



Universidad de Navarra Escuela Superior de Ingenieros
Nafarroako Unibertsitatea Ingeniarien Goi Mailako Eskola

Proyecto Fin de Grado

INGENIERO ELÉCTRICO

“EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN”

El alumno: Fermín Rodríguez Lalanne
San Sebastián, octubre de 2014

tecnun

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO	2
3. MATERIALES Y DATOS DE PARTIDA.....	3
3.1 Materiales.....	3
3.2 Datos de partida	3
4. MÉTODOS	5
4.1 Características principales de los edificios.....	5
4.2 Explicación de la tarifa contratada	6
4.3 Cálculo de la facturación	7
4.4 Forma de cobro en las facturas eléctricas	9
4.5 Funcionamiento del programa utilizado	11
4.5.1 Explicación de la metodología para pasar de matriz a columna	17
4.6 Cálculos necesarios para la representación de las gráficas.....	18
5. ANÁLISIS Y PROPUESTAS.....	22
5.1 Edificio I.....	22
5.1.1 Análisis del edificio.....	22
5.1.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro	23
5.2 Edificio II.....	25
5.2.1 Análisis del edificio.....	25
5.2.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro	27
5.3 Edificio III.....	28
5.3.1 Análisis del edificio.....	28
5.3.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro	29

5.4	Edificio IV	30
5.4.1	<i>Análisis del edificio</i>	30
5.4.2	<i>Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro</i>	33
5.5	Edificio V	33
5.5.1	<i>Análisis del edificio</i>	33
5.5.2	<i>Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro</i>	34
5.6	Edificio VI	35
5.6.1	<i>Análisis del edificio</i>	35
5.6.2	<i>Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro</i>	37
5.7	Edificio VII	38
5.7.1	<i>Análisis del edificio</i>	38
5.7.2	<i>Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro</i>	39
5.8	Edificio VIII	40
5.8.1	<i>Análisis del edificio</i>	40
5.9	Edificio IX	42
5.9.1	<i>Análisis del edificio</i>	42
6.	CONCLUSIONES	44

1. INTRODUCCIÓN

Las Administraciones en general están inmersas en un proceso de diagnóstico y adecuación de los criterios de Ahorro y Eficiencia Energética (AEE) aplicándolo a todos los edificios de cuya gestión son responsables. Entre ellos, los edificios con contrato en Alta Tensión de una determinada Administración, de los que este informe se hace cargo, presentan ciertas dudas sobre su real aprovechamiento energético, a nivel funcional y de explotación cuya corrección podría suponer un importante ahorro en las facturas eléctricas en el término de potencia contratada.

En este contexto, Idom aporta su experiencia para determinar el estado real de los edificios y proponer nuevas tarifas de contratación que supongan un ahorro directo, utilizando una misma metodología común a todos los edificios que se explicará en la Sección 4. Métodos.

2. OBJETIVO

El objetivo de esta memoria es analizar el comportamiento de cada uno de los edificios desde el punto de vista de los consumos energéticos, concretar el estado real de cada uno de ellos e imponer acciones correctoras.

El estudio no profundiza en la idoneidad de la solución técnica, debido a la exigua cantidad de datos de partida que se han proporcionado.

El trabajo queda estructurado en una única línea de actuación en la que se analizan las potencias contratadas, tratando así de ajustarlas a la demanda real de cada edificio y comprobando si el ahorro es factible.

Como resumen de todo lo anterior, se propone elaborar un listado de medidas correctoras, recomendaciones y propuestas de mejora. De esta forma, en fases posteriores y disponiendo de más datos, se podría elaborar una línea que optimice al máximo la curva de carga de cada uno de estos edificios, obteniendo una mayor eficiencia y ahorro. Por otro lado, se elaboraría un patrón que sirva para el control y supervisión de consumos, pudiendo establecer objetivos claros en los límites de consumo y facturación para un determinado período.

3. MATERIALES Y DATOS DE PARTIDA

3.1 Materiales

Los materiales que se han empleado para poder llevar a cabo la presente memoria han sido:

- Microsoft Office Excel 2010
- Microsoft Office Word 2010
- Orden del 12 de enero de 1995, relativa a la división del Reino de España en 7 regiones para adecuar los distintos períodos a los climas de cada una de las zonas
- Artículo 9.3 del Real Decreto 1164/2001 de 26 de octubre, relativa a los cálculos que se deben realizar para computar los excesos de potencia consumida en la factura eléctrica
- Normativa de Redacción de Proyectos Fin de Grado de Tecnun-Universidad de Navarra
- Página Web de Iberdrola
- Orden ITC/3801/2008 de 26 de diciembre, relativa a los períodos de la tarifa eléctrica de los edificios
- Reglamento de Baja Tensión

3.2 Datos de partida

Para la realización de la memoria, así como del estudio energético, Idom ha contado con la siguiente información de partida:

- Facturas eléctricas del ejercicio 2012-2013.
 - Instalación eléctrica:
 - Información de monitorización de la instalación (contadores de energía eléctrica)
 - Termino fijo de Potencia contratada
 - Información de monitorización de los máxímetros
 - Información cuarto-horaria de la energía activa

- Información horaria de la energía activa
- Información cuarto-horaria de la energía reactiva
- Información horaria de la energía reactiva

A modo de resumen se presenta la Tabla 1, donde se pueden comprobar los contratos de partida de cada uno de los edificios que se han analizado en este proyecto:

Referencia	Período 1 [kW]	Período 2 [kW]	Período 3 [kW]	Período 4 [kW]	Período 5 [kW]	Período 6 [kW]
Edificio I	950	950	950	950	950	950
Edificio II	200	200	300	300	300	451
Edificio III	150	150	150	150	150	451
Edificio IV	150	150	150	150	150	451
Edificio V	150	150	150	150	150	451
Edificio VI	525	525	525	525	525	1170
Edificio VII	400	400	400	400	400	451
Edificio VIII	400	400	400	400	400	451
Edificio IX	250	250	250	250	250	451

Tabla 1: Contratos iniciales del Término de Potencia y Referencias

Nota I: Por motivos de confidencialidad, tanto el nombre como el emplazamiento de los edificios se omite. En su lugar se hará referencia a ellos siguiendo las referencias de la Tabla 1.

