

**LA COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA: UNA INVERSIÓN DE MÁXIMA RENTABILIDAD Y QUE CONTRIBUYE A LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO****1. LA ENERGÍA REACTIVA****1.1 ¿Qué es la energía reactiva?**

Para accionar una máquina es necesario un motor y en consecuencia un consumo de energía eléctrica si se trata como es habitual de un motor eléctrico. A esta energía en Electrotecnia se la conoce como **energía activa**. Pero para que un motor funcione hace falta un campo magnético y para generarlo es necesaria una corriente denominada magnetizante o reactiva la cual da lugar a la **energía reactiva** (1) que para generarla no es necesaria ninguna potencia útil y, por tanto, no consume energía primaria más que la necesaria para cubrir las pérdidas que produce al circular por la red eléctrica.

Por compensación de energía reactiva se entiende la reducción o eliminación de esa circulación, ya que su "consumo" por motores u otras máquinas y equipos eléctricos es inevitable como ya se ha mencionado.

En Electrotecnia se barajan tres conceptos de potencia: **activa** (P), **reactiva** (Q) y **aparente** (S), cuya relación entre ellas es:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

lo que sugiere su representación mediante un triángulo rectángulo:

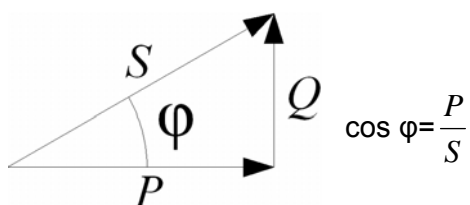


Fig. 1.1-1 Triángulo de potencias eléctricas.

Como la diferencia entre potencias y energías es el tiempo (horas de servicio) lo expuesto sirve igualmente para las respectivas energías.

En la fig. 1.1-1 se aprecia que cuanto mayor sea el ángulo  $\varphi$  mayor será la potencia reactiva (Q) respecto a la activa (P) y viceversa.

Por tanto, compensar la energía reactiva es sinónimo de reducir el ángulo  $\varphi$  y en consecuencia aumentar su coseno. Como mejor sea el  $\cos \varphi$ , es decir, cuanto más se acerque a la unidad, mayor será la potencia activa que puede transportarse por la red, cuya capacidad máxima es la potencia aparente ( $P_{\max} = S$ ).

**1.2 ¿Quién suministra la energía reactiva?**

Al igual que la energía activa, la energía reactiva, a falta de otra fuente, será suministrada por una central eléctrica y conducida por la red.

Pero existe otra fuente de energía reactiva muy asequible y fácil de colocar donde más convenga: **el condensador eléctrico**.

El condensador es un dispositivo que eligiendo su potencia convenientemente suministra la energía reactiva necesaria sin necesidad de que sea suministrada por la central eléctrica. Debido a su simplicidad y rendimiento el condensador o la batería de condensadores es el método universalmente utilizado para mejorar el  $\cos \varphi$  o factor de potencia (FP) como también suele denominarse (2).

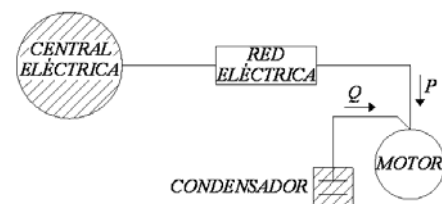


Fig. 1.2-1: Si el condensador suministra la potencia reactiva necesaria para el motor, la central eléctrica solo debe suministrar la potencia activa P, en caso contrario, debería suministrar P y Q.

(1) El término energía quizás puede prestarse a confusión ya que no tiene un sentido físico claro como la energía activa, es pues un concepto electrotécnico.

(2) Ambos conceptos coinciden en redes sin distorsión armónica



## 2. ¿QUÉ VENTAJAS SUPONE LA COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA?

De la exposición anterior se desprenden las ventajas más importantes:

### 2.1 Se reducen las pérdidas, lo cual se traduce en ahorro de energía, es decir de kWh

Al compensar la energía reactiva, evitamos que parte o la totalidad de esta, según elijamos, deba circular por la red, lo cual conlleva a su vez una reducción de la corriente eléctrica circulante.

