	1146	1245	1214	1154	1053	962	862	738	653
SUMINISTROS 1F BT5	26 386	114 472	160 736	177 168	173 172	162 336	144 350	127 991	110 367	89 588	72 498
SUMINISTROS TOT	28 502	122 595	175 590	200 723	201 762	194 992	180 697	165 683	148 103	123 675	103 594
EA (MWH-MES)	3 972	16 896	28 354	36 930	40 372	42 225	43 072	42 294	40 692	36 327	32 543
ER (MVARH-MES)	591	7 022	14 934	20 935	23 954	25 490	26 098	25 913	25 435	23 434	21 574
AHORRO PERDIDAS (MWH-MES)	4.21	79.83	190.22	265.62	319.97	337.13	351	342.54	341.65	314.37	289.28

Relación de los valores máximos con respecto al total

Tabla 2.8 Incidencia de las máximas características

QPOSIBLE>	Máximo	TOTAL	(%)
SES	1 245	2082	59.8%
SUMINISTROS 1F BT5	177 168	246814	71.8%
SUMINISTROS TOT	201 762	247939	81.4%
EA (MWH-MES)	43 072	74647.925	57.7%
ER (MVARH-MES)	26 098	41294.256	63.2%
AHORRO PÉRDIDAS (MWH-MES)	351	490	71.63%

Nota: para tener los ahorros de pérdidas de energía en cada SE, se calcularon las pérdidas de cada SE, en dos estados, sin compensación y con compensación óptima, a través del programa “Flujo en Baja Tensión con Compensación Reactiva”. Dicho programa pertenece a la Empresa Distribuidora

#### Observaciones

- 1246 SES se logran compensar óptimamente, usando condensadores que generen 0.3 kvar.
- Con condensadores de 0.6 kvar, se logran compensar óptimamente a 1 053 SES, pero acá se obtiene también el mayor ahorro de pérdidas del total de la muestra evaluada.
- Con la selección del capacitor óptimo se lograría compensar óptimamente el 50,5% de las SES de la muestra, cubriéndose el 71.63% de las pérdidas de las SES óptimamente reducibles.

El resto de SES, también podrán ser compensadas:

- Las que requieren pocos reactivos, se les colocará muy pocos condensadores, lográndose también compensarlas óptimamente (un capacitor cada 6,7...suministros).
- Las que requieren altos reactivos, se colocará condensadores en todos sus suministros monofásicos, se compensará parcial al valor óptimo.

### III) Compensación en SES

La compensación seguirá el siguiente cuadro de decisión.

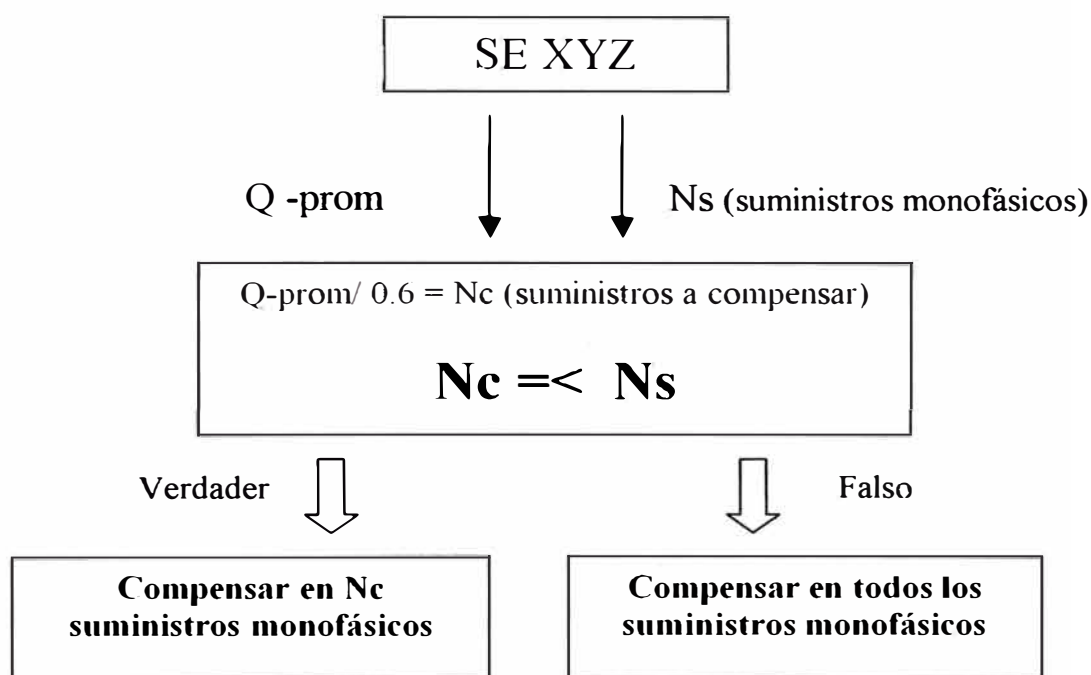


Fig. 2.9 Flujo de decisión en compensación reactiva

En la práctica, se escogerá los suministros con mayor consumo de energía para la instalación de los capacitores.

### 2.1.6 Variación de tensión en suministros encontradas

De los flujos de realizados, se ha obtenido el promedio de las variaciones de tensión en cada una de las SES, los resultados se dan en el siguiente gráfico

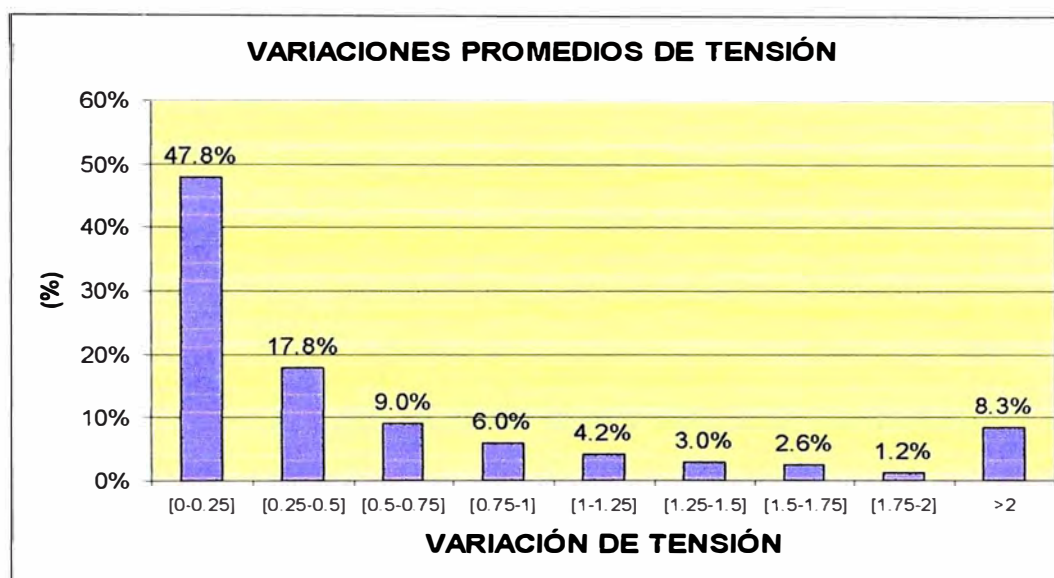


Fig. 2.10 Variaciones promedios de tensión en las SES

Observaciones:

- Prácticamente el 50% del total de las SES evaluada presentaron una variación menor igual a 0.25 voltios.
- El 80.6% del total de SES evaluadas, presentan una variación menor a 1.0 voltios.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE LA RED

#### 3.1 Análisis del sistema

##### 3.1.1 Análisis del sistema

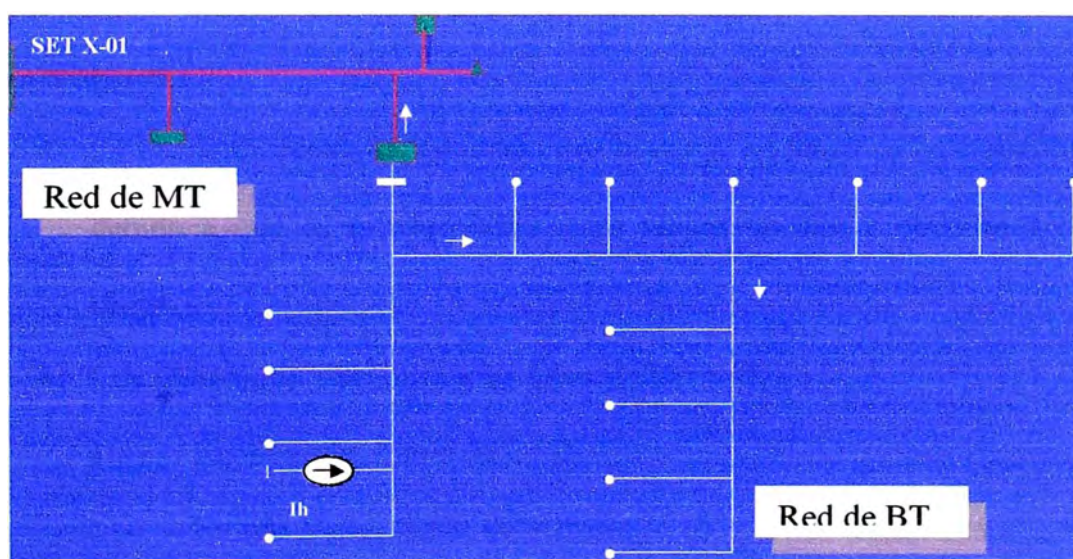


Fig. 3.1 Flujo de corrientes armónicas

En una SE cualquiera, existen diferentes niveles de corrientes armónicas generadas por cargas no lineales, esta corriente recorrerá el sistema de acuerdo a las impedancias de la red. Así mismo, surgirán tensiones armónicas debido al flujo de corrientes armónicas.