Nota II: La explicación referente a los Períodos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 viene detallada en la Sección 4.2. Explicación de la tarifa contratada.

4. MÉTODOS

4.1 Características principales de los edificios

Se ha procedido a realizar un estudio de la facturación eléctrica correspondiente a los 12 últimos meses, desde el 01/02/2013 hasta el 31/01/2014. Éste, está dirigido a una primera optimización, tratando de comprobar si alguno de los parámetros que lo componen puede ajustarse a valores más consecuentes con el uso de la instalación. De esta manera se pretende obtener un ahorro económico, en aquellos casos que sean susceptibles de mejora.

Como tal, y con los datos proporcionados, este ahorro no puede considerarse energético, ya que la revisión de las facturas no da lugar a una modificación en el consumo, sino únicamente en la forma en que se factura.

Sin embargo, las gráficas obtenidas a partir de dichos consumos permitirán comprobar si el uso de la instalación es adecuado. En el caso de que se observen anomalías y disponiendo de más información sobre el uso de la instalación del edificio, se podrían plantear otras vías de reducción de consumo energético, considerándose éstas como medidas de ahorro energético.

Por otro lado, con el método que se detalla a continuación se quiere comprobar si el importe de las facturas de cada uno de los edificios corresponde con los términos económicos definidos en el contrato y si se le está aplicando la tarifa obligada para este tipo de consumidor.

Las tarifa eléctrica a la que pertenecen estos edificios varía en función del nivel de tensión y del número de períodos tarifarios (Orden ITC/3801/2008 de 26 de diciembre). Las características que presentan son las siguientes:

- Alta Tensión (en consecuencia con el RBT, > 1 kV)
- Tarifa 6.1 (para tensiones comprendidas entre 1 y 36 kV)
- Número de períodos de facturación: 6

4.2 Explicación de la tarifa contratada

Cada uno de estos 6 períodos a los que continuamente se está haciendo referencia, hacen que en función del mes, del día de la semana y de la hora del día en el que se esté demandando energía, tanto el término de potencia como el de energía varíen del período 1 al período 6. Por contrato, hay un precio distinto que se aplicará a cada uno de estos períodos.

El reparto de los períodos a lo largo del año en la zona de Gipuzkoa queda representado en la Tabla 2.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC												
1	P6 (y todas las horas de Sábados, Domingos y Festivos)																							
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9	P2	P2							P4			P2												
10	P1	P1	P4			P2	P2		P3		P4	P1												
11																								
12	P2	P2		P5	P5	P1	P1	P6		P5		P2												
13			P3								P3	P1												
14	P1	P1				P2	P2		P4															
15			P4								P4	P2												
16	P2	P2																						
17																								
18	P1	P1																						
19																								
20	P2	P2																						
21																								
22																								
23																								
24																								

Tabla 2: Distribución de períodos en la provincia de Gipuzkoa

Debido a los diferentes climas existentes en el Reino de España, la Orden del 12 de enero de 1995 establece que el país se divide en 7 diferentes zonas, variando la distribución de los períodos en cada zona. Esta medida pretende ajustar los períodos a cada zona variando así la facturación y ajustando el término del precio de la energía a cada zona.

En la Tabla 3 queda recogido cómo se distribuye el territorio en las diferentes zonas:

Zona	Territorios
1	Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Castilla y León, La Rioja y Navarra
2	Aragón y Cataluña
3	Madrid, Castilla-La Mancha y Extremadura
4	Valencia, Murcia y Andalucía
5	Baleares
6	Canarias
7	Ceuta y Melilla

Tabla 3: Distribución del territorio en las diferentes zonas

4.3 Cálculo de la facturación

El coste fijo de la factura eléctrica recibe el nombre de término de potencia y éste depende de la potencia que se tenga contratada con la compañía eléctrica. En este caso, debido al tipo de tarifa que tienen estos edificios, es necesario especificar la potencia de cada uno de los períodos.

Cuando en un intervalo cuarto-horario el consumo eléctrico supere el valor de la potencia contratada, dichos excesos se facturaran atendiendo el Artículo 9 del RD 1164/2001 de 26 de octubre.

A continuación, se procede a explicar cómo se realizan los cálculos para obtener el término de potencia en la factura. Dicho término es un coste fijo anual que depende exclusivamente de la potencia contratada. En la Tabla 4, se muestra el coste [€/kW/año] del término de potencia que Iberdrola facilita en su propuesta de contratación de potencias:

Período	[€/kW/año]
Término de potencia (Período 1)	40,050182
Término de potencia (Período 2)	20,042426
Término de potencia (Período 3)	14,667727
Término de potencia (Período 4)	14,667727
Término de potencia (Período 5)	14,667727
Término de potencia (Período 6)	6,692364

Tabla 4: Precios de los distintos períodos

Si en algún período cuarto-horario, la potencia registrada por el maxímetro es mayor a la potencia contratada, se cobra un importe por exceso de potencia calculado según el Artículo 9.3 del RD 1164/2001 de 26 de octubre de la forma siguiente:

$$P_F = (K_i * 1,478305 * A_{ei}) \tag{1}$$

donde,

- K_i es un coeficiente que adopta diferentes valores dependiendo del período tarifario i .