Al ser las pérdidas proporcionales al cuadrado de la corriente se comprende la importancia de esta reducción.

Además, como la corriente eléctrica también debe circular por los transformadores, también en estos se producirá una reducción importante de pérdidas.

En el Apéndice 1 se comprueba como en una instalación alimentada por un transformador de 400 kVA, se logra un ahorro de pérdidas de 7290 kWh por año que a razón de 0,10€ por kWh supondría un ahorro de 729€/año.

### 2.2 Se aumenta la capacidad eléctrica de la instalación

Tanto las líneas como los transformadores están limitados por la corriente que circula y al ser la tensión prácticamente constante, lo están por el producto  $U \cdot I$  o potencia aparente,  $S$ . Pero de una misma potencia aparente, podemos sacar una potencia útil o activa  $P = S \cdot \cos \phi$  según se deduce de lo expuesto en 1.1

Así en una instalación con un transformador de 400 kVA y  $\cos \phi = 0,75$  sólo se podrán obtener 300kW mientras que si mejora el  $\cos \phi$  a la unidad se podrá llegar a obtener 400kW.

### 2.3 Se logra un importante ahorro vía tarifas eléctricas

En la actualidad en España subsisten dos tipos de contratos para el suministro de energía eléctrica: **a tarifa y cualificado**. Tanto uno como otro contemplan una penalización por el consumo de energía reactiva.

En clientes a tarifa se expresa por un porcentaje  $K_r$  (%) a aplicar sobre los importes de energía más potencia contratada, cuyos valores se muestran en la tabla siguiente:

#### Recargo o bonificación por energía reactiva (contrato o tarifa)

| Cos $\phi$ | Kr (%) | Cos $\phi$ | Kr (%) |
|------------|--------|------------|--------|
| 1          | -4     | 0,75       | 15,8   |
| 0,97       | -1,7   | 0,70       | 23,5   |
| 0,95:      | 0,0    | 0,65       | 33,0   |
| 0,90       | 0,0    | 0,60       | 45,0   |
| 0,85       | 4,4    | 0,58       | 50,7   |
| 0,80       | 9,6    |            |        |

Se puede lograr una bonificación máxima del 4% así como soportar un recargo de hasta el 50,7% en caso de un  $\cos \phi$  realmente malo del 0,58 o inferior

Para los contratos cualificados, el planteamiento es distinto y se carga al cliente la energía reactiva consumida, si esta supera el 33% de la energía activa, es decir, si el  $\cos \phi$  es inferior a 0,95. En la tabla siguiente se indican los precios:

#### Precio de la energía reactiva (contrato cualificado)

| Cos $\phi$               | Precio (Euro / kvar) |
|--------------------------|----------------------|
| Hasta 0,95               | 0                    |
| $\geq 0,9 \dots < 0,95$  | 0,000010             |
| $\geq 0,85 \dots < 0,9$  | 0,012673             |
| $\geq 0,80 \dots < 0,85$ | 0,025346             |
| $< 0,8$                  | 0,038019             |

Atendiendo al tipo de contrato interesará un  $\cos \phi$ :

- a tarifa igual a 1,00
- cualificados igual o superior a 0,95



Los periodos de amortización por este concepto resultan considerablemente cortos generalmente de 12 meses o inferior incluyendo los costes de instalación.

#### **2.4 Se mejora la tensión de red**

Al compensar una instalación, se reduce la caída de tensión y por tanto se aumenta la tensión disponible. Si como es habitual la compensación es automática y por tanto se mantiene un buen  $\cos\phi$  para cualquier valor de la carga se logrará mantener una tensión con mínimas variaciones por caídas de tensión.

Las caídas de tensión en una red se producen principalmente en los transformadores de potencia y en menor medida en las líneas. Al compensar y debido a la mayor reactancia de los transformadores en comparación con las líneas, la reducción de las caídas son muy apreciables en los transformadores y despreciables en las líneas (1).

A título de ejemplo (ver Apéndice 2) en una instalación alimentada por un transformador de 250kVA se produce una reducción en la caída de tensión de aproximadamente el 65% al pasar de  $\cos\phi=0,7$  a 1,0 y del 22% al pasar de 0,7 a 0,9.