Al realizar la compensación reactiva en los suministros de baja tensión, el flujo de estas corrientes varía debido a la variación de la impedancia de la red

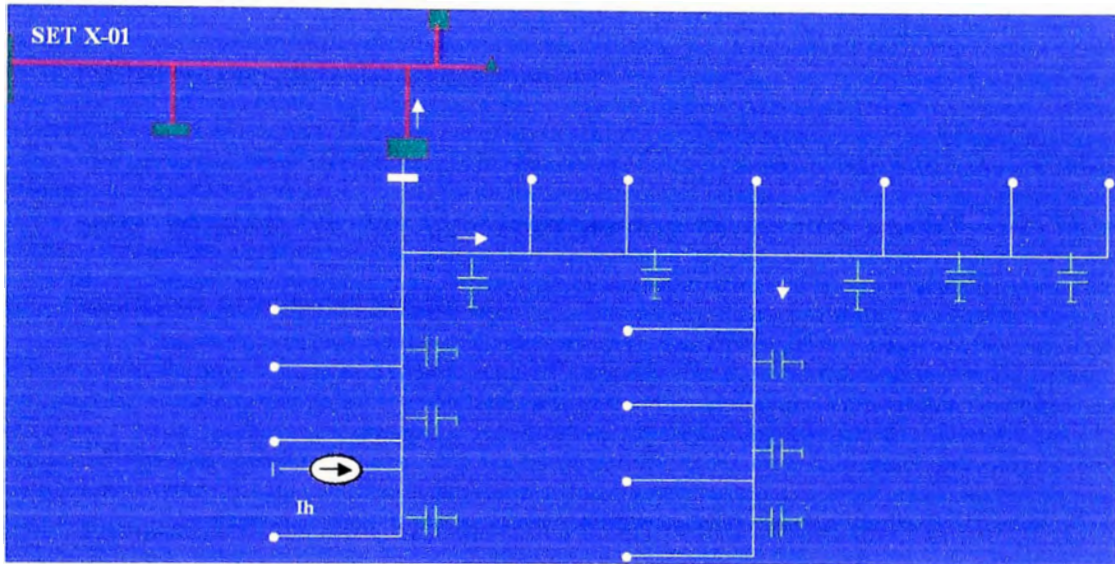


Fig. 3.2 Redistribución de corrientes armónicas

#### Observaciones

- La corriente armónica generada por la carga no lineal se mantiene constante, debido a que es independiente a las cargas vecinas y obedece a su propia carga.
- Los armónicos, obedecen a las leyes de kirchoff:
  - a) En un nodo; Suma de  $I = 0$
  - b) En una malla; Suma de  $V = 0$
- Para conocer el impacto de estas corrientes armónicas es necesario evaluar las impedancias de todo el sistema. Es decir:
  - a) Impedancia en barra MT hacia aguas arriba.
  - b) Impedancia del transformador
  - c) Impedancia de la red de Baja tensión.

- Cada una de las impedancias mencionadas deben ser evaluadas a las diferentes frecuencias armónicas.
- Es necesario considerar que la NTCSE evalúa a los armónicos de tensión en las barras de salida del transformador
- Así mismo es necesario conocer las corrientes que soportara el capacitor, al estar instalado en los diferentes puntos de la Red de BT; debido a las tensiones armónicas generadas.

### Conclusiones Parciales

- Es necesario modelar las diferentes redes mencionadas anteriormente
- Se evaluará el incremento de tensión armónica en barra BT (NTCSE)
- Se evaluará Las posibles corrientes armónicas que soportará el capacitor en su funcionamiento en la red BT

## 3.2 Modelamiento de impedancias del sistema

### 3.2.1 Red MT aguas arriba

La impedancia de la red MT aguas arriba, la podemos obtener a partir de la impedancia de corto circuito en barra de MT del transformador. A partir de  $Z_{cc}$  (60Hz) obtendremos el comportamiento de dicha red a diferentes frecuencias.

Esta es una aproximación debido a que el barrido de dicha impedancia no es exactamente lineal

Nota: LA EMPRESA DISTRIBUIDORA posee las  $Z_{cc}$ , en la totalidad de sus SES. Como ejemplo pondremos el calculo realizado en el SET PQ, comparándolo con su modelo aproximado a partir de  $Z_{cc}$



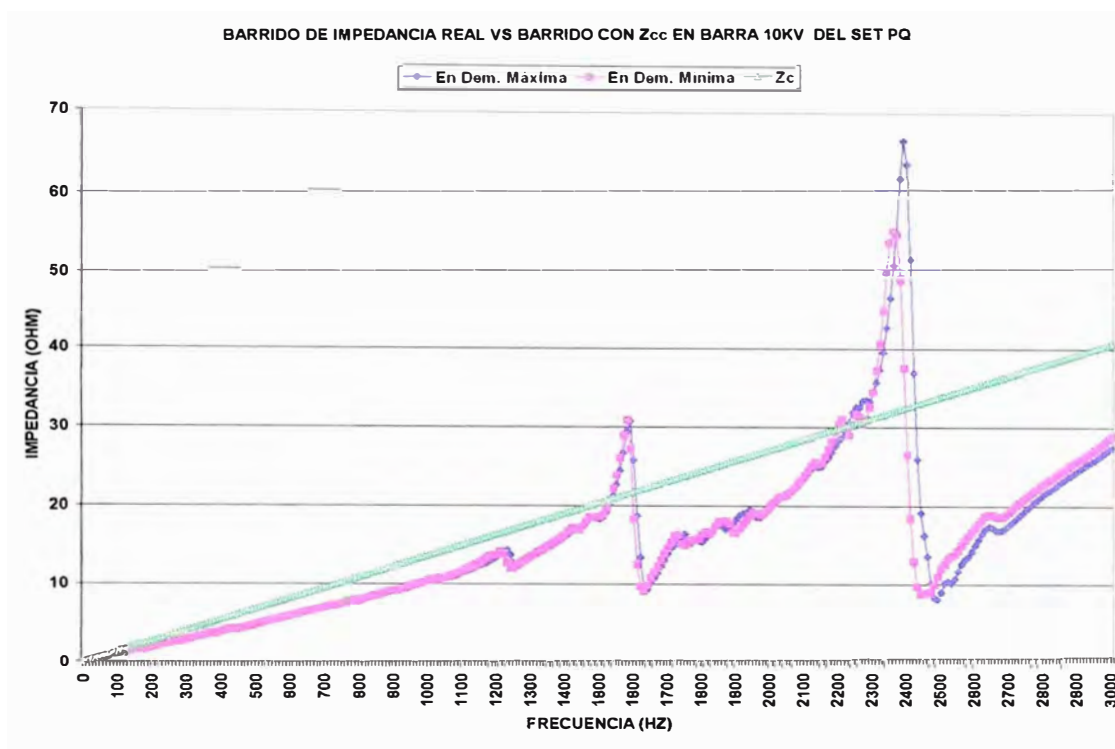


Fig. 3.3 Comparación de Barridos de impedancias

### Conclusión

- La  $Z_{cc}$ , nos permite obtener una buena referencia de la impedancia real de la red MT, aguas arriba.
- Sin embargo no logra “detectar” los valores de resonancia (\*); por lo cual se debe considerar la curva de  $Z_{cc}$  y realizar una evaluación adicional.

(\*) Mayor detalle ir Apéndice A: “Conceptos prácticos de Resonancia”

### 3.2.2. Evaluación de la impedancia del transformador

El transformador, de acuerdo a su modelo eléctrico, posee la impedancia que representa al núcleo y la impedancia que representa al bobinado. Para nuestro caso nos es de importancia la primera; similar a los estudios de corridas de flujo, la impedancia es relativamente elevada.

Para el cálculo la impedancia del transformador nos valemos de:

a) Las pérdidas nominales del transformador

b) La  $Z_{cc}$  (%) =  $V_{cc}$  (%) del transformador, la que consideramos en promedio 6%

Tenemos entonces:

$$Z = \sqrt{S} * 6\%$$

$$R = P_{cu} / (S_n / V_n)^2$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} * 0.5$$

Se muestra el cálculo realizado para el transformador de 100 KVA, referido a BT

Potencia	Pfe	Pcu	Z	R	X
100	0,4	1,8	0,0000317	0,0000095	0,0000303

### 3.2.3 Impedancia de MT y de transformación

Se ha obtenido los valores extremos en que varía la impedancia total de la red en barra de Baja tensión

$$Z = Z_{mt} + Z_{Trafo} + Z(\delta) \quad (3.1)$$

Donde:

$Z_{MT}$ : Es la impedancia  $Z_{cc}$ , en barras MT del transformador

$Z_{Trafo}$ : Es la impedancia del transformador

$Z(\delta)$ : Es el incremento considerado por efecto de resonancia.

Teniendo en cuenta lo anterior, la impedancia equivalente aguas arriba, vista desde las barras de BT de LA EMPRESA DISTRIBUIDORA se encuentran en el siguiente intervalo:

Tabla 3.1 Impedancias desde la barra de baja tensión hacia aguas arriba

RED MT	Z	TETA
1	0,000133	80,6
2	0,00168	79,0
3	0,003227	77,4
4	0,004774	75,8
5	0,006321	74,2
6	0,007868	72,6
7	0,009415	71,0
8	0,010962	69,4
9	0,012509	67,8
10	0,014056	66,2
11	0,015603	64,6
12	0,01715	63,0
13	0,018697	61,4
14	0,020244	59,8
15	0,021791	58,2
16	0,023338	56,6
17	0,024885	55,0
18	0,026432	53,4
19	0,027979	51,8
20	0,029526	50,2

#### Observaciones

- La impedancia se muestra referida a la red de BT.
- Se ha convenido segmentar la impedancia en 20 alternativas para evaluar en cada una de ellas.
- Los valores mayores presenta menor ángulo, debido a que se refieren a SES, que se encuentran en “cola” y que contienen la impedancia de la Red MT.

#### 3.2.4 Red de baja tensión

Para evaluar la red de Baja tensión, es necesario considerar:

- a) Los parámetros de las redes
- b) Las cargas asociadas

Cada uno de ello, modelado a las diferentes frecuencias.

