Capítulo 4

CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN

4.1. DATOS DEL CONTRATO

Para poder analizar la industria que estamos estudiando, que es una industria química, se necesita partir de unos datos de partida, que son los siguientes:

- Tarifa de acceso: en el caso de nuestra empresa la tarifa de acceso a la que se acoge ésta es la 6.1A, tarifa que posee seis periodos y cuyas características han sido descritas en puntos anteriores.

- Potencia contratada: la potencia contratada en la industria que estamos estudiando en cada uno de los seis periodos tarifarios es de 4000kW.

4.2. ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LOS AÑOS 2008 Y 2010

Para la realización de dicho análisis energético, se parte de las lecturas de consumo cuartohorarias de potencia activa y reactiva tanto del año 2008 como del 2010. Observando las demandas de potencia activa, ya sea por meses o por periodos, dado que la potencia contratada es la misma para los seis periodos, se ve que dichas lecturas quedan, por lo general, por debajo de las potencias contratadas. Por lo tanto, se puede disminuir la potencia contratada y seguiremos satisfaciendo nuestra demanda de forma óptima.

A continuación, en la figura 8 se muestra de qué forma se distribuyen los consumos de potencia cuartohoraria a lo largo de los seis periodos tarifarios en el año 2008 :

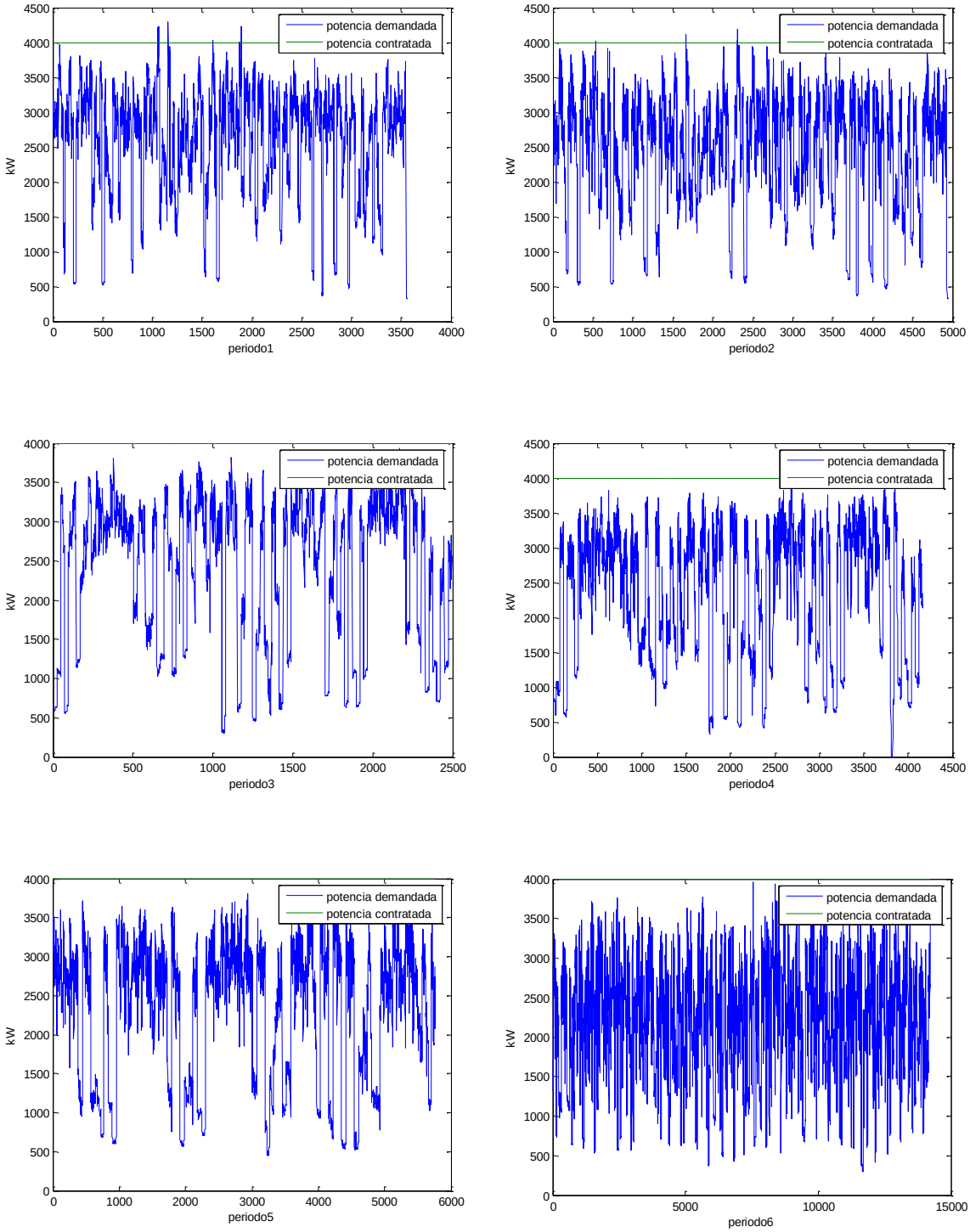


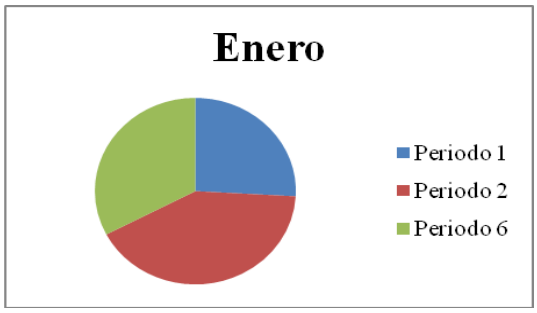
Figura 8: Potencias contratadas y demandadas por periodos del año 2008

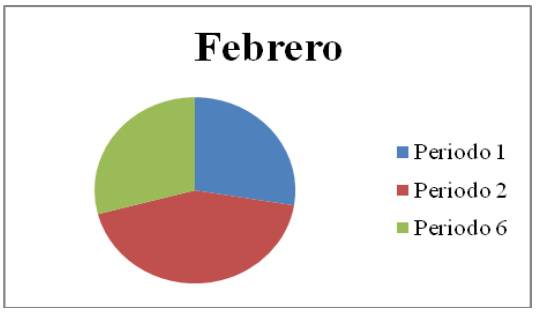
En los gráficos anteriores, se puede apreciar que en la mayor parte del tiempo la potencia consumida queda por debajo de la potencia contratada. Por tanto, se podría cambiar la potencia contratada ya que se está contratando más potencia eléctrica de la estrictamente necesaria.

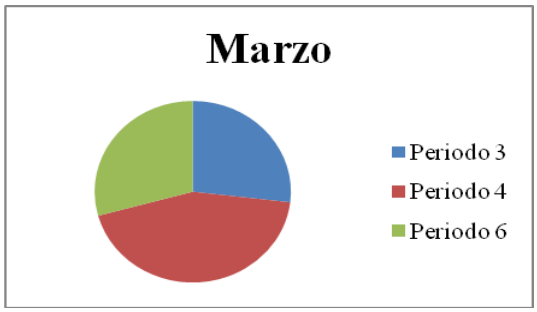
En cambio en el año 2010, la potencia contratada y la potencia consumida no difieren tanto y, por ello, no resulta de interés cambiar la potencia contratada como veremos más adelante.