### **3. LA COMPENSACIÓN DE LA ENERGIA REATIVA CONTRIBUYE A LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO**

#### **3.1 Las pérdidas desde barras de central a contadores**

Las pérdidas de la red eléctrica son de gran importancia por su elevado coste energético. Se miden por los coeficientes de pérdidas que permiten traspasar la energía suministrada a los consumidores en sus contadores a energía suministrada en barras de central.

Como gran parte de estas pérdidas dependen del cuadrado del  $\cos\phi$  (ver Apéndice 1) se comprende su importante reducción al mejorar el F.P.

| Tipo de suministro                                     | Coficiente % |
|--|--------------|
| Baja tensión ( $U \leq 1\text{kV}$ )                   | 13,81        |
| Media tensión ( $1\text{kV} < U \leq 36\text{kV}$ )    | 5,93         |
| Alta tensión ( $36\text{kV} < U \leq 72,5\text{kV}$ )  | 4,14         |
| Alta tensión ( $72,5\text{kV} < U \leq 145\text{kV}$ ) | 2,87         |
| Muy Alta tensión ( $U > 145\text{kV}$ )                | 1,52         |

Tabla 3-I. Tabla resumida de los coeficientes de pérdidas publicados en el R.D.1634/2006

Un estudio de ZVEI de Marzo de 2006 para Europa (EU25) (2) propone pasar de un  $\cos\phi$  medio en las redes de 0,91 a 0,97 con lo que en 2002 se hubiera ahorrado 18TWh o sea 18.000 millones de kWh anuales. Cifra que extrapolada a España redundaría en 1,5TWh para 2002 y 1,8TWh en 2005(3), cifra superior a la producción de una central de 250MW funcionando 6600h al año. Redundando en un ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero de 772 miles de toneladas por año (ver 3.3).

---

(1) Nos referimos a líneas cortas de B.T.

(2) Publicación de la Asociación de Fabricantes Alemanes de Material Eléctrico y Electrónico de Marzo de 2006.

(3) Por supuesto no se trata de un dato riguroso debido a las numerosas extrapolaciones y suposiciones necesarias y por tanto debe tomarse como una cifra orientativa



### **3.2 Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

Los principales componentes de los GEI son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), en conjunto representan el 99% de los GEI. De ellos el CO<sub>2</sub> representa el 84% del total, motivo por el que al tratar de emisiones nos refiramos a emisiones de CO<sub>2</sub> o equivalentes.

El protocolo de Kyoto de 1997 supuso un compromiso para la reducción de GEI de los 38 países más industrializados durante el período 2008-2012 respecto a las de 1990. Esta reducción supone el 8% para la UE, la cual a su vez asignó a España un aumento del 15%

Sin embargo, España ha aumentado las emisiones un 52,9% en 2005 respecto a 1990 de ahí la dificultad para cumplir con Kyoto, lo cual obliga a adquirir derechos de emisión según los mecanismos contemplados en dicho protocolo. Como el Gobierno Español reasigna los derechos de emisión entre los diversos sectores e industrias finalmente son las empresas las obligadas a su cumplimiento o a realizar el correspondiente desembolso.

En las previsiones del Plan Nacional de Derechos de Asignación (PNA) de Junio de 2006 se ha previsto la asignación para el sector eléctrico de 54,7MtCO<sub>2</sub> (millones de toneladas de CO<sub>2</sub>) anuales contra 81,2 MtCO<sub>2</sub> estimadas, ambas cifras para el mismo periodo 2008-2012.

Esto va a suponer un fuerte desembolso por parte de las Compañías Eléctricas en la adquisición de derechos de emisión así como un renovado interés en reducir las emisiones y por ende las pérdidas en las redes y por tanto la necesidad de fomentar la compensación de la energía reactiva como uno de los mecanismos más claros de reducción de las citadas pérdidas.

### **3.3 ¿Cómo se traducen los kWh de energía eléctrica en emisiones de CO<sub>2</sub>?**

Las centrales eléctricas, excepto las hidráulicas y nucleares, utilizan combustibles que emiten gases de efecto invernadero medidos por el CO<sub>2</sub> equivalente emitido.