Este cálculo se ha realizado con ayuda del software “Barrido de impedancia en redes de BT” perteneciente a la empresa distribuidora, la cual permite realizar el barrido de impedancia de la red evaluada desde cualquier nodo de la red. Dicho software se

encuentra en conformidad a las recomendaciones de la IEEE Std 399-1997 “IEEE Recomendaciones prácticas para análisis de sistemas de potencia industrial y comercial”

De la aplicación del software se obtiene el barrido de impedancia de la red

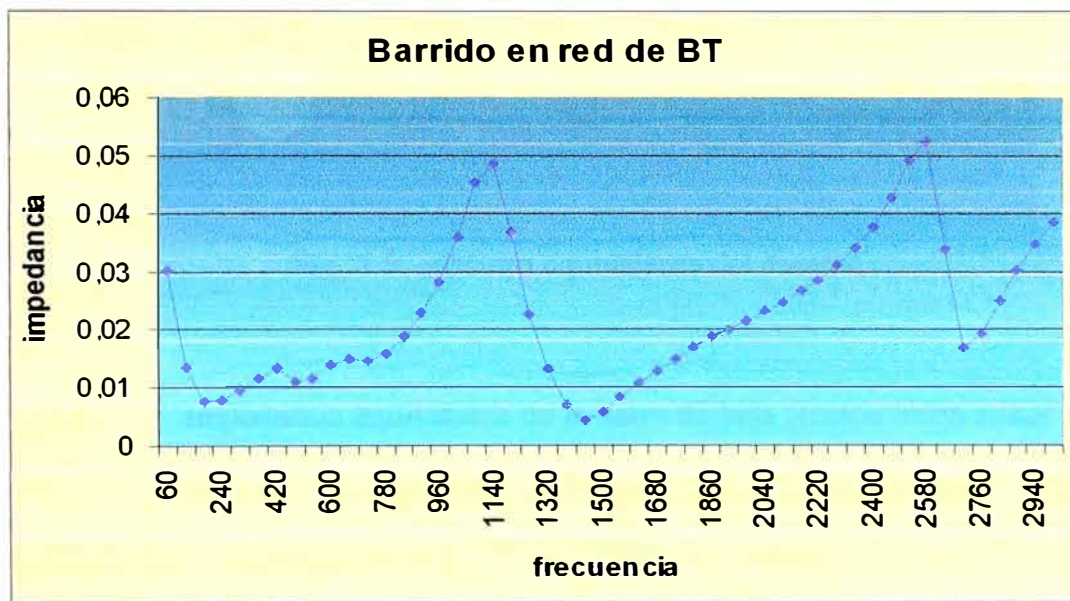


Fig 3.4 Barrido de impedancia en redes de BT

Se ha realizado diferentes barridos considerando las diferentes condiciones de las SES

Potencias distribuida : 50KW; 450 KW; 700 KW; 1200 KW

Evaluado a Máxima demanda y mínima demanda

Factor de potencia : 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9

### 3.3 Evaluación del sistema

#### 3.3.1 Evaluación a 60HZ, en barra BT.

El sistema presenta el siguiente modelamiento

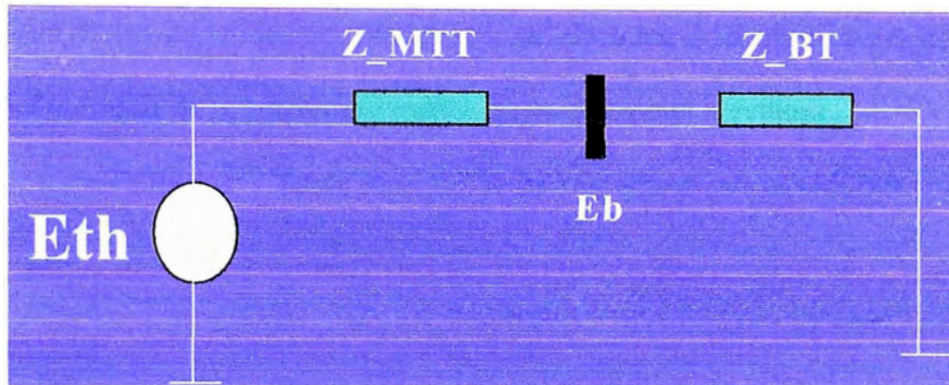


Fig 3.5 circuito equivalente del sistema

Donde:

$Z_{MTT}$ : Impedancia equivalente de la barra de baja tensión hacia aguas arriba

$Z_{BT}$  Impedancia equivalente de cargas y redes de baja tensión

Se obtiene las siguientes relaciones

$$E_b = \frac{Z_{BT}}{Z_{BT} + Z_{MTT}} * E_{th} \quad (3.2)$$

$$E_b = \frac{Z_{BT}}{Z_{BT} + Z_{MTT}} * E_{th} * \left(\frac{Z_{MTT}}{Z_{MTT}}\right) \quad (3.3)$$

$$E_b = \frac{Z_{th}}{Z_{MTT}} * E_{th} \quad (3.4)$$

Sin condensador

$$E_{b_{sc}} = \frac{Z_{th_{sc}}}{Z_{MTT}} * E_{th}$$

Con condensador

$$E_{b_{cc}} = \frac{Z_{th_{cc}}}{Z_{MTT}} * E_{th}$$

De ambas:

$$E_{bcc} = (Z_{thcc} / Z_{thsc}) * E_{bsc} \quad (3.5)$$

La relación  $(Z_{thcc} / Z_{thsc})$ , es el factor de amplificación de la tensión

Los valores de las impedancias, varia de acuerdo a los diferentes casos evaluados, se muestra el formato de la tabla, que indica las condiciones a evaluar:

Tabla 3.2 Tabla modelo de las impedancias a evaluarse

		RED MT											
	FDP	ZMT_1	ZMT_2	ZMT_3	ZMT_4	ZMT_5	ZMT_6	ZMT_7	ZMT_8	ZMT_9	ZMT_10	ZMT_11	ZMT_12
POTENCIA SE (50 KW)	0.1												
	0.2												
	0.3												
	0.4												
	0.5												
	0.6												
	0.7												
	0.8												
	0.9												
POTENCIA SE (250 KW)	0.1												
	0.2												
	0.3												
	0.4												
	0.5												
	0.6												
	0.7												
	0.8												
	0.9												
POTENCIA SE (450 KW)	0.1												
	0.2												
	0.3												
	0.4												
	0.5												
	0.6												
	0.7												
	0.8												
	0.9												
POTENCIA SE (700 KW)	0.1												
	0.2												
	0.3												
	0.4												
	0.5												
	0.6												
	0.7												
	0.8												
	0.9												
POTENCIA SE (1200 KW)	0.1												
	0.2												
	0.3												
	0.4												
	0.5												
	0.6												
	0.7												
	0.8												
	0.9												

En el Apéndice B : “Factores de amplificación de la tensión en barra BT”; se da los resultados de los 900 casos evaluados. Que permitirá conocer la amplificación de tensión para las diferentes SES con compensación

Considerando que la mayor incidencia de los transformadores de LDS, es de 100 KVA y que el fdp se encuentra alrededor de 0.9. Se ha estimado un impacto en la tensión de :

Mínimo	1.00% (mayoría de casos)
Promedio	1.20%
Máximo	3.00% (caso extremo)

### Conclusiones Parciales

- En el caso de realizar una instalación masiva, lo anterior conlleva a una regulación a nivel de SE con ayuda de los taps; o una regulación a nivel de transmisión.
- El factor de amplificación obedece a tres factores principalmente:
  - La potencia de la SE
  - El factor de potencia
  - La impedancia  $Z_{MTT}$
- Al existir un una compensación elevada a en una red larga, la caída de tensión será menor por dicha red, por consecuencia el incremento de la tensión será mayor.

### 3.3.2 Evaluación a frecuencia diferentes a 60HZ en barra BT.

Se modela el siguiente circuito

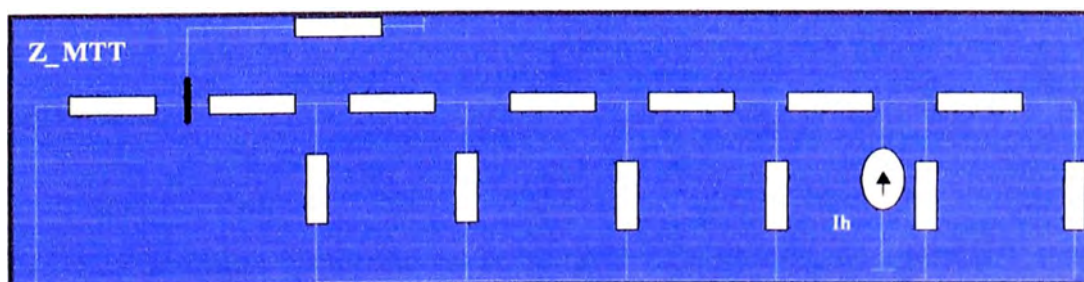


Fig. 3.5 Modelamiento de red

El circuito equivalente es el siguiente:

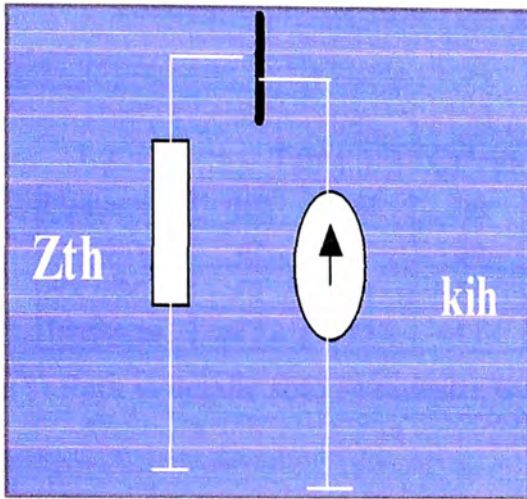


Fig. 3.6 Circuito equivalente

**Donde:**

$$E_{bsc} = k_{sc} \cdot I_h \cdot Z_{thsc} \quad (3.6)$$

Igualmente con condensador:

$$E_{bcc} = k_{cc} \cdot I_h \cdot Z_{thcc} \quad (3.7)$$

**De (3.6) y (3.7)**

$$E_{bcc} = (k_{cc} / k_{sc}) \cdot (Z_{thcc} / Z_{thsc}) \cdot E_{bsc}$$

$$E_{bcc} = (Z_{thcc} / Z_{thsc}) \cdot E_{bsc} \quad (3.8)$$

**(\*)  $K_{sc}$ ;  $K_{cc}$ ; ( $K_{cc} / K_{sc}$ ); Menor que 1, en el 95% de casos**

Nota : El valor de la constantes K, depende de la red y sus cargas para cada una de las frecuencias evaluadas. Se puede obtener al reducir la red mostrada inicialmente, transformándola de fuente de corriente a fuente de tensión, de ahí a fuente de corriente y así sucesivamente . Los cálculos realizados nos arroja valores menores que 1 en el 95% de los casos. Se toma el caso extremo para nuestras evaluaciones.

#### Observaciones

- Las tensiones armónicas en la barra de baja tensión, nos permitirá evaluar el impacto en la NTCSE por presencia de armónicos.



- Se posee la estadística de tensiones armónicas en barra de BT, sin condensador, obtenido por evaluación de la NTCSE

Tabla 3.3 Cálculo de tensiones con condensador

Frecuencia	120	180	240	300	360	420	480	540	600
Tensión sc	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8	e9	e10
ZCC/ZSC	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Tensión cc	e2*F2	e3*F3	e4*F4	e5*F5	e6*F6	e7*F7	e8*F8	e9*F9	e10*F10

(\*) Para el detalle solo se muestra hasta el armónico 10

#### Conclusión de los cálculos

- El THD de tensión en la barra de BT, al instalarse los capacitores presentará una variación promedio de 0.2 puntos porcentuales en su valor de THD inicial.
- Lo anterior no implicó, el paso de nuevos casos que superen el THD, establecido por norma.