Por otro lado, se puede realizar un análisis similar para cada mes viendo cómo se reparten los consumos de potencia activa en los diferentes periodos de cada mes. Esto se puede observar de forma más clara en los gráficos siguientes:

- Año 2008:







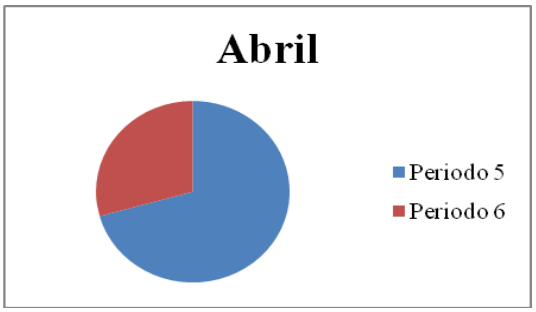
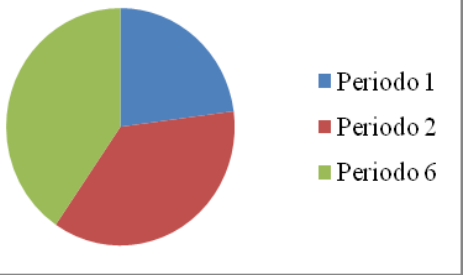


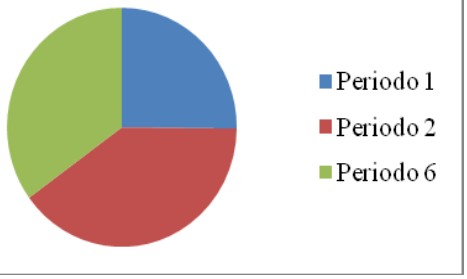
Figura 9: Energías demandadas mensuales por periodos del año 2008

- Año 2010:

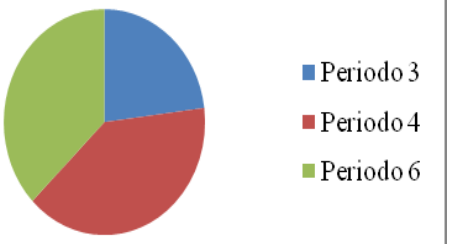
Enero



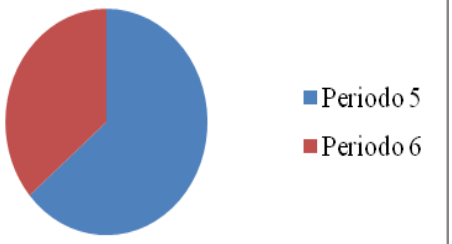
Febrero



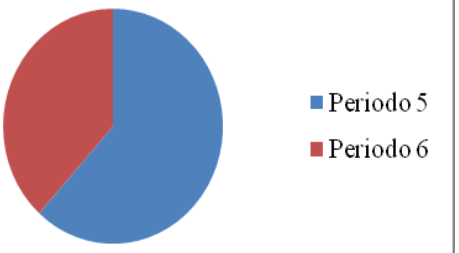
Marzo



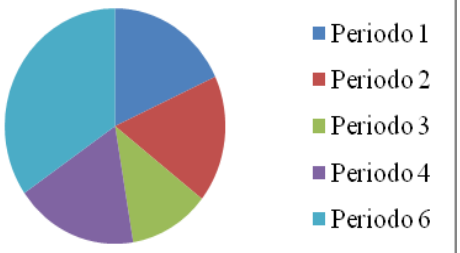
Abril



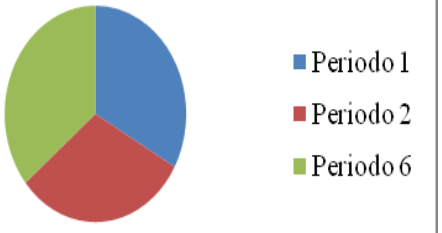
Mayo



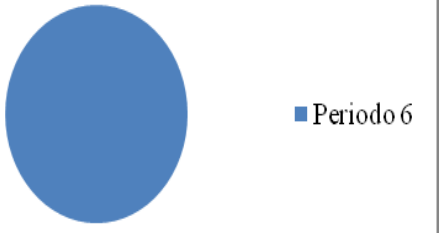
Junio



Julio



Agosto



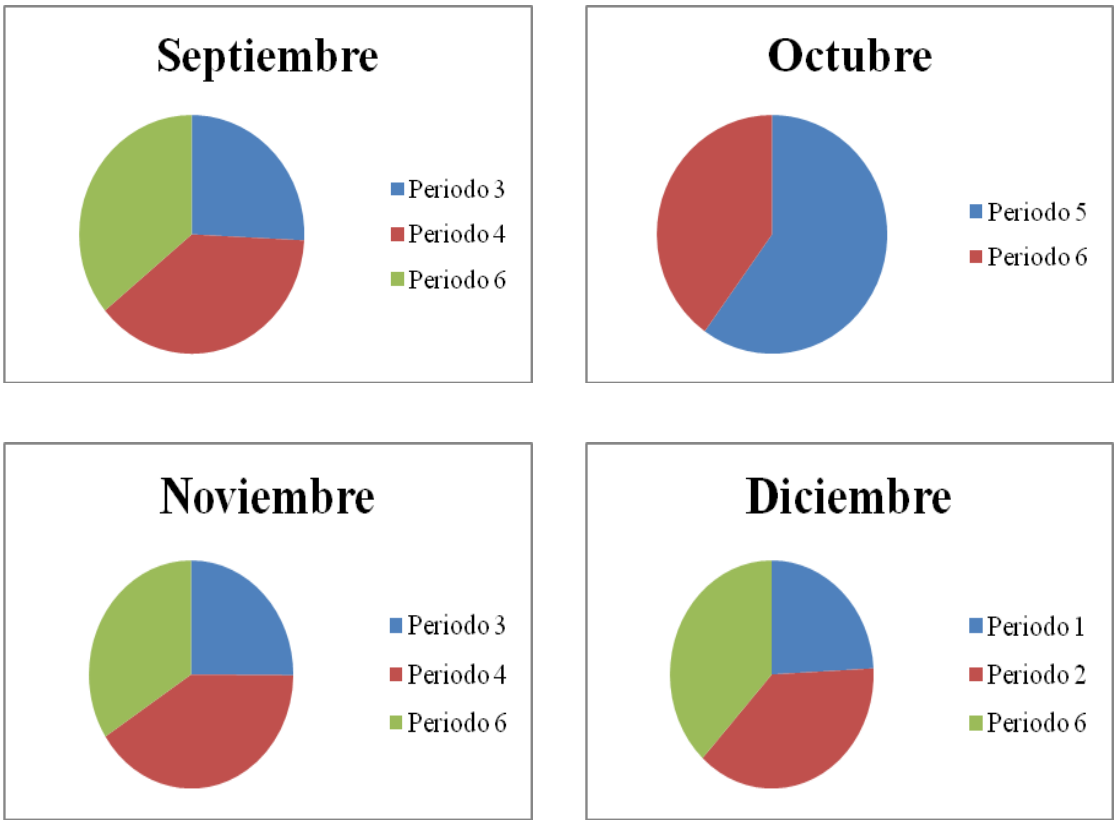


Figura 10: Energías demandadas mensuales por periodos del año 2010

En los gráficos anteriores se puede ver como la potencia consumida en el periodo 6 es inferior a la del resto de periodos. Esto se debe a que el periodo 6 coincide con las horas nocturnas del día, así como los festivos y éstos son los momentos de menor consumo eléctrico.

En los siguientes gráficos se puede observar cómo se reparte el consumo de energía eléctrica a lo largo del año en los distintos seis periodos:

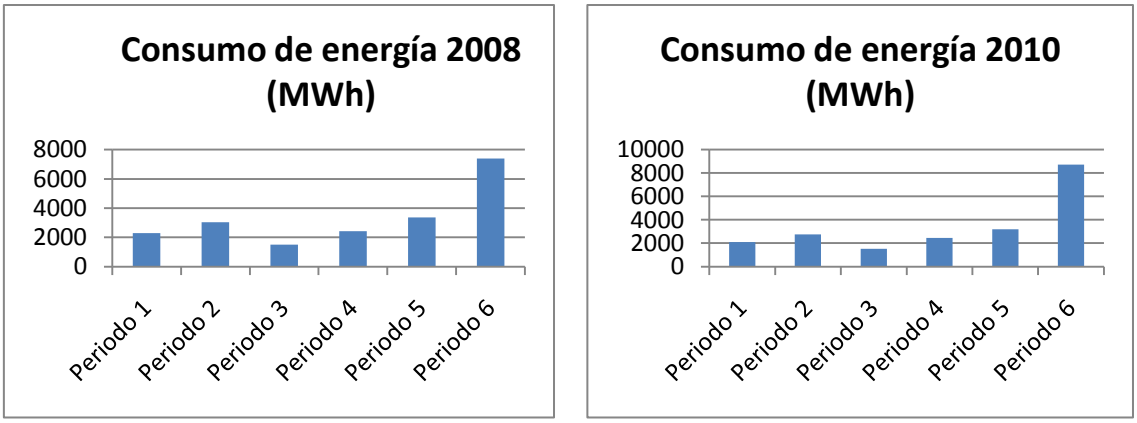


Figura 11: Consumo de energía por periodos en años 2008 y 2010

En la figura 11 anterior, se ve como el menor consumo anual se produce en el periodo 3 cuyo término de energía se encuentra en la media de los valores de los términos de potencia, así como, el mayor consumo anual se da en el periodo 6 cuyo precio por kWh es el mínimo término de energía.