Así puede resumirse que para producir 1kWh se emiten:

- 1Kg de CO<sub>2</sub> en una central de carbón
- 750g en una de fuel, y
- 300g en una de ciclo combinado

La media en España teniendo en cuenta todos los tipos de centrales fue en 2006 429g de CO<sub>2</sub>/kWh, es decir por cada kWh que consumimos emitimos a la atmósfera 429g de CO<sub>2</sub> equivalente.

Así una vivienda de tipo medio con un consumo de 500kWh mensuales emitirá mensualmente 214,5Kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Para hacerse una mejor idea de la dimensión del problema valga la siguiente comparación:

La emisión de 1kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se produce por:

- 2,3kWh de consumo de energía eléctrica
- 7,9km recorridos por un coche utilitario
- 3,3 horas en una vivienda habitada de tipo medio

Al mismo tiempo y en base a lo indicado en 3.1 por cada kvar instalado en condensadores se evitaría en un año la emisión de 27kg de CO<sub>2</sub>



## Apéndice 1

### Pérdidas en líneas y transformadores

Las pérdidas en una red eléctrica se producen en las líneas y transformadores. En las líneas son debidas al efecto Joule, por tanto, son producto de  $I^2R$ . La resistencia se calcula para líneas trifásicas por:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Siendo

$\rho$  = resistividad del conductor cuyo valor es 0,018 para el cobre a 20°C que debe corregirse para considerar la temperatura de servicio del conductor mediante la expresión  $\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha (t - 20)]$  con  $\alpha = 0,004$  para el cobre. Por tanto, a la temperatura habitual de un conductor de 60°C,  $\rho(60) = 0,018 [1 + 0,004 (60 - 20)] = 0,021$

$l$  = longitud de la línea en m

$S$  = sección del conductor en  $\text{mm}^2$

Para el caso de transformadores, las pérdidas dependientes de  $I^2$  son debidas principalmente a los devanados (pérdidas en el cobre), las cuales son un dato del fabricante y representan del 1% al 2% de la potencia del transformador. Estas pérdidas al depender del cuadrado de la corriente lo serán también del cuadrado del factor de carga o utilización del transformador, por tanto:

$$P_K = \delta^2 \times P_{KN}$$

Como a su vez la corriente es inversamente proporcional al  $\cos\phi$ , resulta que las pérdidas son además inversamente proporcionales al  $\cos\phi$ , es decir,

$$P_{K(\cos\phi_2)} = P_{K(\cos\phi_1)} \left( \frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right)^2$$

Por tanto, al mejorar el FP se consigue una importante reducción de pérdidas.

### Ejemplo de cálculo de pérdidas

Supóngase una industria alimentada en alta tensión con un transformador de 400kVA, cuyas pérdidas nominales dependientes en carga alcanzan 4,5 kW. Además de la salida del transformador al cuadro general de distribución, existe una línea de 20m de longitud de 185 $\text{mm}^2$  por fase.

Supóngase además que el factor de potencia ( $\cos\phi$ ) es de 0,75. La potencia necesaria de la batería de condensadores para alcanzar un FP de 0,95 es de 166 kvar y se sitúa a 5 m del cuadro de distribución. La instalación trabaja 12 horas diarias y 270 días por año a plena carga.

El balance de pérdidas se puede establecer como se indica en la tabla inferior (1):

Por tanto el ahorro de consumo de energía eléctrica en un año será:

$$2,25 \times 12 \times 270 = 7290 \text{ kWh}$$

| Componente         | Cálculo de pérdidas                                 | Pérdidas (kW)                       |                                     |
|--------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                    |   | Sin compensación<br>$\cos\phi=0,75$ | Con compensación<br>$\cos\phi=0,95$ |
| Transformador      | Dato de fabricante                                  | 4,5                                 | 2,8 (3)                             |
| Línea de B.T.      | $3 \times 0,021 \times \frac{20}{185} \times 577^2$ | 2,3                                 |                                     |
|                    | $3 \times 0,021 \times \frac{20}{185} \times 456^2$ |                                     | 1,4                                 |
| Batería            | 1,2W/kvar x 166kvar (2)                             | -                                   | 0,20                                |
| Línea a batería    | $3 \times 0,021 \times \frac{5}{120} \times 204^2$  | -                                   | 0,15                                |
| Pérdidas totales   |   | 6,8                                 | 4,56                                |
| Ahorro de pérdidas |   |                                     | 2,25                                |

(1) Un balance riguroso aumentaría sin duda las pérdidas.