Período	1	2	3	4	5	6
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17

- A_{ei} es el coeficiente que expresa los excesos de potencia cometidos y se calcula de la siguiente forma:

$$A_{ei} = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=n} (Pdj - Pci)^2} \tag{2}$$

Pdj : potencia demandada en cada uno de los cuartos de hora del período i en que se haya sobrepasado Pci .

Pci : potencia contratada en el período i en el período considerado.

Teniendo esto en cuenta, se estudiarán diferentes posibilidades de reducción de potencia, para de esta manera reducir el coste fijo anual de término de potencia. Por otro lado, hay que señalar que los datos que se han expuesto en la Tabla 4, pág. 8, están sujetos a cambios según Reales Decretos a lo largo del año.

Para realizar los cálculos que se explicarán en la siguiente sección, se han tenido en cuenta las siguientes premisas:

- Se debe contratar la misma potencia en los períodos 1 y 2 y en los 3, 4 y 5.
- La potencia del período 6 debe ser mayor que 450 kW para contratar la Tarifa 6.1
- Para calcular los costes de exceso de potencia de los períodos cuarto-horarios en los que se sobrepasa la potencia contratada, se aplica el coeficiente K de recargo de la ecuación [1] y queda detallado en la pág. 8.
 - Para el período 1, $K = 1$
 - Para el período 2, $K = 0,5$
 - Para el período 3, 4 y 5 $K = 0,37$
 - Para el período 6, $K = 0,17$
- Se ha aplicado un factor $K = 1$ a los excesos de potencia realizados en P2.
- Se ha aplicado un factor $K = 1$ a los excesos de potencia realizados en sábados y domingos en los meses de enero, febrero, julio y diciembre.
- Se ha aplicado un factor $K = 0,37$ a los excesos de potencia realizados en sábados y domingos de los meses de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre.

Como consecuencia directa de estos supuestos, los excesos de potencia calculados serán ligeramente superiores a los reales.

4.4 Forma de cobro en las facturas eléctricas

A continuación, en la Figura 1, se detalla cómo procede la compañía eléctrica a la hora de proceder al cobro de la factura eléctrica.

En dicha imagen se puede observar cómo la factura se divide en varios campos, siendo el primero de ellos el término de potencia. Este valor se mantiene constante a lo largo del año, haciendo referencia a la potencia que se ha contratado con la compañía suministradora.

El sentido de éste es diferente del de los hogares, ya que aunque también sea constante, hace referencia a la potencia que disponemos mensualmente, mientras que en el de la tarifa 6.1, hace referencia a la potencia que disponemos de forma anual.

De esta forma, en lugar de pagar una única vez, se distribuye a lo largo del año en cuotas mensuales facilitando el pago a las empresas.

IMPORTE						
ENERGÍA						
Potencia facturada (01/12/2013-31/01/2014)		P1 200 kW x 3,401522 €/kW				680,30 €
		P2 200 kW x 1,702233 €/kW				340,45 €
		P3 300 kW x 1,245752 €/kW				373,73 €
		P4 300 kW x 1,245752 €/kW				373,73 €
		P5 300 kW x 1,245752 €/kW				373,73 €
		P6 451 kW x 0,568392 €/kW				256,34 €
Total importe potencia hasta 31/01/2014						2.398,28 €
Energía facturada (31/12/2013-31/01/2014)		P1 15.891 kWh x 0,124373 €/kWh				1.976,41 €
		P2 26.592 kWh x 0,103902 €/kWh				2.762,96 €
		P6 43.269 kWh x 0,058876 €/kWh				2.547,51 €
Total 85.752 kWh hasta 31/01/2014						7.286,88 €
TOTAL ENERGÍA						9.685,16 €
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS						
Alquiler equipos medida (31/12/2013-31/01/2014)		1 mes x 64 €/mes				64,00 €
TOTAL SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS						64,00 €
IMPORTE TOTAL						9.749,16 €
IVA		21% s/9.749,16 €				2.047,32 €
TOTAL IMPORTE FACTURA						11.796,48 €
CONSUMOS						
Nº contador	Periodo horario	Desde	Lectura	Hasta	Lectura	Consumo/Potencia
0018300500	Energía activa P1	31/12/2013	000164518	31/01/2014	000180409	15.891 kWh
0018300500	Energía activa P2	31/12/2013	000229840	31/01/2014	000256432	26.592 kWh
0018300500	Energía activa P3	31/12/2013	000138213	31/01/2014	000138213	0 kWh
0018300500	Energía activa P4	31/12/2013	000231943	31/01/2014	000231943	0 kWh
0018300500	Energía activa P5	31/12/2013	000260725	31/01/2014	000260725	0 kWh
0018300500	Energía activa P6	31/12/2013	001339487	31/01/2014	001382756	43.269 kWh
0018300500	Energía reactiva P1	31/12/2013	000007287	31/01/2014	000007425	138 kVArh
0018300500	Energía reactiva P2	31/12/2013	000007585	31/01/2014	000007866	281 kVArh
0018300500	Energía reactiva P3	31/12/2013	000003023	31/01/2014	000003023	0 kVArh
0018300500	Energía reactiva P4	31/12/2013	000005193	31/01/2014	000005193	0 kVArh
0018300500	Energía reactiva P5	31/12/2013	000007101	31/01/2014	000007101	0 kVArh
0018300500	Energía reactiva P6	31/12/2013	000031556	31/01/2014	000032146	590 kVArh
0018300500	Maxímetro P1	31/12/2013	000000000	31/01/2014	000000152	152 kW
0018300500	Maxímetro P2	31/12/2013	000000000	31/01/2014	000000153	153 kW
0018300500	Maxímetro P3	31/12/2013	000000000	31/01/2014	000000000	0 kW
0018300500	Maxímetro P4	31/12/2013	000000000	31/01/2014	000000000	0 kW
0018300500	Maxímetro P5	31/12/2013	000000000	31/01/2014	000000000	0 kW
0018300500	Maxímetro P6	31/12/2013	000000000	31/01/2014	000000147	147 kW
0018300500	Sobrepasamientos P1	31/12/2013	000000000	31/01/2014	000000000	0 kW
0018300500	Sobrepasamientos P2	31/12/2013	000000000	31/01/2014	000000000	0 kW