Otro factor a tener en cuenta dentro de este análisis energético que se está realizando es el factor de potencia. Éste es un claro indicador de la potencia reactiva que estamos consumiendo, la cual será facturada a partir de que se supere un cierto consumo de ésta. En nuestro caso, el factor de potencia mantiene, por lo general, valores dentro de lo permitido y, por ello, no conllevará una facturación de reactiva.

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS AÑOS 2008 Y 2010

A continuación, se estudian los distintos costes que conforman nuestra facturación de energía eléctrica para así, más adelante, poder estudiar las distintas mejoras que podemos realizar para ahorrar el máximo dinero posible.

En puntos anteriores, se ha explicado detenidamente los costes que conllevan la tarifa a la que estamos acogidos, contratando la electricidad mediante una comercializadora, que es la situación actual real de nuestra industria. Por ello, solo se reflejaran los costes de cada uno de los años 2008 y 2010.

Se han utilizado los términos de potencia, de energía y de reactiva, así como el término k_i que vienen en el Real Decreto 1164/2001 de 26 de octubre [3]; y en la ITC 3860/2007 [7] para los datos de 2008 y en la ITC 1659/2009 [8] para los datos del 2010. En las siguientes tablas se muestran los valores utilizados en nuestros cálculos, incluyendo el precio actual de la energía impuesto por la comercializadora:

- 2008:

Periodo	1	2	3	4	5	6
Término de potencia (euros/kW)	10,092239	5,050488	3,696118	3,696118	3,696118	1,686408
Término de energía (euros/kWh)	0,101260	0,089354	0,090242	0,082646	0,078794	0,059497
Precio energía comercializadora (euros/kWh)	0,101260	0,089354	0,090242	0,082646	0,078794	0,059497

Tabla 10: Datos económicos 2008

- 2010:

Periodo	1	2	3	4	5	6
Término de potencia (euros/kW)	16,268690	8,141386	5,958142	5,958142	5,958142	2,718489
Término de energía (euros/kWh)	0,069642	0,052010	0,027715	0,013793	0,008908	0,005577
Precio energía comercializadora (euros/kWh)	0,133907	0,112824	0,099067	0,084577	0,076072	0,057565

Tabla 11: Datos económicos 2010

- Valores comunes a 2008 y 2010:

Periodo	1	2	3	4	5	6
Ki	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17

Tabla 12: Valor del coeficiente K_i

Cos Φ	Euro/kVArh
Cos Φ < 0,95 y hasta cos Φ = 0,90	T_{r_1}=0,000013
Cos Φ < 0,90 y hasta cos Φ = 0,85	T_{r_2}=0,017018
Cos Φ < 0,85 y hasta cos Φ = 0,80	T_{r_3}=0,034037
Cos Φ < 0,80	T_{r_4}=0,051056

Tabla 13: Término de energía reactiva

A continuación, se realiza el cálculo de la facturación en el año 2008 a partir de las lecturas de potencia, de los términos de potencia y de energía. En la siguiente tabla se muestra la facturación detallada:

MES	FACTURACIÓN COMERCIALIZADORA					
	Potencia	**Reactiva**	**Energía**	**Impuesto electricidad**	**IVA**	**TOTAL**
Enero	9306	0	136780	7469	24569	178123
Febrero	9306	0	121430	6684	21987	159407
Marzo	9306	0	113590	6283	20669	149848
Abril	9306	0	118140	6516	21434	155396
Mayo	9306	0	108780	6037	19860	143983
Junio	9306	0	122710	6750	22202	160968
Julio	9306	0	159390	8625	28371	205692
Agosto	9306	0	107870	5991	19707	142873
Septiembre	9306	0	139510	7608	25028	181452
Octubre	9306	0	126190	6927	22788	165211
Noviembre	9306	0	137110	7486	24624	178526
Diciembre	9306	0	154020	8350	27468	199144
						2020623

Tabla 14: Factura detallada de la comercializadora del año 2008

El siguiente gráfico de barras muestra nos permite ver de forma significativa el peso de cada término que compone la factura final:

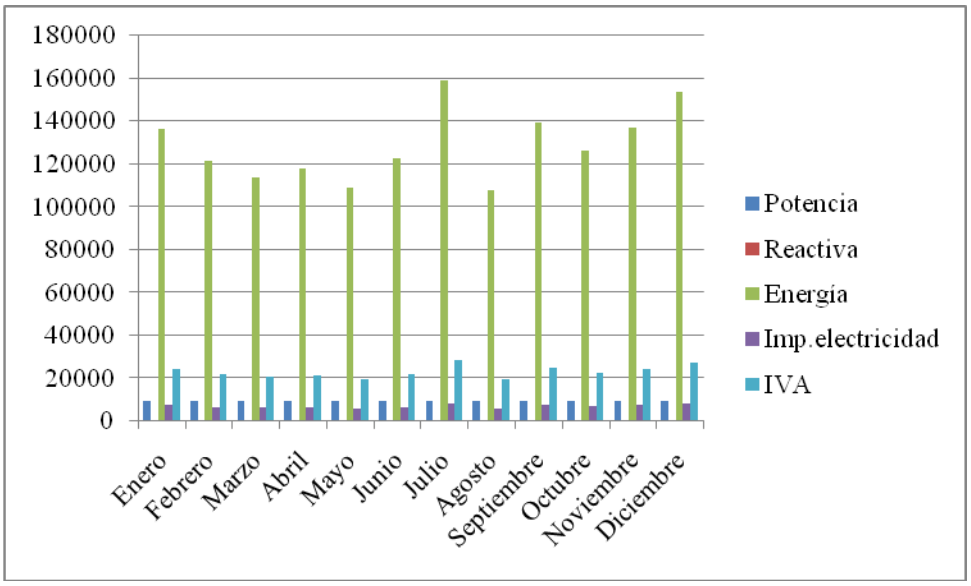


Figura 12: Facturación anual del año 2008

Análogamente, se realizan los cálculos de facturación para el año 2010 y se obtienen los valores que aparecen en la tabla siguiente:

MES	FACTURACIÓN COMERCIALIZADORA					
	Potencia	Reactiva	Energía	Impuesto electricidad	IVA	TOTAL
Enero	15873,58	0	163130	9152	30105	218260
Febrero	16062,73	0	160030	9003	29615	214711
Marzo	15435,99	0	144020	8153	26817	194426
Abril	15330,42	0	111800	6500	21381	155011
Mayo	15240,56	0	123320	7084	23303	168948
Junio	15343,08	0	145860	8242	27111	196556
Julio	15591,25	0	174650	9726	31995	231963
Agosto	15071,65	0	96657	5712	18791	136232
Septiembre	15232,52	0	136400	7753	25502	184887
Octubre	15531,46	0	121590	7011	23061	167193
Noviembre	17380,53	0	148060	8458	27824	201723
Diciembre	16815,63	0	167520	9425	31002	224762
						2294671

Tabla 15: Factura detallada de la comercializadora del año 2010

Su correspondiente gráfico de barras es el siguiente:

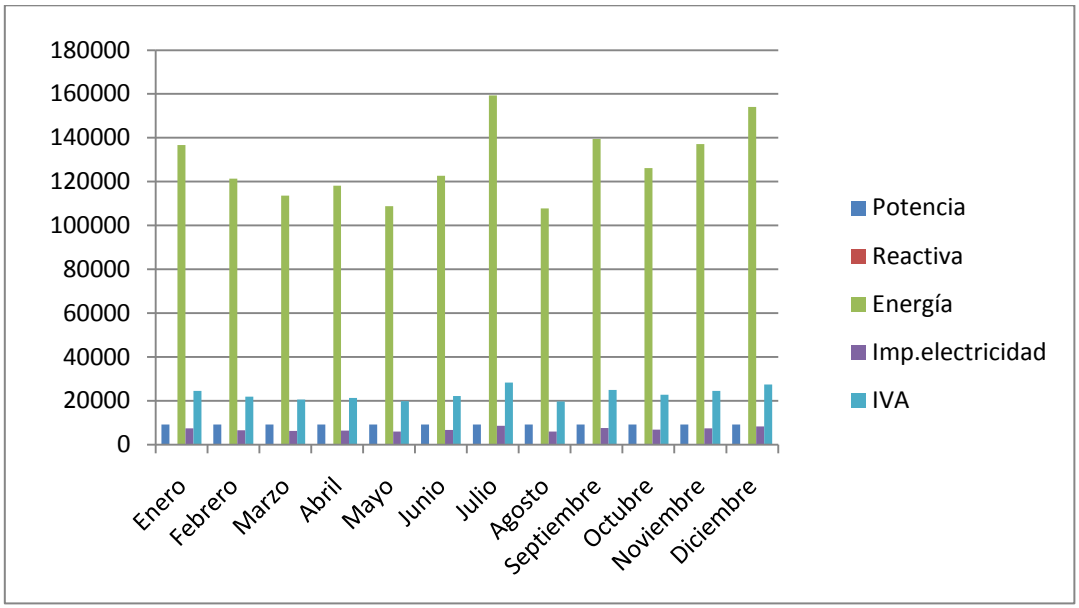


Figura 13: Facturación anual del año 2010

Se aprecia como en el caso anterior, el término de mayor peso es el correspondiente a la energía, término que viene impuesto por la comercializadora.

4.4. OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA CONTRATADA

Como ya hemos mencionado anteriormente, si se decide contratar la energía eléctrica con una comercializadora podemos conseguir un ahorro respecto a la facturación que tenemos actualmente cambiando la potencia contratada.

Para encontrar dicha potencia óptima a contratar, se ha minimizado la potencia facturada sabiendo que es una función de la potencia contratada y teniendo en cuenta que la potencia a contratar en un periodo i siempre será menor o igual a la contratada en el periodo i+1. Esto equivale a resolver el siguiente problema de optimización que se ha explicado en apartados anteriores.

Dicho problema de optimización se ha resuelto con la ayuda del programa Matlab y se han obtenido los siguientes resultados para los años 2008 y 2010.

- Año 2008:

La potencia a contratar en los diferentes periodos, resultante de resolver el sistema de ecuaciones, y que nos permite una facturación mínima de potencia, es la siguiente:

P_{ci} = 3698,2 kW para i Є [1,6]

Empleando las potencias contratadas actuales y las optimizadas se calcula la facturación de potencia, en ambos casos, para ver el ahorro conseguido como se observa en la siguiente tabla:

MES	Actual			Optimizada		
	EP	Pc	total	EP	Pc	Total
Enero	0	9305,8	9305,8	64,066	8433,2	8497,266
Febrero	0	9305,8	9305,8	161,67	8433,2	8594,87
Marzo	0	9305,8	9305,8	198,38	8433,2	8631,58
Abril	0	9305,8	9305,8	0	8433,2	8433,2
Mayo	0	9305,8	9305,8	0	8433,2	8433,2
Junio	0	9305,8	9305,8	214,7	8433,2	8647,9
Julio	0	9305,8	9305,8	241,23	8433,2	8674,43
Agosto	0	9305,8	9305,8	52,676	8433,2	8485,876
Septiembre	0	9305,8	9305,8	192,37	8433,2	8625,57
Octubre	0	9305,8	9305,8	333,63	8433,2	8766,83
Noviembre	0	9305,8	9305,8	1201,4	8433,2	9634,6
Diciembre	0	9305,8	9305,8	5117,2	8433,2	13550,4
			111669,6			108975,722

Tabla 16: Facturación de potencia actual y optimizada del año 2008

Donde:

EP = Facturación por excesos de potencia

Pc = Facturación por potencia contratada

El ahorro obtenido con un simple cambio de potencia contratada es el siguiente:

Ahorro	2693,878 €	2,41% de F_p	0,14% del total

Tabla 17: Ahorro mediante cambio de la potencia contratada

El primero de los valores muestra el precio anual en euros que se ahorraría y el segundo valor corresponde al porcentaje de ahorro respecto a la facturación actual de potencia que se conseguiría. El tercer término sería el ahorro frente a la facturación total.

En este caso, el ahorro resulta significativo, ya que con solo modificar la potencia contratada conseguiremos un ahorro del 2,41% anual de la cantidad pagada. Por ello, se modifica la potencia contratada con la comercializadora.

- Año 2010:

En este año, las potencias óptimas a contratar para conseguir la facturación menor de potencia son las siguientes:

Periodo	1	2	3	4	5	6
Pc	4015,9	4043,3	4064,4	4064,4	4064,4	4064,4

Tabla 18: Potencias contratadas óptimas

Donde se puede apreciar que se cumple el hecho de que la potencia contratada en un periodo i siempre es menor o igual a la contratada en el periodo i+1.

En la tabla siguiente se muestran las facturaciones de potencia actual y optimiza. En ella, se refleja qué precio corresponde al exceso de potencia y cuál corresponde a la potencia contratada.

MES	Facturación de potencia	
	Actual	Óptima

	EP	Pc	Total	EP	Pc	Total
Enero	872,75	15000,83	15873,58	731,31	15162,50	15893,81
Febrero	1061,90	15000,83	16062,73	922,02	15162,50	16084,52
Marzo	435,16	15000,83	15435,99	285,60	15162,50	15448,10
Abril	329,59	15000,83	15330,42	210,54	15162,50	15373,04
Mayo	239,73	15000,83	15240,56	146,38	15162,50	15308,88
Junio	342,25	15000,83	15343,08	193,53	15162,50	15356,03
Julio	590,42	15000,83	15591,25	472,44	15162,50	15634,94
Agosto	70,82	15000,83	15071,65	35,47	15162,50	15197,97
Septiembre	231,69	15000,83	15232,52	106,14	15162,50	15268,64
Octubre	530,63	15000,83	15531,46	357,37	15162,50	15519,87
Noviembre	2379,70	15000,83	17380,53	1757,70	15162,50	16920,20
Diciembre	1814,80	15000,83	16815,63	1607,00	15162,50	16769,50
			188909,44			188775,50

Tabla 19: Facturación de potencia actual y optimizada del año 2010

El ahorro conseguido es el siguiente:

Ahorro	**133,94**	**0,07% de F_p**	**0,0055% del total**

Tabla 20: Ahorro mediante cambio de la potencia contratada

Se puede ver, en este caso, que el ahorro no resulta significativo ya que no llega a ser ni un 1% del precio por facturación potencia que se está pagando actualmente. Por ello, no merece la pena cambiar la potencia contratada y habrá que buscar otras formas para ahorrar en la compra de energía eléctrica.

4.5. CÁLCULO DEL MÁXIMO AHORRO COMPRANDO EN MERCADO

Cuando se compra la electricidad en el mercado mayorista, se debe hacer previamente una previsión de consumos. Por ello, ante la posibilidad de cambiar al mercado mayorista. Hay que estudiar, en primer lugar, diferentes métodos para predecir nuestro consumo.

Se conocen numerosos métodos para realizar previsiones a partir de datos de años anteriores. En nuestro caso, se ha elegido el método de los vecinos y que ha sido explicado en apartados anteriores.

Para la aplicación de este método, donde se ha utilizado la ayuda del programa Matlab, una vez más, se han utilizado, como valores históricos de entrada, los seis primeros meses del año 2010. A partir de estos datos históricos, se han evaluado los 6 meses siguientes y, como tenemos los datos de consumo reales, se ha calculado el error cometido. Este error resulta importante ya que hay una facturación por desvío entre el consumo real y el estimado.

Mencionar que a la hora de comparar el día anterior al que queremos predecir y los datos históricos se poseen, se han aplicado unas ciertas condiciones adicionales para escoger dicho día histórico que tiene menor distancia con nuestro día previo. Las condiciones son las siguientes:

- Para predecir un sábado sólo se utilizan sábados del histórico, es decir, sólo se compararan el día previo a nuestro día a predecir con el viernes del histórico.
- En caso de querer predecir un domingo sólo se emplearan domingos de nuestro histórico.
- Para predecir lunes sólo se emplearan lunes de nuestros datos históricos.
- A la hora de predecir martes, miércoles, jueves o viernes no se podrán predecir dichos días con valores de histórico que sean lunes, sábado o domingo.