(2) Las pérdidas totales, condensadores más componentes, de las baterías CYDESA son de 1,2W/kvar a 400V.

(3)  $4,5 \times (0,75/0,95)^2$



## Apéndice 2

### Caída de tensión de un transformador en función del $\cos \varphi$ de la carga.

La expresión general de la caída de tensión de un transformador es:

$$u = u_R \cos \varphi + u_x \sin \varphi$$

siendo:

$u$  = caída de tensión en % respecto a la nominal

$u_r$  = caída de tensión resistiva de cc.

$$(u_r = \frac{\sqrt{3} I_N R_K}{U} 100)$$

$u_x$  = caída de tensión inductiva de cc.

$$(u_x = \frac{\sqrt{3} I_N X_K}{u} 100)$$

$\varphi$  = ángulo de fase de la corriente secundaria del trafo respecto a la tensión.

Considerando que  $u_r$  coincide con las pérdidas en carga o cc en %,  $p_k$  y que  $u_x$  es aproximadamente igual a la tensión de cc  $u_k$ , la expresión anterior se transforma en:

$$u = p_k \cos \varphi + u_k \sin \varphi$$

Cabe observar que para  $\cos \varphi = 1$ ,  $u = p_k$ .  
Adoptando, por tanto, su valor mínimo.

### Ejemplo

Trafo de 250kVA trabajando a  $\cos \varphi = 0,7$ ,  
pérdidas en carga a 75°C,  $p_k = 3250W$

Tensión de cortocircuito,  $u_k = 4\%$

$$\text{Por tanto, } p_k = \frac{3,25}{250} 100 = 1,3\%$$

y la caída de tensión a  $\cos \varphi = 0,7$

$$u_{(0,7)} = 1,3 \times 0,7 + 4 \times 0,71 = 3,7\%$$

Si se compensara a  $\cos \varphi = 0,9$ :

$$u_{(0,9)} = 1,3 \times 0,9 + 4 \times 0,44 = 2,9\%$$

Y si se compensara a  $\cos \varphi = 1$ :

$$u_{(1,0)} = p_k = 1,3\%$$

En el primer caso, la caída de tensión se reduce en un 22% y en el segundo en un 65%.

En caso de suministros de B.T. estos cálculos deberán efectuarse para la parte proporcional de potencia utilizada del usuario respecto a la del transformador del centro de transformación.



### Apéndice 3

#### Ahorro monetario producido al mejorar el factor de potencia. Casos prácticos

Como ya se ha mencionado, los principales conceptos por lo que se produce el ahorro son:

- 1) Reducción de la factura del suministro eléctrico
- 2) Reducción de pérdidas
- 3) Posibilidad de ampliar la potencia suministrada evitando por tanto la inversión necesaria para sustituir la acometida o el transformador

#### A3.1 Caso de suministro en A.T. con contrato cualificado

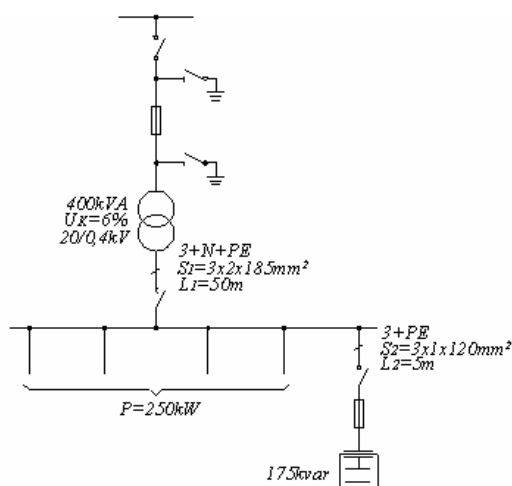


Fig. A3.1-1. Esquema unifilar de la instalación eléctrica de una industria con una batería para corrección del F.P.