#### 3.3.3 Efectos sobre el capacitor

a) En barra de Baja Tensión

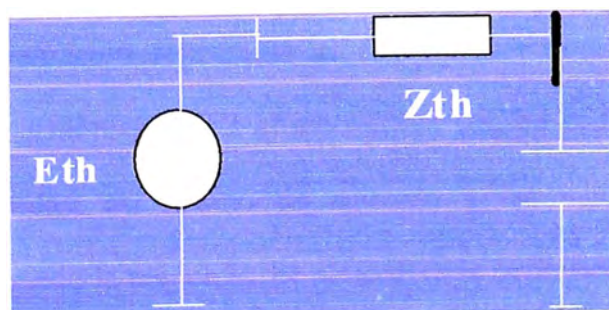


Fig 3.7 sistema equivalente en BT

Se realiza una evaluación para cada orden de armónico:

$$I_c = E_{th} / (Z_{th} + X_c) \quad (3.9)$$

Donde

Eth: Se selecciona la lectura de la NTCSE, mas extrema (máximo)

Zth: impedancia equivalente en barra BT.

Así mismo:

$$I_c = (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots)^{0,5} \quad (3.10)$$

Se evalúa diferentes casos, y se toma el más crítico

$$I_c = 4.15 \text{ Amp.}$$

Observación

El capacitor seleccionado inicialmente como punto de referencia, posee una tensión nominal de 400 Volts y una In a esa tensión de 5 Amperios. A 220 V logra generarse 0.6 KVAR.

Conclusión Parcial

Con la corriente de 4.15 amperios, el capacitor se encontraría sometido al 83% de su capacidad nominal real. Logrando operar sin mayor complicación.

Esta evaluación representa el caso mas extremo, ya que se ha modelado con la tensión armónica cuyas componentes son en cada caso las máximas de las lecturas encontradas; así mismo de acuerdo a los valores de Zth, se a determinado y seleccionado la mayor Ic, de acuerdo a la expresión 3.10

b) En un punto de la red de baja tensión

El efecto en cualquier punto de la red, depende básicamente de la carga no lineal y su respectiva fuente armónica en la red.

Hemos simulado a un cliente de 70 KVA, que represente a una carga de computadora y equipos de oficina, generando los armónicos mas críticos, por su tipo de carga. Al lado de esta carga hemos conectado el capacitor y evaluado su efecto sobre el.

El circuito equivalente sería:

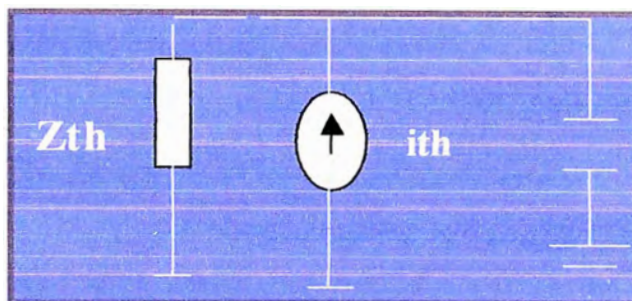


Fig 3.8 Circuito equivalente de evaluación

La  $I_c$  mas extrema que soportaría el capacitor, de acuerdo al reparto de carga para diferentes  $Z_{th}$  evaluados, sería de 5.4 Amperios. Dicha corriente, aún se encuentra en la capacidad de tolerancia (en sobrecarga) del capacitor.

Conclusión

**El capacitor puede soportar condiciones bastante extremas con poca posibilidad de dañarse.**

### 3.4 Características técnicas del condensador

El capacitor que se adapta a los diversos tipos de carga de las diferentes SES, permitiendo su uso masivo y obteniendo máximos beneficios es:

Capacidad	33 uF
Reactivos que entrega	0.6 KVAR
Tensión Nominal	440 V
Tensión de operación	220 V
Tiempo de Vida	10 años

El Apéndice C: “Condensadores monofásicos para Baja Tensión”, da detalle de las especificaciones técnicas del capacitor

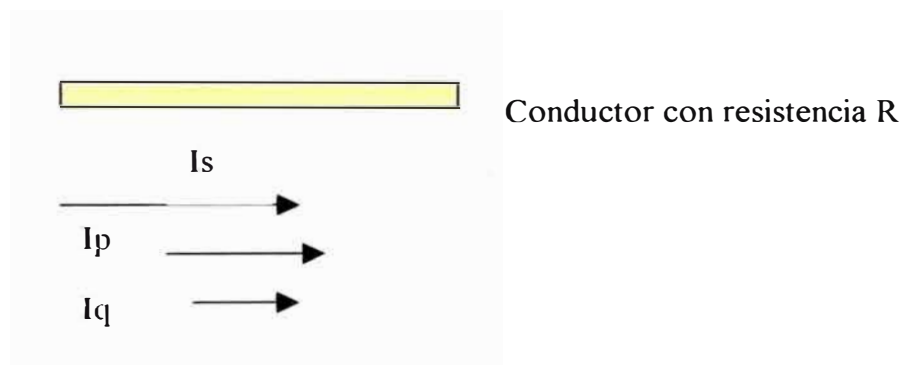
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 4.1 Evaluación de ahorros

##### 4.1.1 Modelos de estimaciones de ahorro de pérdidas

Pérdidas producidas por efecto de  $I_q$



Sabemos que:

1) Pérdida Total =  $I_s^2 \cdot R$  (4.1)

2)  $I_p^2 + I_q^2 = I_s^2$  (4.2)

3)  $I_p$  ;  $I_q$  ;  $I_s$  forman parte del triángulo de potencia

$\text{Perd}(I_s) = \text{Perd}(I_p) + \text{Pérd}(I_q)$  (por condición 1 y 2)

$\text{Perd}(I_q) = \text{pérd}(I_s) \cdot (1 - \text{fdp}^2)$  (por condición 3)

Lo anterior, nos permite determinar las pérdidas producidas por la corriente reactiva, en función de las pérdidas totales.

Existe un factor de corrección por considerar el factor de potencia constante, de los flujos iniciales en la red de BT para el cálculo de pérdidas con condensador y sin condensador, se obtiene un factor promedio de 0.87

$$\text{Perd}(I_q) = 0.87 * \text{pérd}(I_s) * (1 - \text{fdp}^2)$$

#### 4.1.2 Pérdidas con compensación

Las pérdidas iniciales la conocemos de los estudio de pérdidas de LA EMPRESA DISTRIBUIDORA

Pérdidas después de compensar :  $\text{Perd}(I_{q2})$

$$\text{Pèrd}(I_{q1}) = \text{suma}(I_{11}^2 + I_{12}^2 + I_{13}^2 + I_{14}^2 + I_{15}^2 + \dots + I_{1n}^2) * R \quad (4.3)$$

$$\text{Pèrd}(I_{q2}) = \text{suma}(I_{21}^2 + I_{22}^2 + I_{23}^2 + I_{24}^2 + I_{25}^2 + \dots + I_{2n}^2) * R \quad (4.4)$$

Donde  $I_{1i}$ ;  $I_{2i}$ ; son las corrientes reactivas en el tiempo

Además:

$$I_2 = I_1 - I_c; \quad I_c \text{ corriente de compensación} \quad (4.5)$$

$$FP = \text{Suma}(I_i^2) / (n * I_{\text{max}}^2) \quad \text{Factor de pérdidas} \quad (4.6)$$

$$F_c = I_{\text{med}} / I_{\text{max}} \quad (4.7)$$

$$\text{Dividiendo (4.3) / (4.4)} \quad (4.8)$$

$$(4.5), (4.6) \text{ y } (4.7) \text{ en } (4.8)$$

Obtenemos:

$$\text{Perd}(Iq2)/ \text{Perd} (Iq1) = 1 - 2 * Ic(pu) * FC^2/FP + Ic(pu)^2 * FC^2/FP \quad (4.9)$$

Donde  $Ic(pu)$  es :  $Ic / I1prom$

La relación de  $FC^2/FP$ , es variada depende de cada SE; mayormente se encuentra alrededor de 0.9. Se prefiere obtener unas pérdidas conservadoras y se ha considerado dicha relación igual a 1.

$$\text{Perd}(Iq2)/ \text{Perd} (Iq1) = 1 - 2 * Ic(pu) + Ic(pu)^2 \quad (4.10)$$

$$\text{Perd}(Iq2)/ \text{Perd} (Iq1) = ( 1 - Ic(pu) )^2 \quad (4.11)$$

$$\text{Perd}(Iq2)/ \text{Perd} (Iq1) = ( Q2/Q1 )^2 \quad (4.12)$$

#### NOTA

Los modelos de estimaciones presentadas anteriormente, no pretenden reemplazar un completo flujo de carga, evaluaciones realizadas a través de los respectivos flujos han verificado las aproximaciones de los resultados, siendo estos bastantes válidos para las tasaciones totales

#### 4.1.3 Ahorro por compensación

El ahorro se obtendrá como diferencia de las pérdidas sin condensadores y pérdidas con condensador. Los métodos mostrados anteriormente se usarán para estimar las pérdidas en las redes de BT, redes de MT y pérdidas por efecto Joule en transformadores.

a) Cuantificación del Ahorro

Se evalúa el ahorro de implantarse a nivel de toda LA EMPRESA DISTRIBUIDORA

<b>AHORROS</b>	<b>KWH -MES</b>	
<b>REDES BT</b>	<b>856 712</b>	<b>49%</b>
<b>TRANSFORMACIÓN MT/BT</b>	<b>247 561</b>	<b>14%</b>
<b>REDES MT</b>	<b>474 346</b>	<b>27%</b>
<b>TRANSFORMACIÓN AT/MT</b>	<b>175 456</b>	<b>10%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1 754 075</b>	<b>100%</b>
<b>*BENEFICIO EN ENERGIA REACTIVA</b>	<b>81 GVAR</b>	

**CAPACITORES NECESARIOS 187 462 UNIDADES**

**IMPACTO PÉRDIDAS EN LA EMPRESA DISTRIBUIDORA : 0 . 50%**

Observaciones

- Actualmente LA EMPRESA DISTRIBUIDORA, no realiza pago por reactivos, por lo cual no hay un beneficio directo por dicho ahorro. Sin embargo representa un respaldo futuro. Para otra empresa este impacto sí puede ser cuantificado, siendo mas rentable el proyecto
- En el área de transmisión, se encuentran compensadores automáticos, que reducirán su entrega de reactivos, por tanto en el balance de transmisión, se



estima que en promedio la energía reactiva no sufrirá variaciones mayores, motivo por el cual no se ha considerado un ahorro en dichas redes.

#### **4.2 Evaluación económica**

Sobre la base de los resultados anteriores, se calcula los ratios económicos globales.

##### Costos unitarios

Costo del condensador	US\$ 8.00
Costo de instalación	US\$ 3.00
Costo compra KWH	US\$ 0.042
Inversión	2 062 082 US\$

Indicadores Económicos; para una evaluación de 10 años con  $i = 18\%$

VAN	2 229 262 US\$
TIR	51.4%
TRC	3 AÑOS

##### Observaciones

Lo anterior representa la rentabilidad promedio general en toda LA EMPRESA DISTRIBUIDORA, no obstante existen casos de mayores beneficios.