Figura 1: Factura eléctrica de la Tarifa 6.1

El término de energía facturada dependerá del de los diferentes períodos que compongan el mes en el que se han llevado a cabo las lecturas de los maxímetros. En la Figura 1, este apartado está compuesto por los períodos 1, 2 y 6.

Otras partidas que pueden aparecer en estas facturas son las penalizaciones debidas a un exceso de potencia consumida en un cuarto-horario determinado o un $\cos \varphi < 0,95$.

El siguiente concepto es el de alquiler de equipos de medida que mantiene un precio de 64 € mensuales.

Una vez realizada la suma de todas las partidas, se aplica el IVA correspondiente del 21%, obteniéndose el monto total que se le cobrará al cliente.

4.5 Funcionamiento del programa utilizado

En la siguiente sección se procederá a explicar de forma detallada cómo se ha programado el documento Excel que se adjunta con esta memoria y que permite analizar si la potencia contratada de los edificios analizados es la óptima.

El interés de esta sección reside en entender el procedimiento, por lo que se explicará de forma general, mientras que en la sección 5. Análisis y propuestas se analizarán los datos obtenidos.

En primer lugar, como se puede observar cada carpeta está nombrada con la misma referencia de la Tabla 1. Todas las carpetas contienen los mismos archivos Excel:

- Los documentos con el nombre *CC / mes del año / año* son las lecturas de los maxímetros que han sido aportados por la Administración.
- El documento nombrado como *POTENCIA / Referencia / análisis* en el que con los datos de las lecturas y el programa creado se ha obtenido el término de potencia óptima.

Si se abre el segundo documento se verá que contiene varias pestañas, todas aquellas que reciben el nombre de *Factura / mes del año / año* contienen los mismos datos que en los documentos *CC / mes del año / año* a los que se ha hecho referencia anteriormente. Se ha considerado oportuno copiar estos datos dentro del archivo, para que su manipulación fuese más sencilla.

Si se abre cualquiera de estos documentos a los que estamos haciendo referencia, se observará que tienen un formato idéntico al que se puede apreciar en la Figura 2.

3	Potencias Cuarto-Horarias Activas (kW)																								
4	Fecha/Hora	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30	3:45	4:00	4:15	4:30	4:45	5:00	5:15	5:30	
5	01/02/2013	44	44	44	44	40	44	44	44	44	40	44	44	44	44	40	44	44	44	44	44	44	88	72	6
6	02/02/2013	44	44	40	44	44	40	44	44	40	44	44	44	40	44	44	40	44	44	40	44	44	44	44	4
7	03/02/2013	48	44	44	44	44	44	44	44	48	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	48	4
8	04/02/2013	88	84	80	84	88	68	88	84	88	88	80	84	80	80	96	72	80	108	92	80	104	104	7	
9	05/02/2013	44	48	44	44	48	48	44	48	48	44	48	44	48	44	48	48	44	48	44	48	92	72	7	
10	06/02/2013	56	56	60	52	56	60	56	56	56	60	56	56	56	60	56	56	60	56	60	56	100	100	11	
11	07/02/2013	48	52	48	52	48	48	48	52	48	52	48	52	48	52	48	52	48	52	48	52	100	100	10	
12	08/02/2013	52	48	52	52	48	52	48	52	48	52	48	52	48	52	48	52	48	52	48	52	96	96	10	
13	09/02/2013	44	44	44	44	40	44	44	44	48	44	48	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	4	
14	10/02/2013	48	44	48	44	44	44	44	44	48	44	48	44	48	44	48	44	44	48	44	48	44	48	4	
15	11/02/2013	84	92	68	96	84	92	84	92	84	92	92	88	92	92	88	88	112	116	112	108	120	116	11	
16	12/02/2013	44	44	44	44	44	44	44	44	48	44	44	44	44	48	44	44	44	40	44	40	44	88	88	10
17	13/02/2013	44	48	48	44	48	44	48	44	48	44	48	44	48	48	44	44	44	48	44	44	44	92	88	10
18	14/02/2013	44	44	40	44	44	40	44	40	44	44	44	44	40	44	44	40	44	44	44	40	92	68	6	
19	15/02/2013	44	40	44	40	40	48	40	44	44	44	40	44	40	44	40	40	44	44	40	44	84	76	6	
20	16/02/2013	40	40	44	40	44	40	44	40	40	40	44	40	40	44	44	40	44	40	40	44	40	40	4	
21	17/02/2013	40	44	44	44	40	44	44	40	44	44	40	44	44	44	44	40	44	44	40	44	44	44	4	
22	18/02/2013	84	92	88	92	88	80	80	80	84	76	84	76	84	76	80	88	96	80	104	100	80	92	9	
23	19/02/2013	40	36	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	36	40	40	40	40	40	84	88	9	
24	20/02/2013	40	36	40	40	36	40	40	40	36	40	36	40	36	40	36	40	36	40	40	36	84	88	8	