A continuación, se muestra un gráfico donde aparece tanto la potencia real consumida como la que hemos estimado con el método de los vecinos:

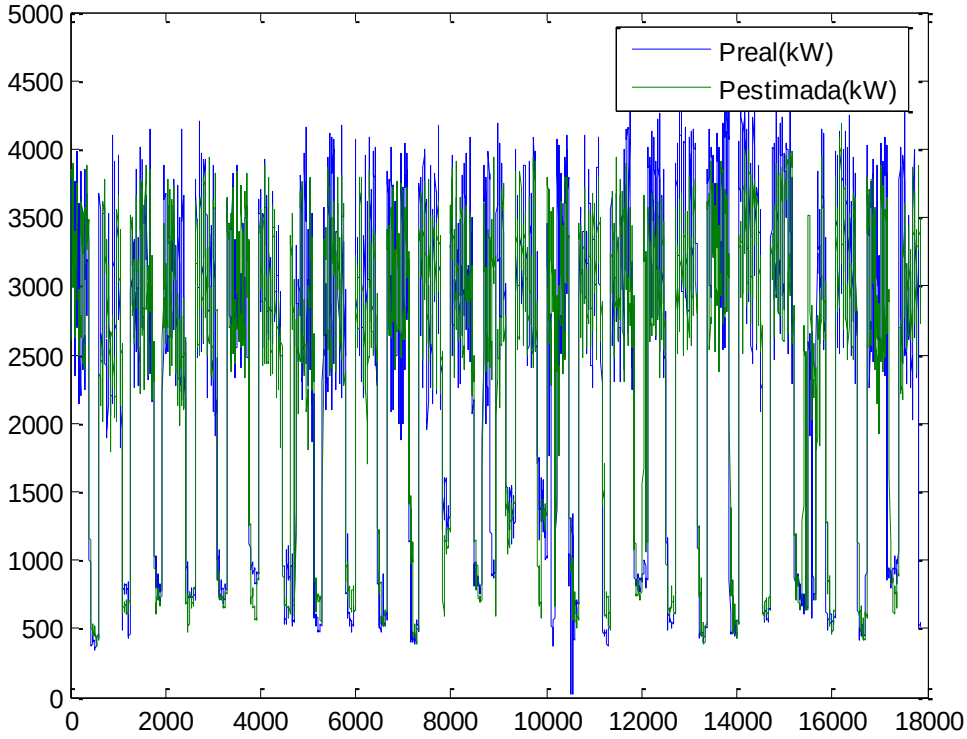


Figura 14: Potencia real frente a la estimada

Para ver más claramente el error cometido en dicha predicción, ya que en la figura 13 anterior no se muestra con mucha claridad, a continuación, en las figuras 15 y 16 aparecen los errores absolutos y relativos cometidos en nuestra predicción.

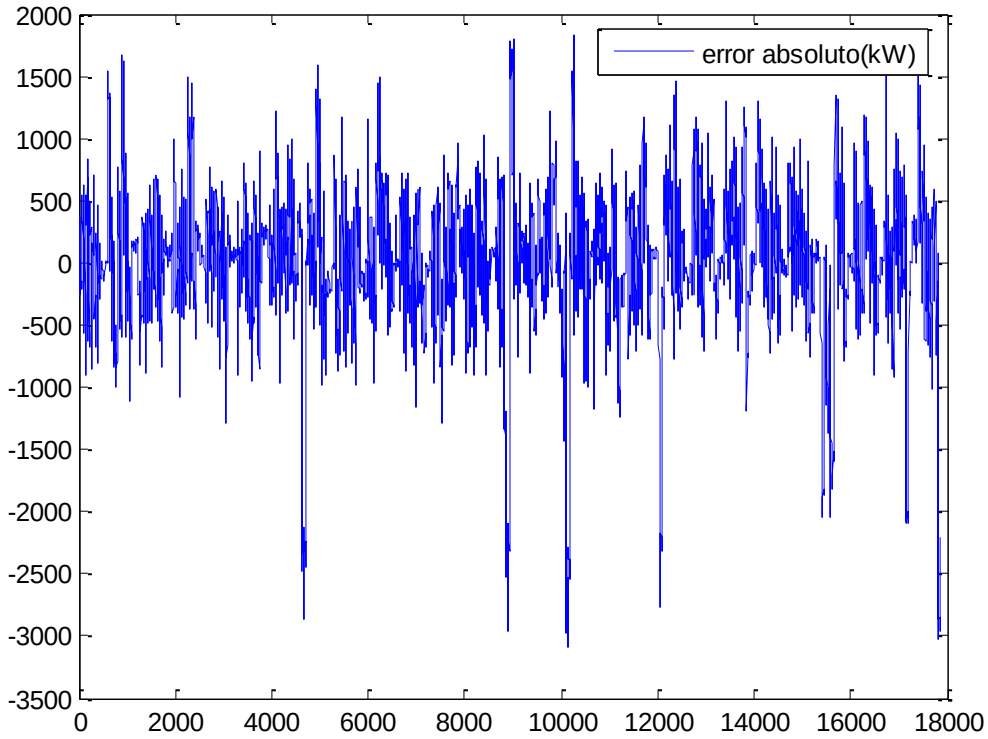


Figura 15: Error absoluto

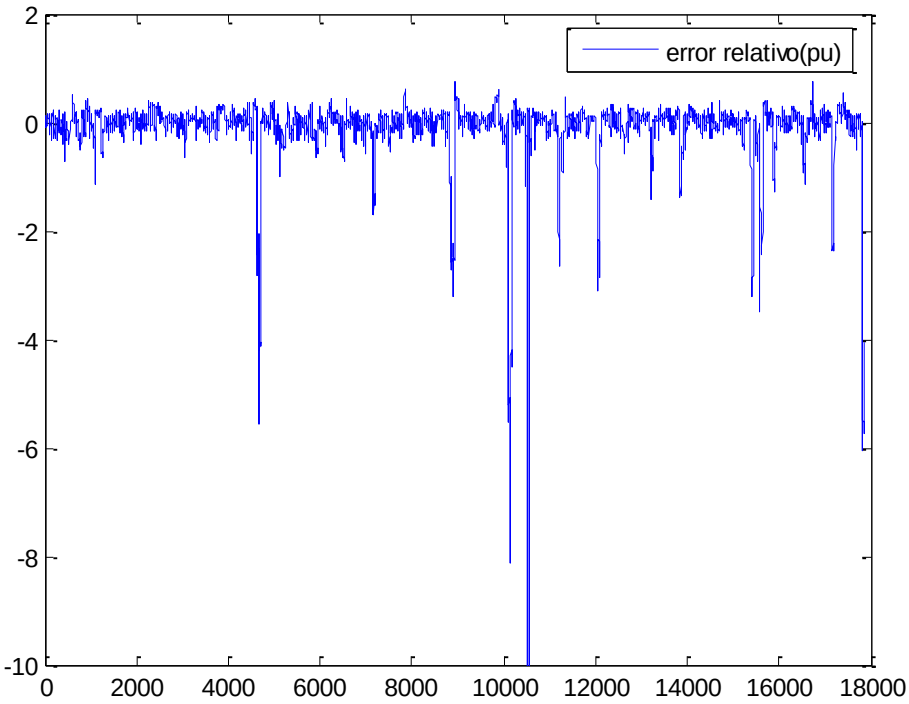


Figura 16: Gráfico error relativo

Se ve que el error relativo es muy cercano al cero en todo momento, salvo en un punto que sale muy elevado. Este punto es debido a un error en el filtrado, es decir, hay un día que ha sido tratado como laboral siendo festivo, por eso no se ajusta bien a nuestra predicción.