No se ha considerado beneficio por solucionar problemas de subtensión

### 4.3 Propuesta de pilotos

En los pilotos propuestos se consideran

- a) Mayores rentabilidades
- b) Alimentadores con problemas de Subtensión
- c) Se evitará trabajar en SES que sobrepasen la tolerancia de armónicos señalado por la NTCSE.

Los pilotos propuestos son:

Tabla 4.1 pilotos propuestos para compensación reactiva en baja tensión

ALIMENTADOR	EVALUACIÓN ECONOMICA				
	Ahorro-mes (US\$)	Inversion(US\$)	VAN (10 años; i=18%)	B/C(10 años; i=18%)	TRC meses (i=18%)
SL-02	19	297	782	3,633	18
A-21	234	4 026	9 592	3,382	19
G-06	671	12 100	26 978	3,230	20
NA-03	241	4 466	9 544	3,137	21
A-13	8	143	304	3,128	21
L-05	85	1 551	3 400	3,192	21
PL-01	107	2 167	4 078	2,882	23
C-15	43	913	1 611	2,765	25
SL-01	222	4 895	8 040	2,642	26
PL-03	64	1 441	2 309	2,603	26

## CONCLUSIONES

1. La compensación reactiva en baja tensión, presenta ratios económicos atractivos de inversión con TIR promedio de 51% , del total evaluado se encuentran casos de mayor TIR.
2. Por efecto capacitivo, se presenta un incremento promedio de tensión en los suministros de 1Volt.
3. De lo anterior se obtiene un beneficio adicional en casos de subestaciones con problemas de pago por NTCSE (Subtensión)
4. De aplicarse masivamente, los incrementos de tensiones experimentada en toda la red, haría necesario una nueva regulación en el ámbito de cada SE y de SETS
5. El incremento de la distorsión armónica THD es de 0.2 puntos porcentuales, lo cual no involucra nuevos casos fuera de norma.
6. En caso de subestaciones, ya con problemas de compensación económica por la NTCSE, al superar los THD armónicos normados, preferiblemente no se aplicara la compensación reactiva para no agravar el problema.

7. Los pilotos permitirán una corroboración de los cálculos realizados en el estudio, y las mejoras del caso.

## **APÉNDICES**

## APÉNDICE A

### CONCEPTOS PRÁCTICOS DE RESONANCIA

#### CONCEPTOS PREVIOS

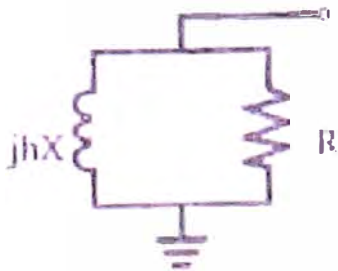
Las impedancias de las redes y las cargas se comportan, de manera particular ante la presencia de los armónicos. Su impedancia varía de acuerdo al orden de la frecuencia de la tensión armónica de la red

#### Red corta



En una red corta tanto la resistencia como la inductancia de línea, varía conforme a la frecuencia

#### Carga



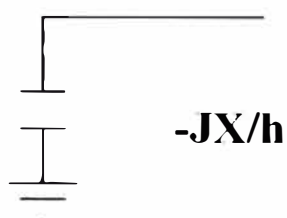
En una carga (estática o dinámica) los valores de la impedancia la podemos obtener a partir de sus valores a 60 hz. Donde la resistencia de carga se mantiene constante. No se presenta el efecto Skin. El valor de h es el orden del armónico.

$$R = V^2/P$$

$$X = V^2/Q$$

### Capacitor

La impedancia de un condensador. se reduce conforme se incrementa la frecuencia.

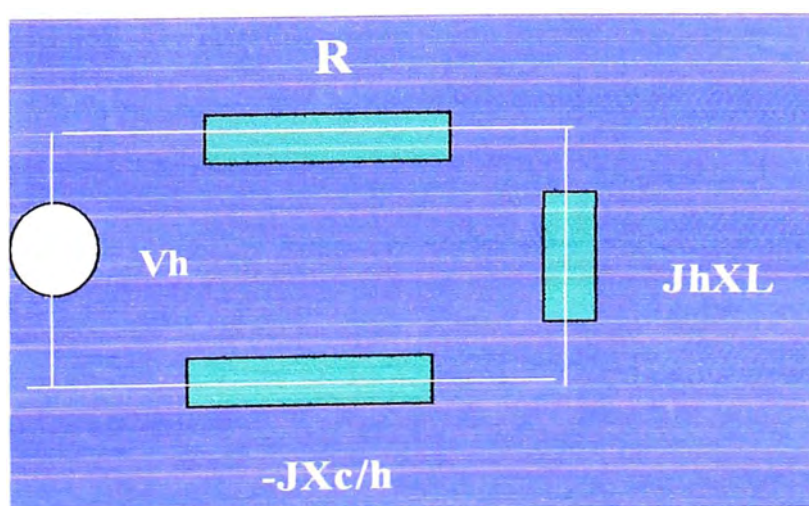


### RESONANCIA

La impedancia de una red , varia de acuerdo a la frecuencia, para una determinada frecuencia, el elemento capacitivo e inductivo pueden igualarse y el sistema se puede observar como netamente resistivo. Se dice entonces que se encuentra en resonancia

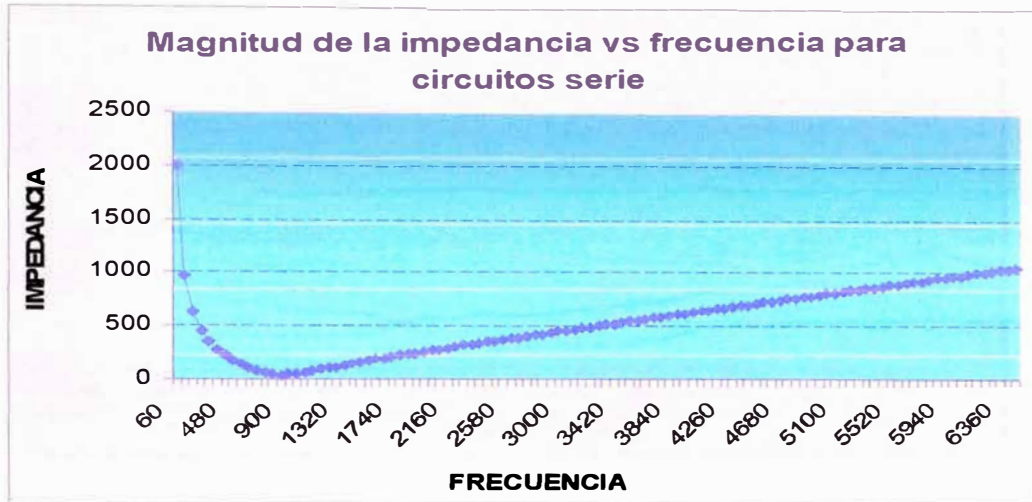
### Resonancia Serie

La impedancia, de un circuito R-L-C serie es como se muestra:



$$Z = R + j(\omega L - X_c/\omega)$$

$$Z = [R^2 + (\omega L - X_c/\omega)^2]^{0.5}$$

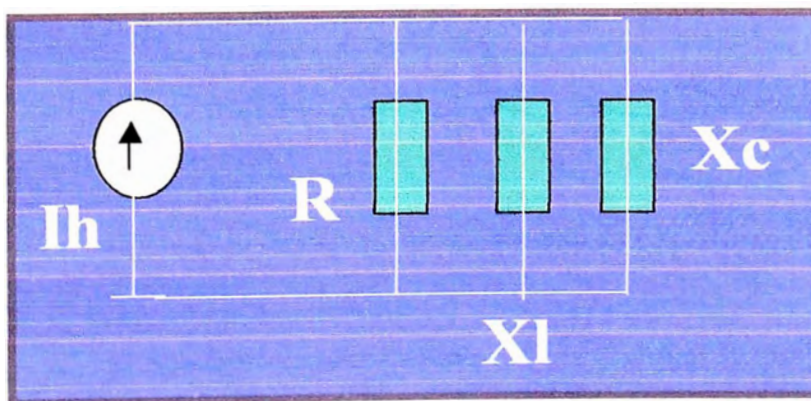


#### Consecuencias en resonancia serie (baja impedancia):

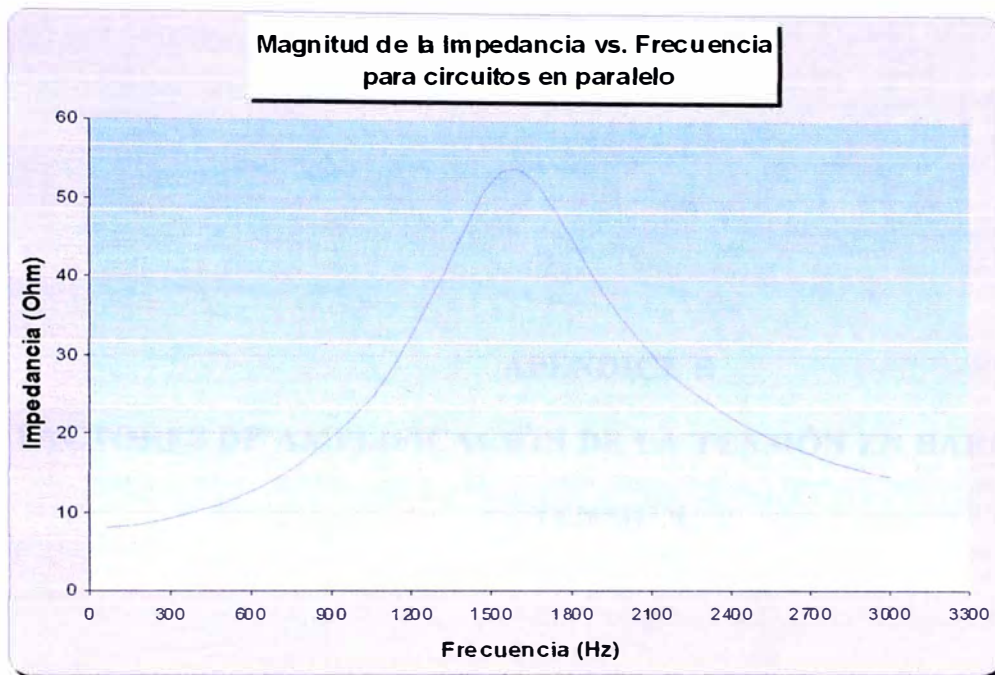
- $I = V/Z$  > Alta corriente
- $V_L = I \cdot X_L$  ;  $V_c = I \cdot X_c$  > Alta tensión en los elementos

#### Resonancia paralelo

Los elementos RLC, se encuentran en paralelo







**Consecuencias en resonancia paralelo (alta impedancia)**

- A)  $Z_{\text{alta}} > V_h = I_h \cdot Z_h$  Alta Tensión**
- B)  $I_h = V_h / X_h >$  Alta corriente**

Nota; la resonancia es alta impedancia pero no máxima impedancia.