Figura 2: Lecturas cuarto-horarias

La Figura 2 no es más que parte de una de las lecturas de uno de los edificios en el que se puede ver como a lo largo de cada día el maxímetro registra la potencia que se está demandando. Sin embargo, para el programa que se ha diseñado, ha sido necesario pasar todas las lecturas a una única columna. De tal forma que la siguiente lectura a la de las 23:45 de cualquier día no saltase de fila, sino que todas apareciesen seguidas en la misma columna como se refleja en la Figura 3.

44
44
44
44
40
44
44
44
44
40
44
44
44
44
40
44
44
44
44
44
88
72

Figura 3: Lecturas en vertical

Para poder realizar este cambio en el formato de los datos, donde los datos de partida proporcionados por la Administración estaban distribuidos en varias filas y columnas a una única columna, fue necesario hacer una combinación de fórmulas de Excel que se presenta a continuación:

```
=DESREF($B$5:$CS$32;TRUNCAR((FILA()-
FILA($CU$5))/COLUMNAS($B$5:$CS$32));RESIDUO(FILA()-
FILA($CU$5);COLUMNAS($B$5:$CS$32));1;1) [3]
```

Se puede encontrar la explicación de la ecuación [3] en el subapartado 4.5.1

Una vez que todas las lecturas de los máxímetros de los doce meses, se han organizado en una única columna en sus respectivas hojas, se ha procedido a pasarlos a la primera hoja del archivo Excel. El nombre de dicha hoja es *Potencia 01.02.2013 - 31.02.2014*.

En la Figura 4 se puede observar la disposición de los datos en la hoja a la que nos hemos referido anteriormente.

Fecha	Hora	Potencia (kW) Activ	Potencia (kVAr) R	Período
01/02/2013	0:00	44	0	6
01/02/2013	0:15	44	4	6
01/02/2013	0:30	44	4	6
01/02/2013	0:45	44	0	6
01/02/2013	1:00	40	8	6
01/02/2013	1:15	44	12	6
01/02/2013	1:30	44	8	6
01/02/2013	1:45	44	12	6
01/02/2013	2:00	44	8	6
01/02/2013	2:15	40	12	6
01/02/2013	2:30	44	8	6
01/02/2013	2:45	44	12	6
01/02/2013	3:00	44	8	6
01/02/2013	3:15	44	8	6
01/02/2013	3:30	40	12	6
01/02/2013	3:45	44	12	6
01/02/2013	4:00	44	8	6
01/02/2013	4:15	44	8	6
01/02/2013	4:30	44	12	6
01/02/2013	4:45	44	8	6
01/02/2013	5:00	88	16	6
01/02/2013	5:15	72	8	6
01/02/2013	5:30	68	8	6

Figura 4: Disposición de los datos en la hoja principal

De esta forma, la Figura 4 muestra la tabla principal que consta de 5 columnas:

- La primera de ellas es la fecha en la que se ha realizado la medida
- La segunda proporciona el cuarto-horario en el que ha sido tomado la lectura
- La tercera indica la potencia que se estaba demandando en ese cuarto-horario
- La cuarta detalla el posible consumo de energía reactiva (no se ha utilizado)
- La quinta informa del período en el que se encuentra la medida realizada

Una vez que los datos en forma de columna de cada mes se han trasladado a la tercera columna de la hoja principal, de tal forma que coincidan las fechas y las horas con las lecturas, se ha procedido a programar el apartado de penalizaciones.

Para ellos se ha creado las hojas *PERÍODO / NUM* como se ha detallado en la sección 4.3. Dependiendo del período, la penalización que sufrirá será diferente. Por lo tanto, resulta necesario aislar las potencias de cada período y compararlas con la potencia contratada del mismo para comprobar si se ha cometido algún exceso.

Con el objetivo de acelerar este trasvase de datos de una pestaña a otra, se ha procedido a instalar en la cabecera de la columna un filtro. De esta forma, al seleccionar un período concreto sólo aparecerán las lecturas referentes a dicho período.

En la Figura 5 se presenta una de las tablas que se pueden encontrar en cualquiera de las hojas *PERÍODO / NUM*. Esta Figura no pertenece a ningún caso real, ya que para facilitar su explicación se ha procedido a simular que la potencia contratada era baja para que figurase el exceso cometido.

Para este caso hipotético se ha supuesto un término de potencia de 200 kW acordados con la compañía suministradora.

Como se ha explicado en la sección 4.3, el término Pdj hace referencia al exceso de potencia demandada en cada instante respecto a la contratada.