Para ver más claramente aún el error cometido y ver que es relativamente pequeño se ha realizado un histograma:

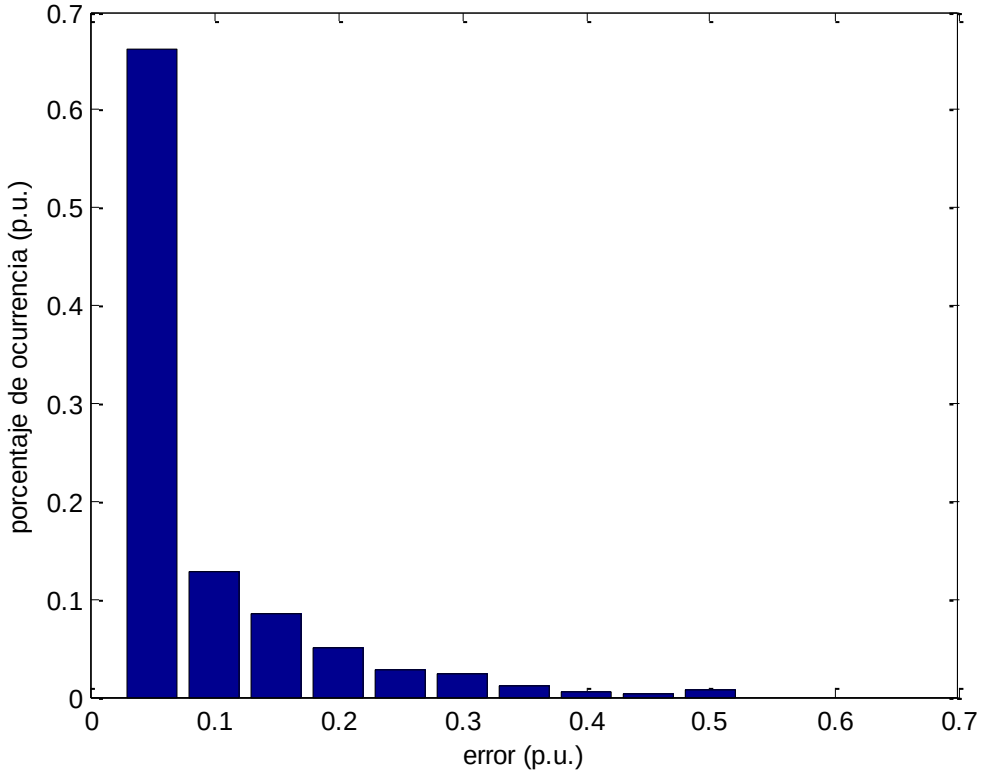
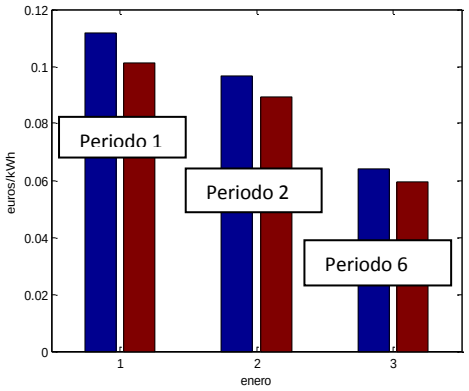


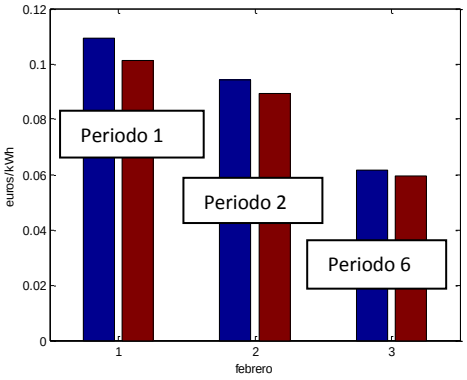
Figura 17: Histograma del error cometido

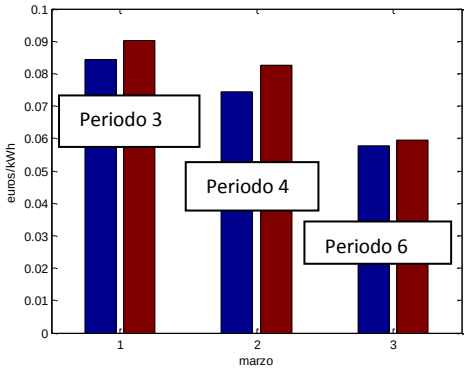
En la gráfica anterior se aprecia como en más del 60% de los casos el error relativo es menor al 0,1%, lo que supone un margen de fiabilidad bastante elevado.

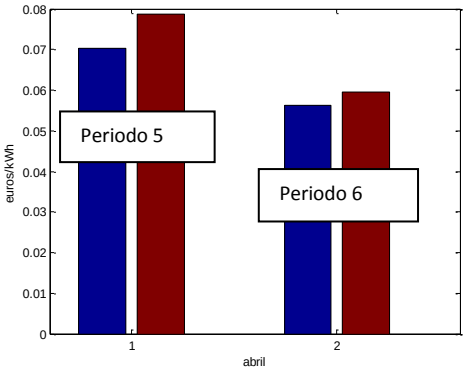
4.6. CÁLCULO DEL AHORRO REAL COMPRANDO EN MERCADO

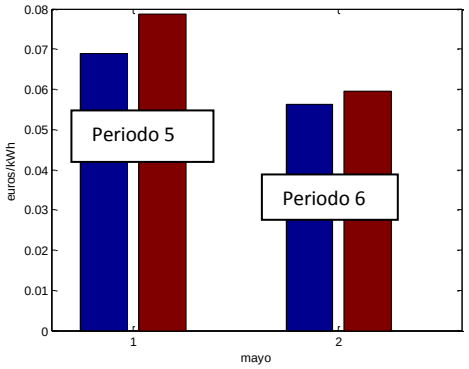
El posible cambio a mercado mayorista se estudia, en primer lugar, para el año 2008, pero este año no fue bueno para la comercializadora, dado que ésta perdió dinero incluso, no tiene sentido estudiar el cambio al mercado liberalizado porque siempre resultará este último la peor opción. Se puede observar este hecho más claramente en la figura 17 que enfrenta el precio de la comercializadora (rojo) frente a la media del precio final medio del mercado mayorista (azul) por periodos para cada uno de los meses del año:

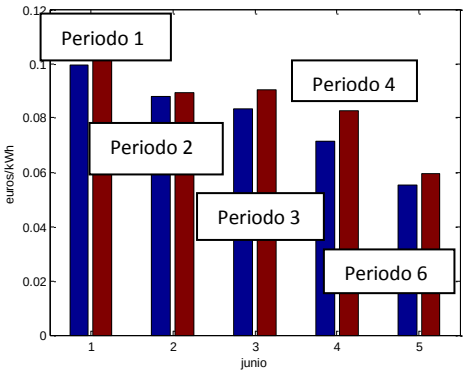

Periodo 1
Periodo 2
Periodo 6
euros/kWh
enero

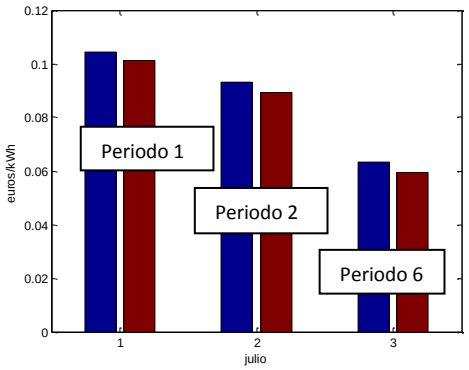

Periodo 1
Periodo 2
Periodo 6
euros/kWh
febrero

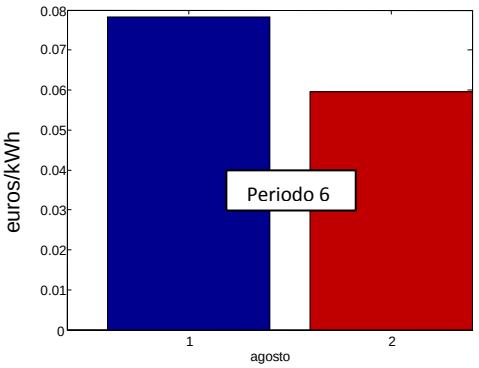

Periodo 3
Periodo 4
Periodo 6
euros/kWh
marzo


Periodo 5
Periodo 6
euros/kWh
abril


Periodo 5
Periodo 6
euros/kWh
mayo


Periodo 1
Periodo 4
Periodo 2
Periodo 3
Periodo 6
euros/kWh
junio


Periodo 1
Periodo 2
Periodo 6
euros/kWh
julio


Periodo 6
euros/kWh
agosto

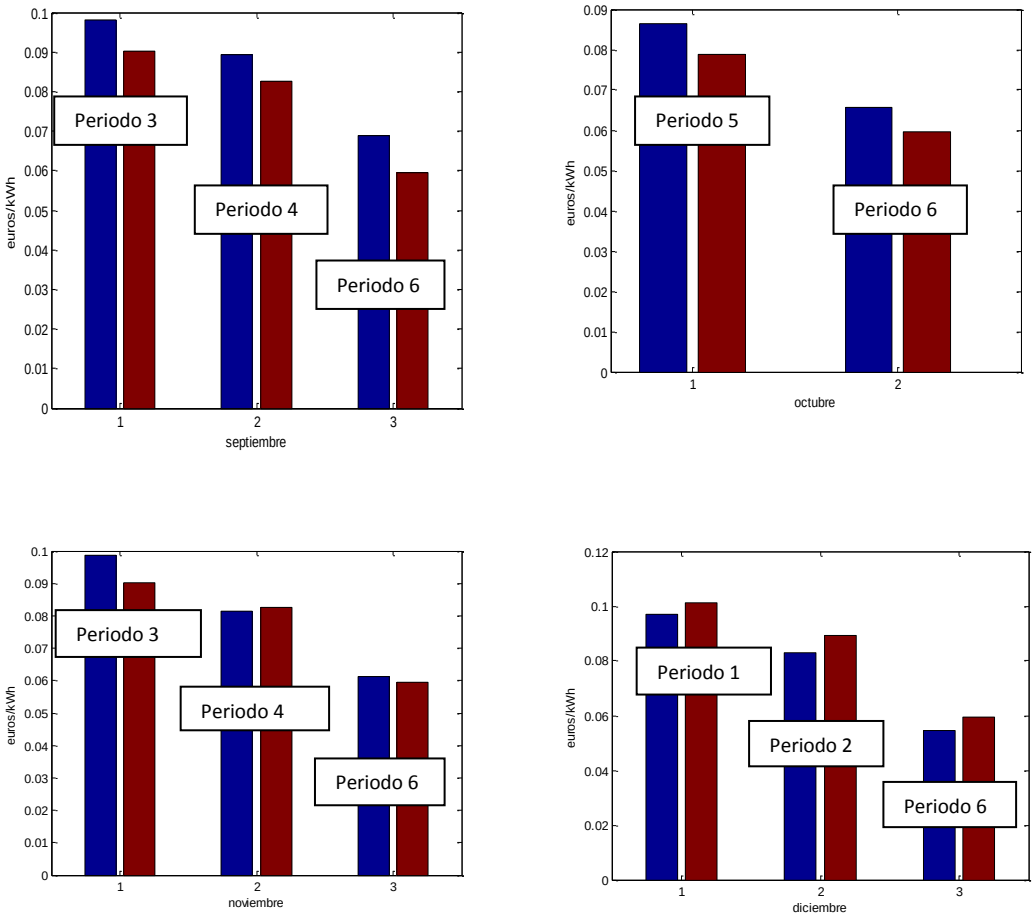
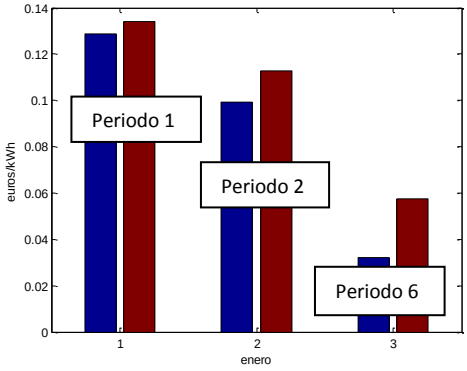
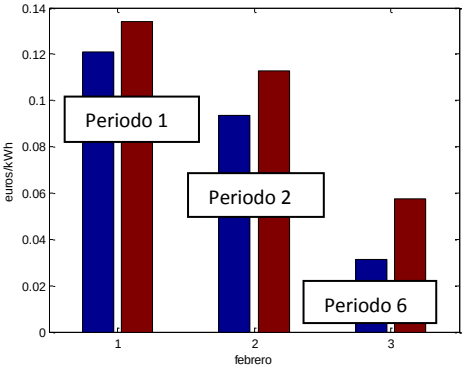


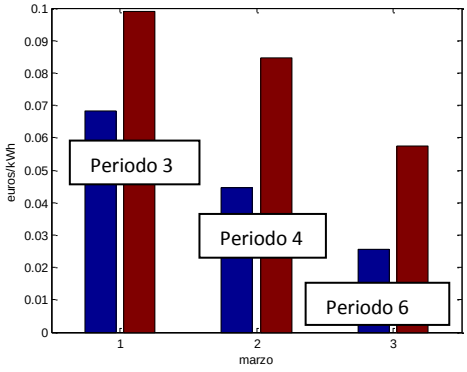
Figura 18: Precio de energía en comercializadora y mercado en año 2008

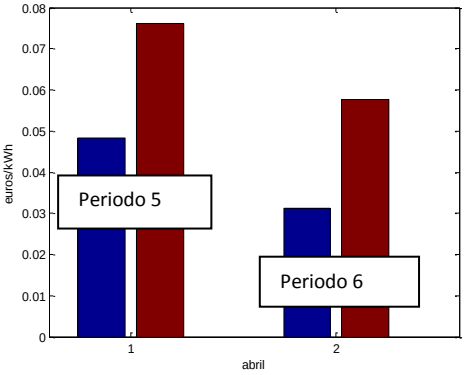
En los gráficos anteriores, se pueden ver los valores de precios por energía (euros/kWh): en rojo los equivalentes a la comercializadora y en azul los correspondientes al mercado libre. Se puede observar que la diferencia de precios entre comercializadora y mercado mayorista no es relevante. Por ello, no compensará cambiar a la hora de comprar energía eléctrica al mercado mayorista.

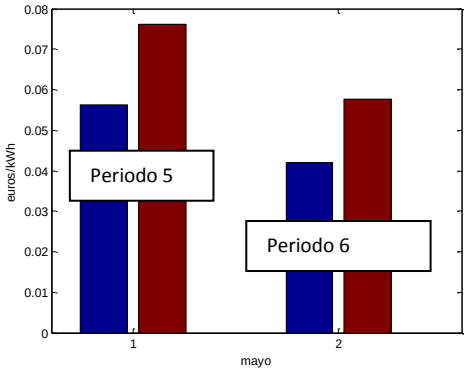
Si se analizan ahora los mismos gráficos, pero esta vez correspondientes al año 2010, veremos una gran diferencia entre los precios de energía de la comercializadora y el mercado libre:

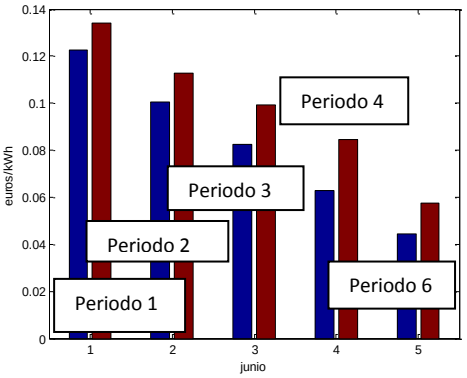

Periodo 1
Periodo 2
Periodo 6
euros/kWh
enero

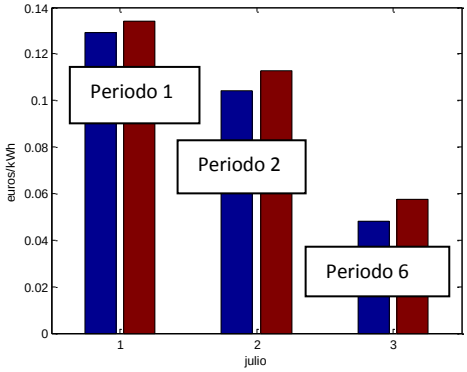

Periodo 1
Periodo 2
Periodo 6
euros/kWh
febrero

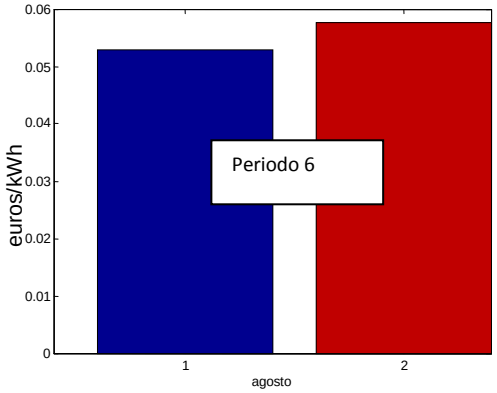

Periodo 3
Periodo 4
Periodo 6
euros/kWh
marzo


Periodo 5
Periodo 6
euros/kWh
abril


Periodo 5
Periodo 6
euros/kWh
mayo


Periodo 4
Periodo 3
Periodo 2
Periodo 1
Periodo 6
euros/kWh
junio


Periodo 1
Periodo 2
Periodo 6
euros/kWh
julio


Periodo 6
euros/kWh
agosto

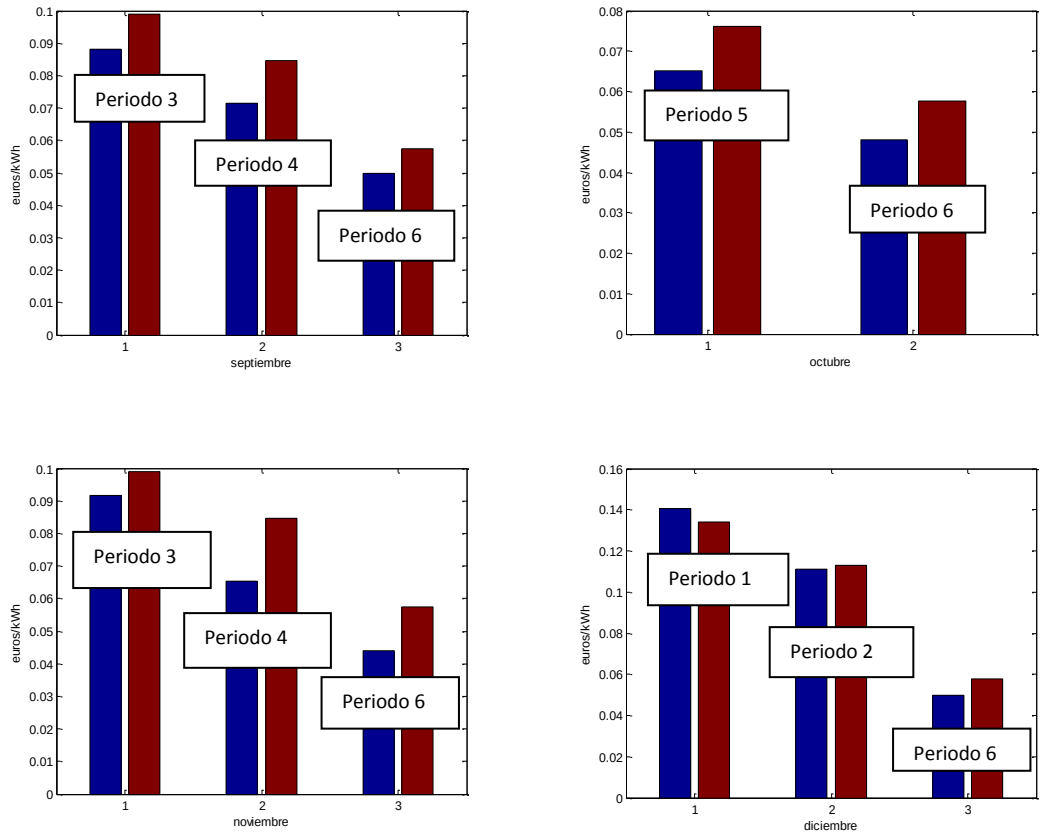


Figura 19: Precio de energía en comercializadora y mercado en año 2010

En los gráficos anteriores, a diferencia de los correspondientes al año 2008, se aprecia cómo a lo largo de los doce meses y de los seis periodos, los precios de la electricidad de la comercializadora (rojo) son siempre superiores a los del mercado mayorista (azul). De esta forma, será de gran utilidad realizar un estudio del cambio al mercado mayorista ya que se podrá conseguir un gran ahorro.

A la hora de comprar la energía eléctrica en el mercado liberalizado, como ya se ha dicho anteriormente, se debe realizar una previsión de consumo. Esta estimación, se ha realizado como se ha explicado en el apartado anterior.

Con los valores obtenidos se ha hallado el coste de la energía consumida, el cual se recoge en la siguiente tabla donde se muestra, de manera detallada, la factura:

MES	FACTURACIÓN MERCADO MAYORISTA							
	Potencia	Energía	Reactiva	Pool	Pérdidas transporte	Imp.electricidad	IVA	TOTAL
Julio	15001	71927	0	88662	10396	9509	31279	226774
Agosto	15001	9364,3	0	81992	4933	5690	18717	135697
Septiembre	15001	25039	0	92326	7200	7136	23472	170174
Octubre	15001	13410	0	89895	6200	6366	20939	151811
Noviembre	15001	27147	0	93484	7438	7315	24062	174447
Diciembre	15001	66720	0	95136	10431	9575	31498	228362
								1087264

Tabla 21: Facturación detallada mercado mayorista

Un término que se ha tenido en cuenta al realizar la factura es el correspondiente a las pérdidas en el transporte. Éstas suponen un coste entorno al 6% por encima de la potencia contratada. Para nuestro año 2010 los porcentajes de cada periodo eran los siguientes:

Periodo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Pérdidas (%)	6,8	6,6	6,5	6,3	6,3	5,4

Tabla 22: Porcentajes de pérdidas por periodo

Se ve que este precio es bastante inferior al que corresponde comprando la energía eléctrica a través de una comercializadora, factura que se muestra en la tabla 23.

MES	FACTURACIÓN COMERCIALIZADORA					
	Potencia	Reactiva	Energía	Imp.electricidad	IVA	TOTAL
Julio	15591,25	0	174650	9726	31995	231963
Agosto	15071,65	0	96657	5712	18791	136232
Septiembre	15232,52	0	136400	7753	25502	184887
Octubre	15531,46	0	121590	7011	23061	167193
Noviembre	17380,53	0	148060	8458	27824	201723
Diciembre	16815,63	0	167520	9425	31002	224762
						1146759

Tabla 23: Factura comercializadora para los 6 meses analizados

El ahorro, sin tener en cuenta los desvíos sobre medida, en estos seis meses es de 59.495 euros, que es el máximo ahorro posible.

El ahorro real será menor debido al término antes mencionado que no se ha aplicado. Para aplicar el desvío sobre medida, se usa la expresión siguiente:

$$F_{desvío} = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{4} |P_{cj} - P_{dj}| t_{Edesvío}$$

Donde:

$$t_{E_desvío} = t_E k$$

El coeficiente *k* es una constante que representa el porcentaje de penalización por desvío sobre el precio de la energía que se aplica. Este suele ser alrededor de un 10%, por ello, hemos tomado como valor de *k*=0,1. Teniendo en cuenta este desvío, el ahorro es de 51.474 euros. Este ahorro sigue siendo significativo ya que supone un 4,48% respecto a la facturación total de estos seis meses.

Por último cabe decir que este ahorro mencionado ha sido calculado teniendo en las condiciones más desfavorables, lo que quiere decir que será el mínimo ahorro posible sin riesgos.

En el caso más favorable, es decir, si no considerásemos ningún error en nuestra predicción el ahorro sería 59.495 euros, es decir un 5,19% del precio total a pagar en los seis meses considerados.

En las tablas 23 y 24 se plasman los resultados de este estudio:

FACTURACIÓN (euros)		
Actual	**Óptima mercado**	**Real mercado**
1.146.759	1.087.264	1.079.243

Tabla 24: Distintos casos de facturaciones

Ahorro	Óptima mercado	Real mercado
Euros	59.495	51.474
%	5,19%	4,48%

Tabla 25: Ahorros correspondientes a las facturaciones