## **APÉNDICE B**

### **FACTORES DE AMPLIFICACIÓN DE LA TENSIÓN EN BARRA DE BAJA**

#### **TENSIÓN**

Minima  
Demanda

Frecuencia	Factor de potencia=0.1																			
	ZMT_1	ZMT_2	ZMT_3	ZMT_4	ZMT_5	ZMT_6	ZMT_7	ZMT_8	ZMT_9	ZMT_10	ZMT_11	ZMT_12	ZMT_13	ZMT_14	ZMT_15	ZMT_16	ZMT_17	ZMT_18	ZMT_19	ZMT_20
60	1.01	1.07	1.13	1.20	1.27	1.33	1.40	1.46	1.52	1.57	1.62	1.67	1.71	1.75	1.78	1.80	1.81	1.83	1.83	1.83
120	1.01	1.21	1.43	1.68	1.93	2.15	2.28	2.31	2.24	2.12	1.99	1.86	1.74	1.63	1.54	1.46	1.39	1.33	1.27	1.23
180	1.03	1.31	1.34	1.14	0.94	0.79	0.68	0.60	0.55	0.50	0.47	0.44	0.42	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33
240	1.02	0.99	0.75	0.58	0.47	0.40	0.35	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18
300	0.97	0.60	0.41	0.31	0.26	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
360	0.97	0.64	0.46	0.37	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14
420	0.96	0.60	0.43	0.34	0.28	0.25	0.22	0.20	0.19	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
480	0.96	0.62	0.45	0.36	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14
540	0.97	0.66	0.49	0.39	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15
600	0.98	0.68	0.50	0.40	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15
660	0.97	0.57	0.38	0.29	0.24	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
720	0.93	0.47	0.31	0.24	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
780	0.93	0.49	0.34	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10
840	0.94	0.52	0.36	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11
900	0.95	0.53	0.37	0.29	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
960	0.94	0.50	0.33	0.26	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10
1020	0.92	0.45	0.30	0.23	0.19	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
1080	0.91	0.44	0.30	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
1140	0.92	0.46	0.31	0.25	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
1200	0.92	0.48	0.34	0.27	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1260	0.93	0.51	0.36	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
1320	0.94	0.55	0.40	0.32	0.28	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
1380	0.95	0.59	0.44	0.36	0.31	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
1440	0.96	0.65	0.50	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21
1500	0.97	0.73	0.58	0.49	0.43	0.39	0.37	0.34	0.33	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
1560	0.99	0.84	0.70	0.61	0.54	0.49	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33
1620	1.01	1.02	0.88	0.74	0.64	0.57	0.52	0.48	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34
1680	1.04	1.28	0.96	0.70	0.56	0.47	0.41	0.38	0.35	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.25
1740	1.08	1.35	0.69	0.46	0.35	0.30	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16
1800	1.14	0.85	0.39	0.27	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
1860	1.24	0.45	0.22	0.15	0.12	0.11	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
1920	1.35	0.23	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
1980	0.98	0.11	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2040	0.59	0.09	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2100	0.64	0.12	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
2160	0.69	0.16	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
2220	0.73	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
2280	0.76	0.21	0.13	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2340	0.78	0.23	0.15	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
2400	0.80	0.25	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
2460	0.81	0.27	0.17	0.14	0.12	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
2520	0.82	0.28	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
2580	0.83	0.30	0.20	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08
2640	0.84	0.30	0.20	0.16	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
2700	0.84	0.31	0.21	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
2760	0.84	0.32	0.21	0.17	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
2820	0.85	0.32	0.22	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
2880	0.85	0.33	0.22	0.18	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
2940	0.86	0.34	0.23	0.18	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
3000	0.86	0.34	0.23	0.19	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11



Minima  
Demanda

Factor de potencia=0.3																				
Frecuencia	ZMT_1	ZMT_2	ZMT_3	ZMT_4	ZMT_5	ZMT_6	ZMT_7	ZMT_8	ZMT_9	ZMT_10	ZMT_11	ZMT_12	ZMT_13	ZMT_14	ZMT_15	ZMT_16	ZMT_17	ZMT_18	ZMT_19	ZMT_20
60	1.00	1.02	1.05	1.07	1.09	1.11	1.13	1.15	1.17	1.19	1.20	1.22	1.24	1.25	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32
120	1.01	1.07	1.13	1.20	1.27	1.35	1.42	1.50	1.58	1.65	1.73	1.80	1.86	1.91	1.95	1.99	2.01	2.02	2.02	2.02
180	1.01	1.18	1.39	1.65	1.92	2.17	2.31	2.27	2.11	1.91	1.71	1.54	1.39	1.28	1.18	1.10	1.03	0.98	0.93	0.89
240	1.02	1.34	1.61	1.56	1.29	1.04	0.85	0.72	0.63	0.56	0.51	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31
300	1.03	1.20	0.98	0.72	0.56	0.45	0.38	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16
360	1.01	0.90	0.65	0.49	0.38	0.32	0.28	0.24	0.22	0.20	0.19	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
420	1.01	0.81	0.56	0.41	0.33	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11
480	0.99	0.59	0.37	0.27	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07
540	0.94	0.51	0.34	0.26	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08
600	0.96	0.59	0.42	0.33	0.27	0.23	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
660	0.96	0.59	0.41	0.31	0.26	0.22	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
720	0.95	0.55	0.38	0.29	0.24	0.21	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
780	0.95	0.57	0.40	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
840	0.95	0.59	0.43	0.34	0.28	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
900	0.96	0.61	0.45	0.35	0.30	0.26	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14
960	0.96	0.64	0.47	0.38	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
1020	0.97	0.68	0.51	0.40	0.34	0.30	0.27	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
1080	0.98	0.72	0.53	0.41	0.34	0.30	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16
1140	0.99	0.66	0.43	0.32	0.26	0.22	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
1200	0.95	0.43	0.27	0.19	0.16	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
1260	0.90	0.38	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
1320	0.91	0.42	0.28	0.21	0.17	0.15	0.14	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
1380	0.92	0.46	0.31	0.24	0.20	0.17	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
1440	0.93	0.48	0.33	0.26	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1500	0.93	0.51	0.35	0.28	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
1560	0.94	0.53	0.37	0.29	0.25	0.22	0.20	0.19	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
1620	0.95	0.55	0.38	0.30	0.25	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
1680	0.95	0.51	0.34	0.26	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1740	0.93	0.43	0.27	0.21	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
1800	0.90	0.38	0.24	0.19	0.16	0.14	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
1860	0.89	0.38	0.25	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
1920	0.89	0.40	0.26	0.21	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
1980	0.90	0.42	0.28	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
2040	0.90	0.43	0.30	0.23	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
2100	0.91	0.45	0.31	0.25	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13
2160	0.91	0.47	0.33	0.27	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
2220	0.92	0.49	0.35	0.28	0.25	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16
2280	0.93	0.51	0.37	0.30	0.27	0.24	0.23	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
2340	0.93	0.54	0.40	0.33	0.29	0.26	0.25	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
2400	0.94	0.56	0.42	0.35	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
2460	0.95	0.59	0.45	0.38	0.34	0.31	0.30	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24
2520	0.95	0.63	0.49	0.42	0.38	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
2580	0.96	0.67	0.54	0.46	0.42	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
2640	0.97	0.72	0.59	0.52	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
2700	0.98	0.78	0.67	0.61	0.56	0.54	0.52	0.50	0.49	0.49	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
2760	0.99	0.87	0.78	0.72	0.68	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59	0.59	0.59	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
2820	1.00	0.98	0.94	0.90	0.86	0.83	0.80	0.78	0.77	0.75	0.74	0.74	0.73	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.71	0.70
2880	1.02	1.15	1.18	1.13	1.06	0.99	0.93	0.88	0.85	0.82	0.80	0.78	0.77	0.75	0.74	0.74	0.73	0.72	0.72	0.71
2940	1.03	1.41	1.48	1.25	1.05	0.91	0.82	0.75	0.71	0.67	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.56	0.55
3000	1.05	1.81	1.48	1.01	0.78	0.66	0.58	0.53	0.50	0.48	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39

Minima Demanda

Frecuencia	Factor de potencia=0.4																			
	ZMT_1	ZMT_2	ZMT_3	ZMT_4	ZMT_5	ZMT_6	ZMT_7	ZMT_8	ZMT_9	ZMT_10	ZMT_11	ZMT_12	ZMT_13	ZMT_14	ZMT_15	ZMT_16	ZMT_17	ZMT_18	ZMT_19	ZMT_20
60	1.00	1.02	1.03	1.05	1.06	1.08	1.09	1.11	1.12	1.13	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.21	1.22	1.22
120	1.00	1.05	1.09	1.14	1.19	1.24	1.29	1.34	1.39	1.43	1.48	1.52	1.57	1.60	1.64	1.67	1.69	1.71	1.72	1.73
180	1.01	1.13	1.27	1.43	1.62	1.82	2.03	2.21	2.35	2.40	2.36	2.26	2.13	1.99	1.85	1.73	1.62	1.52	1.44	1.37
240	1.02	1.27	1.59	1.88	1.92	1.70	1.42	1.19	1.01	0.88	0.78	0.71	0.65	0.60	0.56	0.53	0.50	0.48	0.46	0.45
300	1.03	1.36	1.44	1.17	0.89	0.70	0.58	0.50	0.43	0.39	0.35	0.33	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22
360	1.03	1.10	0.82	0.59	0.46	0.37	0.31	0.27	0.25	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14
420	1.01	0.87	0.61	0.46	0.36	0.30	0.26	0.23	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
480	1.00	0.78	0.53	0.39	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
540	1.00	0.67	0.43	0.32	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
600	0.93	0.45	0.29	0.21	0.17	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06
660	0.94	0.54	0.37	0.29	0.24	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
720	0.96	0.60	0.43	0.33	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
780	0.96	0.57	0.40	0.31	0.25	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
840	0.95	0.54	0.38	0.29	0.24	0.21	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
900	0.95	0.56	0.40	0.31	0.26	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
960	0.95	0.58	0.42	0.33	0.28	0.24	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
1020	0.96	0.60	0.43	0.34	0.29	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14
1080	0.96	0.62	0.45	0.36	0.30	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
1140	0.96	0.64	0.47	0.38	0.32	0.28	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
1200	0.97	0.68	0.51	0.41	0.35	0.30	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
1260	0.98	0.73	0.54	0.43	0.36	0.32	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18
1320	1.00	0.73	0.51	0.38	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
1380	0.99	0.54	0.33	0.24	0.19	0.16	0.15	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
1440	0.92	0.37	0.23	0.17	0.14	0.12	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
1500	0.90	0.38	0.24	0.18	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
1560	0.91	0.42	0.28	0.21	0.18	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
1620	0.92	0.45	0.30	0.24	0.20	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
1680	0.92	0.48	0.33	0.26	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
1740	0.93	0.50	0.35	0.27	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
1800	0.94	0.52	0.37	0.29	0.25	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
1860	0.94	0.54	0.39	0.31	0.26	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
1920	0.95	0.56	0.39	0.31	0.26	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
1980	0.95	0.52	0.35	0.27	0.23	0.20	0.19	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13
2040	0.93	0.43	0.28	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
2100	0.90	0.37	0.24	0.18	0.15	0.14	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
2160	0.88	0.36	0.24	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09
2220	0.88	0.38	0.25	0.20	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
2280	0.89	0.40	0.27	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
2340	0.90	0.42	0.28	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
2400	0.90	0.43	0.30	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
2460	0.91	0.45	0.31	0.25	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
2520	0.91	0.46	0.33	0.27	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
2580	0.92	0.48	0.35	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
2640	0.92	0.50	0.37	0.30	0.27	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
2700	0.93	0.52	0.39	0.32	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20
2760	0.93	0.54	0.41	0.34	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
2820	0.94	0.57	0.43	0.36	0.33	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24
2880	0.94	0.59	0.46	0.39	0.35	0.33	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
2940	0.95	0.62	0.49	0.42	0.38	0.36	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
3000	0.96	0.65	0.52	0.46	0.42	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33