2								
3	Fecha	Hora	Potencia (kW) Activa	Potencia (kVAr) Reactiva	Período	Pdj		
4	01/02/2013	10:00	288	0	1	88	7744	
5	01/02/2013	10:15	280	0	1	80	6400	
6	01/02/2013	10:30	276	0	1	76	5776	
7	01/02/2013	10:45	292	0	1	92	8464	
8	01/02/2013	11:00	296	0	1	96	9216	
9	01/02/2013	11:15	284	0	1	84	7056	
10	01/02/2013	11:30	280	0	1	80	6400	
11	01/02/2013	11:45	288	0	1	88	7744	
12	01/02/2013	12:00	248	0	1	48	2304	
13	01/02/2013	12:15	248	0	1	48	2304	
14	01/02/2013	12:30	252	0	1	52	2704	
15	01/02/2013	12:45	252	0	1	52	2704	
16	01/02/2013	18:00	76	16	1	0	0	
17	01/02/2013	18:15	76	20	1	0	0	
18	01/02/2013	18:30	76	16	1	0	0	
19	01/02/2013	18:45	76	16	1	0	0	
20	01/02/2013	19:00	76	20	1	0	0	
21	01/02/2013	19:15	76	16	1	0	0	
22	01/02/2013	19:30	80	24	1	0	0	

Figura 5: Tabla de excesos en el consumo de potencia

Si la potencia demandada en una lectura determinada es superior a la contratada, la diferencia entre ambas será la que aparezca en dicha celda.

Se puede comprobar que a las 10:00 del día 01/02/2013 la demanda era de 288 kW, mientras que el término de potencia era de 200 kW, por tanto el exceso cometido es de 88 kW como se refleja en la celda de la columna Pdj. Sin embargo, a las 18:00 del mismo día, la demanda era de 70 kW y el exceso cometido nulo.

La siguiente columna a la del Pdj, realiza el cuadrado del término Pdj. Finalmente, se procederá a sumar toda la columna que contiene los términos al cuadrado y se realizará la raíz cuadrada de dicha suma, obteniendo de esta manera el término A_{ei} al que se ha hecho referencia en la sección 4.3

Este mismo procedimiento se llevara a cabo con todos y cada uno de los 6 períodos para conseguir los excesos que se han cometido respecto a la potencia contratada.

En la Figura 6, se pueden apreciar los datos que introducirá el usuario y que desencadenarán el funcionamiento del programa para comprobar si la potencia instalada es acorde a la demanda del mismo o se debe modificar.

3		Potencias contratadas (kW)						
4	Periodo	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total
5	Potencia Contratada (kW)	400	400	400	400	400	451	
6	Coste Tp (€/kW.año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	
7	Coste Tp (€)	16.020,00	8.016,00	5864,00	5.864,00	5.864,00	3.017,19	44.645,19
8	Aei	209,27	235,05	0,00	349,56	0,00	0,00	
9	K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	
10	Coste por Exceso Potencia (€)	309,36	173,74	0,00	191,20	0,00	0,00	674,29
11								45.319,48

Figura 6: Datos a introducir por el usuario

Las celdas que aparecen en verde son las que debe manipular el usuario para conseguir optimizar la potencia contratada de la instalación.

Al modificar dichas celdas, otras se verán afectadas de la siguiente manera:

- La fila que recibe el nombre de **Coste Tp (€)** se verá afectada de manera directa, debido a que es el resultado de multiplicar la Potencia Contratada (kW) (que se ha modificado) y el Coste Tp (€/kW.año).

- El término de Aei también variará, ya que al cambiar la Potencia Contratada puede que haya medidas que sobrepasen o dejen de sobrepasar (en función de si subimos o bajamos la potencia contratada) la nueva Potencia Contratada, hay que recordar que este término refleja los excesos de potencia consumidos en cada período.
- La fila que recibe el nombre de **Coste por Exceso de Potencia (€)** se obtiene al multiplicar Aei por el factor "K" que le corresponda a cada período. Por tanto, a pesar de que "K" se mantenga constante, si Aei varía, también lo hará este término.

Finalmente, en la columna que recibe el nombre de Total se pueden observar tres números. El primero de ellos corresponde a la suma de todos los términos de potencia de los distintos períodos. El segundo hace referencia a la suma del coste de las distintas penalizaciones. Finalmente, el tercero engloba la suma de los dos anteriores, haciendo referencia al coste anual en lo que al término de potencia se refiere.

4.5.1 Explicación de la metodología para pasar de matriz a columna

En primer lugar se considera oportuno hacer unos comentarios sobre la función de Excel DESREF:

- Esta función es capaz de crear una referencia bien a una única celda bien a un rango de celdas.
- La sintaxis necesaria para cada caso será diferente y en esta memoria sólo se procederá a explicar la que se ha empleado.
- Los 5 argumentos de entrada necesarios para dicha función pueden comprobarse en la Figura 7.



Figura 7: Argumentos de entrada de la función DESREF

- El argumento de entrada "ancla" hace referencia a los datos que se desean manipular, siendo en esta ocasión toda la matriz de datos de las lecturas cuatro-horarias.
- El segundo argumento de entrada será la función TRUNCAR((FILA()-FILA(\$CU\$5))/COLUMNAS(\$B\$5:\$CS\$32)), gracias a esta función se consigue que cuando el programa llegue al último elemento de una fila, salte automáticamente a la siguiente.
- El tercer argumento de entrada será la función RESIDUO(FILA()-FILA(\$CU\$5);COLUMNAS(\$B\$5:\$CS\$32)), encargándose de copiar cada uno de los elementos de la matriz en la columna deseada.
- Al cuarto y quinto argumento de entrada se les ha asignado el valor unidad, que es necesario y viene por defecto con la función. Para otros usos de la función DESREF pueden albergar funciones, pero para este caso en concreto no ha sido necesario.