El consumo de energía es de 60.500kWh en un mes tipo el cual se mantiene con regularidad durante los 12 meses del año, correspondiendo a horas punta y llanas de 44.000kWh, mientras el consumo de reactiva es de 38.800kvarh en idénticos periodos. Suponiendo que la potencia activa media es de 250kW, la potencia de la batería para corregir a  $\cos\phi=0,98$  (1) sería:

$$250 \cdot (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) = 250 \cdot 0,68 = 170\text{kvar} \quad (2)$$

Eligiéndose 175kvar por ser una potencia normalizada.

#### 1) Ahorro vía factura de energía eléctrica

Con tarifas de 2007 el término de energía reactiva sería de 0,038019 Eur/kvar para un  $\cos\phi < 0,8$  y de aplicación a los excesos de consumos de reactiva (3), por tanto:

$$T_R = 0,038019 \cdot (38.800 - 0,33 \times 44.000) = 923,10\text{Eur}$$

Lo que se traduce en un ahorro anual de:

$$923,10 \times 12 = 11.077,22\text{Eur}$$

#### 2) Ahorro vía pérdidas

Teniendo en cuenta los datos indicados en la fig. A3.1-1 se ha confeccionado la siguiente tabla:

| Balance de pérdidas                          |  |  |                                     |
|--|--|--|-------------------------------------|
| Componente                                   | Cálculo  | Sin compensar<br>Cos $\phi=0,75$<br>kW | Compensado<br>Cos $\phi=0,98$<br>kW |
| Transformador<br>(pérdidas en el cobre)      | $0,83^2 \cdot 4,5$ (4)<br>$3,19 \left(\frac{0,75}{0,98}\right)^2$                              | 3,19                                   | 1,87                                |
| Línea de B.T.                                | $3 \cdot 0,021 \frac{50}{2 \times 185} \cdot 481^2$<br>$1,97 \left(\frac{0,75}{0,98}\right)^2$ | 1,97                                   | 1,15                                |
| Línea<br>Batería                             | $3 \cdot 0,021 \frac{5}{10} \cdot 253^2$   |  | 0,17                                |
| Batería                                      | $1,2\text{W/kvar} \times 175\text{kvar}$   |  | 0,21                                |
| Pérdidas totales                             |  | 5,16                                   | 3,4                                 |
| Diferencias de pérdidas                      |  |  | 1,76kW                              |
| Ahorro de energía anual (12x24hx1,76kW) (5)  |  |  | 5576kWh                             |
| Ahorro económico anual (a razón de 0.1€/kWh) |  |  | 557,60Eur                           |

|  |              |
|--|--------------|
| Ahorro anual de emisiones de CO <sub>2</sub> | 2,4toneladas |
|--|--------------|

- (1) Para anular el cargo por reactiva es necesario superar  $\cos\phi=95$ , motivo por el que en este caso se ha elegido 0,98
- (2)  $\tan\phi_1 = 38.800/44.000 = 0,88$ ,  $\tan\phi_2 = \tan \cos^{-1} 0,98 = 0,2$
- (3) El cargo se aplica a aquel consumo de reactiva que supere en un 33% el consumo de activa en los periodos sometidos a recargo.
- (4) Por el consumo de activa y reactiva se deduce el  $\cos\phi=0,75$  y por tanto la carga del trafo será  $(250/0,75)/400 = 0,83$  y las pérdidas al depender del cuadrado de la carga, dependerán de  $0,83^2$
- (5) El nº de horas mensuales se deduce del consumo de energía y de la potencia media:  $60.500/250 = 242\text{h}$ .



### A3.2 Caso de suministro en B.T. con contrato a tarifa

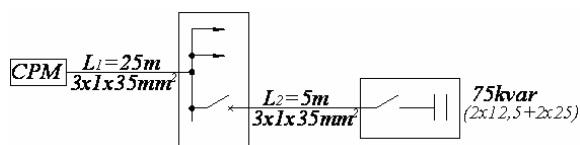


Fig. A3.2-1 El esquema se corresponde a un suministro a tarifa para un comercio

### 1) Ahorro vía factura de energía eléctrica

#### Datos del suministro

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| Potencia contratada      | 75kW        |
| Consumos de un mes tipo: |             |
| Activa (h.punta)         | 8.500kWh    |
| Activa (h.llana y valle) | 8.700kWh    |
| Reactiva                 | 15.200kvarh |

Tarifa 3.0

Discriminación horaria tipo 2

En la siguiente tabla se resume la factura sin y con compensación:

#### FACTURA ELÉCTRICA

|                                 |                   | Sin compensación | Con compensación |
|---------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Término de potencia             | (1,494345Eur/kW)  | 112,08           | 112,08           |
| Término de energía              | (0,087479Eur/kWh) | 1.504,64         | 1.504,64         |
| Discriminación horaria          |                   |                  |                  |
| Hora punta                      | 40%               | 297,43           | 297,43           |
| Llana y valle                   | 0%                | -                | -                |
| Reactiva (recargo/bonificación) |                   |                  |                  |
| Sin compensación                | 13,8%             | 213,08           |                  |
| Con compensación                | -4%               |                  | -64,67           |
| Impuesto de electricidad        | 5,113%            | 108,77           | 94,56            |
| IVA                             | 16%               | 357,76           | 311,05           |
| <b>TOTAL</b>                    |                   | <b>2.593,75</b>  | <b>2.255,08</b>  |
| Ahorro mensual sin IVA          |                   |                  | 291,95Eur        |
| Ahorro anual sin IVA            |                   |                  | 3.495,00Eur      |

### 2) Ahorro vía pérdidas

En este caso las pérdidas soportadas por el usuario serían solamente las producidas en la línea desde el cuadro de Protección y Medida hasta el Cuadro de Distribución, línea L1 de la fig. A3.2-1. Sin embargo habría que considerar también las pérdidas

desde el CPM hasta el transformador de distribución incluyendo también a éste. Para ello puede suponerse un transformador de las mismas características a las de A3.1 estableciendo una proporción por la potencia contratada. En cuanto a la línea puede considerarse una línea de 50m y 50mm<sup>2</sup> de sección.





| <b>BALANCE DE PÉRDIDAS</b>                   |   |                                  |                              |
|--|---|----------------------------------|------------------------------|
| Componente                                   | Cálculo   | Sin compensar<br>cosφ=0,75<br>kW | Compensado<br>cosφ=1,0<br>kW |
| <b>Soportados por el usuario</b>             |   |                                  |                              |
| Línea L1                                     | $3 \cdot 0,021 \cdot \frac{25}{35} \cdot 144^2$ | 0,93                             |                              |
|  | $0,93 \left(\frac{0,75}{1,0}\right)^2$          |                                  | 0,52                         |
| Línea L2                                     | $3 \cdot 0,021 \cdot \frac{5}{35} \cdot 108^2$  |                                  | 0,11                         |
| Batería                                      | 1,2W/kvarx75kvar                                |                                  | 0,09                         |
| <b>Total</b>                                 |   | <b>0,93</b>                      | <b>0,72</b>                  |
| <b>Soportado por el Distribuidor</b>         |   |                                  |                              |
| Línea a trafo                                | $3 \cdot 0,021 \cdot \frac{50}{50} \cdot 144^2$ | 1,31                             |                              |
|  | $1,31 \left(\frac{0,75}{1,0}\right)^2$          |                                  | 0,74                         |
| Transformador                                | $4,5 \left(\frac{100}{400}\right)^2 (1)$        | 0,28                             |                              |
|  | $4,5 \left(\frac{75}{400}\right)^2 (1)$         |                                  | 0,16                         |
| <b>Total</b>                                 |   | <b>2,52</b>                      | <b>1,62</b>                  |
| Diferencia de pérdidas:                      |   |                                  |                              |
| Soportadas por el usuario                    |   |                                  | 0,21                         |
| Soportadas por el Distribuidor               |   | 1,59                             |                              |
| Ahorro de energía anual para el usuario:     |   |                                  |                              |
| 12x229hx0,21kW                               |   |                                  | 577kWh                       |
| Ahorro de energía total:                     |   |                                  |                              |
| 12x229hx(1,59+0,21)kW                        |   |                                  | 4.946kWh                     |
| Ahorro económico anual del usuario:          |   |                                  |                              |
| (0,1€/kWh)                                   |   |                                  | 57,7€                        |
| Ahorro anual de emisiones de CO <sub>2</sub> |   |                                  | 2,1tonelada                  |

(1) Partiendo de 4,5kW de pérdidas a plena carga se multiplica por δ, siendo δ el factor de carga