Minima Demanda

Factor de potencia=0.6																				
Frecuencia	ZMT_1	ZMT_2	ZMT_3	ZMT_4	ZMT_5	ZMT_6	ZMT_7	ZMT_8	ZMT_9	ZMT_10	ZMT_11	ZMT_12	ZMT_13	ZMT_14	ZMT_15	ZMT_16	ZMT_17	ZMT_18	ZMT_19	ZMT_20
60	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.13
120	1.00	1.03	1.05	1.08	1.11	1.13	1.16	1.18	1.21	1.23	1.25	1.27	1.29	1.31	1.33	1.35	1.36	1.37	1.38	1.39
180	1.01	1.07	1.14	1.22	1.30	1.39	1.48	1.57	1.67	1.76	1.85	1.92	1.99	2.04	2.07	2.08	2.07	2.05	2.03	1.99
240	1.01	1.15	1.33	1.54	1.79	2.04	2.24	2.31	2.24	2.07	1.87	1.68	1.52	1.38	1.27	1.18	1.10	1.03	0.98	0.94
300	1.02	1.28	1.61	1.90	1.92	1.66	1.36	1.13	0.96	0.83	0.74	0.66	0.61	0.56	0.53	0.50	0.47	0.45	0.43	0.42
360	1.03	1.37	1.56	1.33	1.02	0.80	0.65	0.55	0.48	0.43	0.39	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24
420	1.03	1.28	1.05	0.76	0.57	0.45	0.38	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16
480	1.02	0.95	0.66	0.48	0.37	0.31	0.26	0.23	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
540	1.01	0.83	0.58	0.43	0.34	0.28	0.24	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11
600	1.00	0.75	0.50	0.37	0.29	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.14	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
660	0.99	0.66	0.43	0.32	0.25	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09
720	0.98	0.62	0.40	0.30	0.24	0.20	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
780	0.93	0.43	0.27	0.20	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06
840	0.93	0.51	0.34	0.26	0.22	0.19	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09
900	0.95	0.58	0.41	0.32	0.27	0.23	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
960	0.96	0.60	0.43	0.33	0.28	0.24	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
1020	0.95	0.57	0.39	0.30	0.25	0.22	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
1080	0.95	0.54	0.38	0.29	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
1140	0.95	0.56	0.39	0.31	0.26	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
1200	0.95	0.57	0.41	0.32	0.27	0.24	0.21	0.20	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
1260	0.95	0.59	0.43	0.34	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
1320	0.95	0.60	0.44	0.35	0.29	0.26	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
1380	0.96	0.61	0.44	0.35	0.30	0.27	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
1440	0.96	0.62	0.46	0.37	0.31	0.28	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17
1500	0.96	0.64	0.48	0.39	0.33	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19
1560	0.97	0.68	0.51	0.42	0.36	0.32	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
1620	0.98	0.72	0.55	0.45	0.38	0.34	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22
1680	0.99	0.77	0.58	0.46	0.39	0.35	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22
1740	1.01	0.77	0.53	0.41	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17
1800	1.01	0.59	0.36	0.26	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
1860	0.94	0.37	0.22	0.16	0.13	0.12	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
1920	0.89	0.34	0.21	0.16	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
1980	0.89	0.38	0.25	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
2040	0.90	0.41	0.28	0.22	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
2100	0.91	0.44	0.30	0.24	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12
2160	0.92	0.46	0.32	0.25	0.22	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
2220	0.92	0.48	0.33	0.27	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
2280	0.93	0.49	0.35	0.28	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
2340	0.93	0.51	0.37	0.30	0.26	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
2400	0.94	0.54	0.39	0.32	0.27	0.25	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18
2460	0.95	0.56	0.41	0.33	0.29	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
2520	0.96	0.58	0.42	0.34	0.30	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
2580	0.96	0.57	0.40	0.32	0.27	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
2640	0.95	0.48	0.32	0.25	0.22	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
2700	0.92	0.39	0.25	0.20	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
2760	0.88	0.35	0.23	0.18	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
2820	0.87	0.35	0.23	0.18	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
2880	0.88	0.36	0.25	0.20	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
2940	0.88	0.38	0.26	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
3000	0.89	0.40	0.28	0.23	0.20	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14





Minima  
Demanda

Frecuencia	Factor de potencia=0.8																			
	ZMT_1	ZMT_2	ZMT_3	ZMT_4	ZMT_5	ZMT_6	ZMT_7	ZMT_8	ZMT_9	ZMT_10	ZMT_11	ZMT_12	ZMT_13	ZMT_14	ZMT_15	ZMT_16	ZMT_17	ZMT_18	ZMT_19	ZMT_20
60	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.07
120	1.00	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07	1.08	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.19	1.20	1.20
180	1.00	1.04	1.07	1.11	1.15	1.19	1.23	1.27	1.31	1.35	1.38	1.42	1.45	1.48	1.51	1.53	1.55	1.56	1.57	1.58
240	1.01	1.08	1.16	1.25	1.35	1.46	1.57	1.69	1.80	1.90	1.99	2.06	2.10	2.11	2.09	2.06	2.01	1.95	1.89	1.83
300	1.01	1.15	1.31	1.51	1.74	1.97	2.17	2.27	2.23	2.09	1.91	1.72	1.56	1.42	1.31	1.21	1.14	1.07	1.02	0.97
360	1.02	1.24	1.53	1.86	2.08	2.00	1.73	1.45	1.22	1.05	0.92	0.83	0.75	0.69	0.64	0.61	0.57	0.55	0.53	0.51
420	1.02	1.34	1.67	1.71	1.42	1.12	0.90	0.75	0.64	0.57	0.51	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31
480	1.03	1.37	1.43	1.13	0.86	0.67	0.55	0.47	0.41	0.37	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22
540	1.03	1.28	1.05	0.75	0.56	0.45	0.37	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16
600	1.03	1.01	0.70	0.50	0.38	0.31	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
660	1.01	0.84	0.58	0.43	0.34	0.28	0.24	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
720	1.01	0.81	0.56	0.41	0.33	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12
780	1.00	0.72	0.47	0.34	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
840	0.98	0.62	0.40	0.30	0.24	0.20	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09
900	0.97	0.58	0.39	0.29	0.23	0.20	0.17	0.16	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
960	0.98	0.61	0.41	0.31	0.25	0.21	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
1020	0.94	0.45	0.28	0.21	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
1080	0.92	0.46	0.31	0.23	0.19	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
1140	0.94	0.53	0.37	0.29	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1200	0.95	0.58	0.42	0.33	0.28	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14
1260	0.96	0.60	0.43	0.34	0.29	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
1320	0.96	0.59	0.42	0.33	0.27	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14
1380	0.95	0.56	0.39	0.31	0.26	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
1440	0.95	0.56	0.39	0.31	0.26	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14
1500	0.95	0.56	0.40	0.32	0.27	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
1560	0.95	0.58	0.42	0.33	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16
1620	0.95	0.59	0.43	0.34	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
1680	0.95	0.60	0.44	0.35	0.30	0.27	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
1740	0.95	0.60	0.44	0.36	0.31	0.28	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
1800	0.96	0.61	0.45	0.37	0.32	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19
1860	0.96	0.62	0.46	0.37	0.32	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
1920	0.96	0.62	0.46	0.38	0.33	0.30	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
1980	0.96	0.64	0.48	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22
2040	0.97	0.66	0.50	0.42	0.36	0.33	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
2100	0.97	0.69	0.53	0.44	0.39	0.35	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
2160	0.98	0.73	0.57	0.48	0.42	0.38	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
2220	0.99	0.78	0.61	0.50	0.44	0.40	0.37	0.35	0.34	0.32	0.32	0.31	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28
2280	1.00	0.83	0.63	0.50	0.43	0.39	0.36	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
2340	1.02	0.82	0.55	0.42	0.35	0.31	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20
2400	1.03	0.62	0.38	0.28	0.23	0.20	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
2460	0.97	0.38	0.23	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
2520	0.89	0.31	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
2580	0.88	0.34	0.22	0.17	0.15	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09
2640	0.89	0.38	0.25	0.20	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11
2700	0.90	0.41	0.28	0.22	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
2760	0.91	0.43	0.30	0.24	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
2820	0.91	0.45	0.32	0.26	0.22	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
2880	0.92	0.46	0.33	0.27	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
2940	0.92	0.47	0.34	0.28	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
3000	0.92	0.48	0.35	0.29	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18