4.6 Cálculos necesarios para la representación de las gráficas

Dentro de cada uno de los documentos Excel con el nombre *POTENCIA / Referencia / análisis*, existe una hoja denominada *Grafico meses*. En esta hoja se ha representado la potencia horaria demandada mensual por cada uno de los edificios. La potencia horaria demandada de cada mes es una media de la potencia consumida en una hora determinada a lo largo de los días que comprenden dicho período temporal.

No obstante, y en aras de un mayor entendimiento, se procederá a explicar la metodología seguida para obtener estas curvas de carga.

En primer lugar, gracias a la compañía eléctrica, se dispone de una media de la energía consumida en cada hora del año. Esta lectura se obtiene haciendo una media de los períodos cuarto-horarios que comprenden cada hora.

En la Figura 8, se puede apreciar cuál es la disposición de los datos que se han proporcionado por la Administración, dichos datos pueden encontrarse en cada una de las pestañas en que aparecen las lecturas cuarto-horarias de los máxímetros.

64	Fecha/Hora	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
65	01/02/2013	44	43	43	43	44	74	75	167	281	284	284	287	250	243	214	158	94	77	76	75	62	52	50	51
66	02/02/2013	43	43	43	42	43	44	43	45	44	46	46	46	46	47	46	45	46	46	52	52	53	52	52	51
67	03/02/2013	45	44	45	44	44	44	44	45	44	45	46	45	47	46	46	47	46	46	52	53	105	96	94	88
68	04/02/2013	84	82	85	82	90	89	80	189	325	332	317	310	302	298	279	225	172	145	139	95	69	55	54	55
69	05/02/2013	45	47	46	47	46	77	74	171	277	309	298	303	282	260	237	185	141	159	137	99	77	67	63	64
70	06/02/2013	56	57	57	57	58	107	100	179	325	341	327	330	295	293	269	221	169	137	128	86	69	57	56	56
71	07/02/2013	50	49	50	50	50	100	104	209	323	367	347	340	300	301	269	218	172	143	136	93	71	57	56	57
72	08/02/2013	51	50	51	50	50	100	101	194	334	345	347	344	301	284	247	185	97	75	75	69	63	52	51	51
73	09/02/2013	44	43	46	44	44	44	44	56	60	57	58	56	57	47	48	47	46	46	53	54	53	54	53	52
74	10/02/2013	46	44	46	45	46	46	46	56	59	58	58	57	56	48	48	48	48	47	52	55	95	86	84	82
75	11/02/2013	85	88	89	90	112	115	110	212	342	353	354	350	303	294	276	233	190	161	153	101	68	52	50	51
76	12/02/2013	44	44	45	45	42	94	108	231	346	351	355	338	306	296	266	220	171	145	133	83	63	51	53	51
77	13/02/2013	46	46	46	46	45	97	109	205	317	344	355	350	284	285	265	214	170	139	135	128	110	67	51	50
78	14/02/2013	43	42	44	42	43	75	75	169	305	317	305	288	266	267	252	202	149	113	102	82	59	50	49	49
79	15/02/2013	42	43	43	41	43	75	73	164	255	277	290	288	250	244	225	162	81	58	63	66	56	48	48	48
80	16/02/2013	41	42	41	42	42	42	42	42	45	44	45	44	45	44	43	42	42	41	47	49	50	48	50	50
81	17/02/2013	43	42	43	43	43	44	43	44	45	45	43	45	44	44	43	43	44	43	47	51	51	50	49	50
82	18/02/2013	89	82	80	82	95	87	91	180	310	327	311	287	274	263	247	203	157	128	130	85	60	47	47	47
83	19/02/2013	39	40	40	39	40	87	98	181	286	313	312	280	262	253	228	185	131	107	102	72	59	47	46	46
84	20/02/2013	39	39	38	38	38	86	83	175	321	318	299	261	242	237	218	171	127	110	105	79	59	49	47	46
85	21/02/2013	39	40	39	40	40	86	84	187	287	304	308	270	246	235	222	201	146	115	117	76	58	48	46	46
86	22/02/2013	39	39	39	39	38	85	94	197	329	346	347	323	315	319	291	203	97	64	70	70	62	50	49	49
87	23/02/2013	44	44	43	45	44	45	45	56	60	60	58	60	61	49	49	46	45	45	48	52	51	50	50	51
88	24/02/2013	43	43	43	43	43	44	44	55	59	58	57	57	57	46	47	46	45	46	48	52	97	96	94	93
89	25/02/2013	87	88	86	90	118	121	123	236	383	420	425	428	388	384	350	295	192	179	167	111	66	55	54	54
90	26/02/2013	46	48	47	47	47	99	119	220	368	422	412	373	370	333	308	255	195	176	157	103	70	57	55	55
91	27/02/2013	48	48	48	49	48	100	118	231	404	433	415	362	336	318	300	253	182	145	150	106	71	56	55	55
92	28/02/2013	49	48	47	48	48	100	116	227	396	387	378	335	326	312	295	232	161	138	126	88	67	55	53	55

Figura 8: Potencia media demandada cada hora

Con los datos dispuestos en la forma en la que han sido proporcionados, se ha calculado una media por cada hora de la potencia que ha sido demandada en cada día del mes.

Un vez se han conseguido los datos de estas potencias en los diferentes meses del año de cada edificio, se han dispuesto en una tabla semejante a la que puede verse en la Figura 9.