Minima Demanda

Factor de potencia=0.9																				
Frecuencia	ZMT_1	ZMT_2	ZMT_3	ZMT_4	ZMT_5	ZMT_6	ZMT_7	ZMT_8	ZMT_9	ZMT_10	ZMT_11	ZMT_12	ZMT_13	ZMT_14	ZMT_15	ZMT_16	ZMT_17	ZMT_18	ZMT_19	ZMT_20
60	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
120	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.13
180	1.00	1.02	1.05	1.07	1.09	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.22	1.24	1.26	1.28	1.29	1.30	1.32	1.33	1.33	1.34
240	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.26	1.31	1.37	1.42	1.48	1.53	1.58	1.62	1.66	1.69	1.71	1.73	1.74	1.74	1.74
300	1.01	1.09	1.18	1.28	1.39	1.51	1.63	1.76	1.87	1.97	2.04	2.08	2.08	2.05	2.00	1.94	1.87	1.80	1.73	1.67
360	1.01	1.14	1.30	1.49	1.70	1.92	2.11	2.20	2.17	2.04	1.88	1.71	1.56	1.43	1.32	1.22	1.15	1.09	1.03	0.99
420	1.01	1.22	1.48	1.78	2.04	2.09	1.91	1.65	1.41	1.21	1.07	0.95	0.87	0.80	0.74	0.69	0.66	0.63	0.60	0.58
480	1.02	1.30	1.65	1.87	1.72	1.40	1.13	0.94	0.80	0.70	0.63	0.57	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0.40	0.39	0.37
540	1.03	1.36	1.59	1.41	1.10	0.86	0.70	0.59	0.51	0.46	0.41	0.38	0.35	0.33	0.32	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26
600	1.03	1.34	1.31	1.00	0.75	0.60	0.50	0.42	0.37	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21
660	1.03	1.26	1.02	0.73	0.55	0.44	0.37	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16
720	1.03	1.05	0.73	0.52	0.40	0.32	0.28	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13
780	1.01	0.85	0.58	0.42	0.33	0.28	0.24	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
840	1.01	0.83	0.58	0.43	0.34	0.29	0.25	0.22	0.20	0.19	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
900	1.01	0.81	0.55	0.40	0.32	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
960	1.00	0.69	0.45	0.33	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
1020	0.98	0.59	0.38	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09
1080	0.96	0.55	0.36	0.27	0.22	0.19	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
1140	0.96	0.57	0.39	0.30	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11
1200	0.97	0.61	0.41	0.31	0.25	0.22	0.19	0.18	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12
1260	0.95	0.48	0.31	0.23	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
1320	0.92	0.44	0.29	0.22	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
1380	0.93	0.50	0.34	0.27	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1440	0.94	0.55	0.39	0.31	0.26	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14
1500	0.95	0.59	0.42	0.34	0.29	0.26	0.23	0.22	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
1560	0.96	0.60	0.44	0.35	0.30	0.27	0.24	0.23	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
1620	0.96	0.60	0.43	0.34	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1680	0.95	0.58	0.42	0.33	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
1740	0.95	0.57	0.41	0.33	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1800	0.95	0.57	0.41	0.33	0.28	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17
1860	0.95	0.58	0.42	0.34	0.29	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
1920	0.95	0.59	0.43	0.35	0.30	0.27	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
1980	0.95	0.59	0.44	0.36	0.31	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
2040	0.95	0.60	0.44	0.36	0.32	0.29	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20
2100	0.95	0.61	0.45	0.37	0.32	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21
2160	0.96	0.61	0.46	0.38	0.33	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22
2220	0.96	0.62	0.47	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
2280	0.96	0.63	0.47	0.39	0.34	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23
2340	0.96	0.62	0.47	0.39	0.34	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23
2400	0.96	0.63	0.48	0.40	0.35	0.32	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24
2460	0.96	0.64	0.49	0.41	0.36	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25
2520	0.96	0.66	0.51	0.43	0.38	0.35	0.33	0.31	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
2580	0.97	0.68	0.53	0.45	0.40	0.37	0.35	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
2640	0.97	0.71	0.56	0.48	0.43	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
2700	0.98	0.74	0.60	0.51	0.46	0.42	0.40	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33
2760	0.99	0.79	0.64	0.54	0.49	0.45	0.42	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
2820	1.00	0.84	0.67	0.56	0.49	0.45	0.42	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
2880	1.01	0.88	0.65	0.52	0.45	0.40	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29
2940	1.03	0.82	0.54	0.41	0.34	0.31	0.28	0.27	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21
3000	1.03	0.60	0.36	0.27	0.23	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14

## APÉNDICE C

### CONDENSADORES MONOFÁSICOS PARA BAJA TENSIÓN

#### 1. OBJETO

Los condensadores están previstos para ser instalados en las cajas portamedidores de los clientes con suministro monofásico en baja tensión (0.22 kV) de La Empresa Distribuidora

#### 2. EXTENSION DEL SUMINISTRO

##### 2.1 Condiciones ambientales

Los condensadores serán instalados en el área de concesión de la Empresa Distribuidora caracterizada por una severa contaminación marina salina y alto grado de humedad. Sus características deberán adecuarse a las siguientes condiciones:

CARACTERÍSTICA	EMPRESA DISTRIBUIDORA
Altitud máxima (m)	1.000

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>EMPRESA DISTRIBUIDORA</b>
Temperatura Mínima (°C)	- 5°
Temperatura Máxima (°C)	+40°
Temperatura Media (°C)	+30°
Nivel de Humedad (%)	100
Humedad relativa media (%)	70 a 100

## 2.2 Características del Sistema Eléctrico

- a) Tensión nominal del sistema  
de distribución secundaria (Vs) : 0.22 kV  
Frecuencia : 60 Hz  
Tipos de transformadores MT/BT : Trifásicos y monofásicos
- b) Alta contaminación por armónicas de corriente.
- c) Máximo THD de tensión permitido en 0.22 kV : 8.0%
- d) Máximo Armónico de tensión 0.22 kV : 5to orden : 6.0%
- e) Máximo Armónico de tensión 0.22 kV : 7mo orden : 5.0%

## 2.3 Características técnicas principales de los condensadores

- a) Número de fases : Monofásico  
Tensión nominal : 400Vac
- b) Frecuencia Nominal : 60 Hz

- c) Potencia del condensador a 0.22 kV : 0.6 kVAR
- d) Capacidad : 33  $\mu F$ .

### 3 DISEÑO Y CONSTRUCCION

- Todos los equipos deberán ser diseñados, fabricados y probados de acuerdo con las normas IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) y sus suplementos. En caso de proponerse la utilización de normas distintas a las mencionadas, que aseguren igual o mejor calidad del producto, se deberá acompañar copias de las mismas. Las principales normas a considerarse son las siguientes: IEC 831-1, IEC-831-2, IEC 252, ASTM-B-117, UL Standard N° 810.
- Con la finalidad de evitar el envejecimiento prematuro por sobretensiones debido a armónicos o transitorios electromagnéticos, la tensión nominal del condensador deberá ser superior en 60% la tensión del sistema de distribución secundaria (0.22 kV) y que trabajando a la tensión del sistema de distribución secundaria debe proporcionar la potencia reactiva capacitiva especificada en punto 2.3, Extensión de Suministro.

Los condensadores serán instalados dentro de las cajas portamedidores de los clientes con suministro monofásico en baja tensión, por lo que el fabricante deberá indicar claramente las

dimensiones de sus condensadores, el tipo de terminal de conexión que utiliza y la posición de instalación. Empresa Distribuidora S.A.A. se reserva el derecho de rechazar las unidades ofertadas que por sus dimensiones o posición de montaje dificulten la instalación de los condensadores en las cajas portamedidores.

El condensador deberá ser fabricado en botella de aluminio y con cubierta de PVC.

El condensador tendrá forma cilíndrica.

El condensador deberá tener incorporado de fábrica un cable de conexión y un protector aislante de los puntos con tensión. Además el cable deberá venir soldado de fábrica mediante terminales tipo fast-on a los terminales del condensador.

El cable de conexión deberá tener una capa exterior de protección adicional a los cables simples que parten de los terminales del condensador; además deberá de las siguientes características técnicas:

Longitud	30 cm
Sección	1.5 mm <sup>2</sup>

Material	Cable de cobre electrolítico, recocido, flexible, aislado con PVC.
Norma de Fabricación	ITINTEC 370.048
Tensión de Servicio	600 Voltios
Temperatura de operación	100 ° C
Resistencia a metales, agentes químicos y vapores corrosivos	
Flamabilidad	Que no produzca flama

- Los condensadores deben estar diseñados de tal forma que en uso normal funcionen de una manera segura sin poner en peligro a las personas o el medio ambiente.
- Debido a las condiciones ambientales descritas en el punto 2.1, se deberá indicar y proporcionarse los protocolos de pruebas contra la corrosión a los que son sometidos los condensadores y las normas a las que están referidas dichas pruebas. Además, los condensadores deberán estar protegidos con una cubierta de plástico contra la corrosión.
- No se aceptarán condensadores con fluido tipo PCB (Polychlorinated byphenyl)



- Los elementos capacitivos del condensador, estarán fabricados bajo el sistema de dieléctrico de película de Polipropileno Metalizado con un espesor de 7  $\mu\text{m}$ , con pérdidas dieléctricas reducidas.
- Los condensadores deberán soportar los niveles de sobretensión especificados en normas.
- Los condensadores deberán estar equipados con un sistema de protección ante averías internas o término de vida del condensador que evite riesgos de incendio o explosión de condensador, además, evitar la interrupción de la continuidad servicio eléctrico.
- En referencia al sistema de protección utilizado contra fallas en el condensador, el proveedor entregará información detallada del sistema de protección que utiliza, además, indicará las pruebas a que son sometidos los condensadores y las normas a las cuales están referidas dichas pruebas.
- Los condensadores deberán ser diseñados de manera de poder determinar visualmente el estado operativo. Por tanto, se debe describir en que se basa el método utilizado.
- Las pérdidas de los condensadores no deberán exceder los 0.5 Watts/kVAR.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Cipoli, José A. “Ingeniería de Distribución” Ed. Qualitymark, 1993
2. Romero Albújar, Boris. “Compensación Reactiva Concentrada y Distribuida en Sistemas de Distribución” Ed. CIER 2001
3. Da Silava, José Y. “Metodologías Para la Determinación de Pérdidas en Redes de Baja Tensión en Sistemas de Suministro Eléctrico” Ed. CIER 1 999
4. Borozan, Vesna; Rajakovic, Nicola. “Application Assessments of Distribution Network Minimum Loss Reconfiguration”. IEEE, Transactions on Power Delivery, Vol 12, N° 4, October 1997.
5. Chen, C.S.; Hwang, J.C.; Cho, M.Y.; Chen, Y.W.. “Development of Simplified Loss Model for Distribution System Analysis”. IEEE, Transactions on Power Delivery, Vol 9, N° 3, July 1994.
6. Grupo Shneider. “Banco de condensadores” 1996
7. LEYDEN SA. “Mejoramiento de la Calidad de Servicio” Ed. Leyden, 1999
8. THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. “IEEE Recommended Practice for Industrial and Comercial Power Systems Analysis” (IEEE Std 399-1997).

9. COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ. Armónicos en sistemas eléctricos
10. CIRCUTOR. “Calidad y uso racional de la energía eléctrica” Ed. Circutor SA, 2 000.