	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00
feb-13	50,50	50,29	50,46	50,46	53,00	78,82	81,64
mar-13	47,42	47,87	48,77	49,74	50,84	82,55	84,48
abr-13	47,87	47,53	47,57	47,23	48,87	71,50	72,23
may-13	43,87	42,84	43,13	42,77	44,19	48,06	53,35
jun-13	40,87	40,67	40,63	40,73	41,03	42,80	45,77
jul-13	42,19	42,06	42,00	41,97	42,00	42,39	44,19
ago-13	42,26	42,32	42,03	42,00	41,94	42,13	44,35
sep-13	41,27	41,23	41,17	41,13	41,10	41,33	42,83
oct-13	41,00	40,74	40,77	40,61	40,61	40,55	40,81
nov-13	45,27	45,67	45,47	45,83	45,90	49,40	72,53
dic-13	52,58	53,06	54,06	57,00	61,42	74,06	99,61
ene-14	47,19	47,06	47,16	50,42	53,71	61,58	85,42

Figura 9: Medias horarias de las potencias en referencia al mes

El principal objetivo de haber dispuesto los datos tal y como se muestra en la Figura 9 es obtener una gráfica similar a la que se muestra en la Figura 10. Si bien es cierto que es

una media de la potencia demandada cada hora en cada mes, y que no se han calculado la varianza y dispersión de los mismos, esta gráfica nos permite obtener una idea aproximada de cómo es el consumo de cada edificio.

Por norma general esta gráfica sólo se ha representado para la potencia activa demandada por los edificios estudiados. No obstante, si se producía un consumo anómalo de potencia reactiva también se ha decidido graficarlo para comprobar si se podía llegar a incurrir en algún tipo de penalización.

El procedimiento que se ha seguido para graficar la potencia reactiva ha sido análogo al que se ha explicado para el de potencia activa.

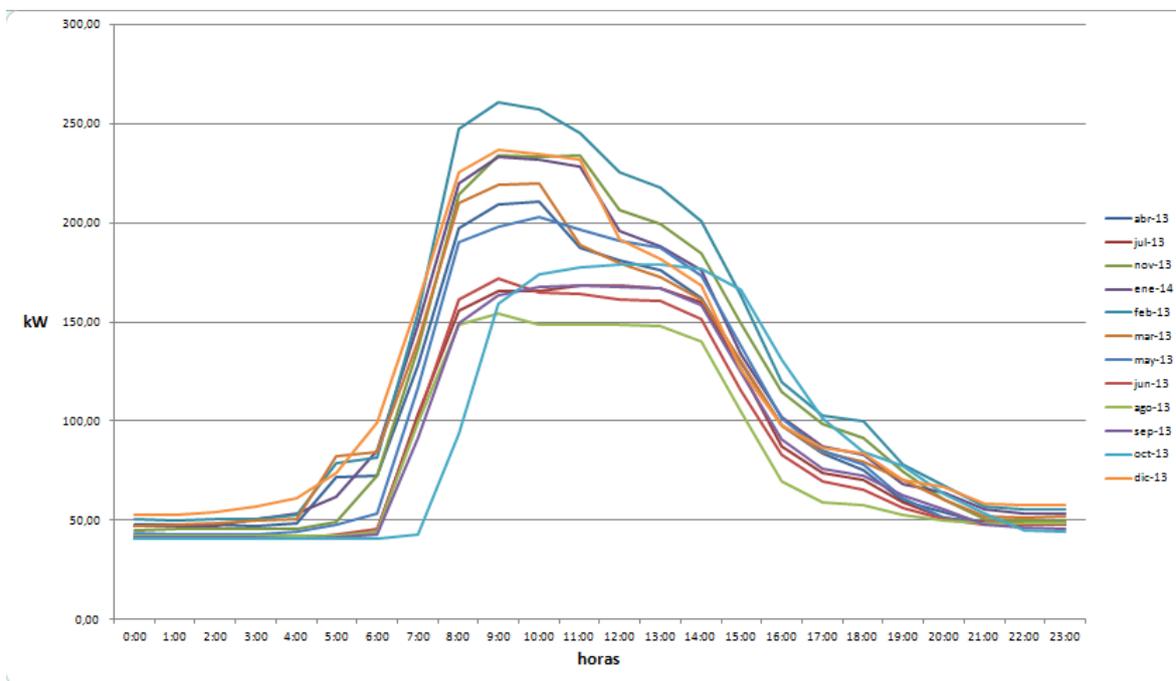


Figura 10: Curva de carga anual

Finalmente, si el consumo de potencia reactiva se ha considerado elevado, se ha calculado el $\cos\phi$, ya que si éste es menor que 0.95, se sufrirá una penalización. Para realizar este último cálculo se ha utilizado el triángulo de potencias, Figura 11.

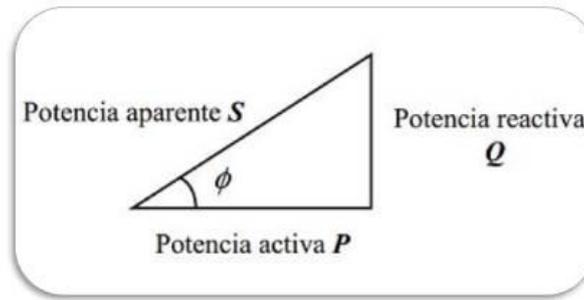


Figura 11: Triángulo de Potencias

Por otro lado, una vez obtenida la P media horaria mensual y la Q horaria mensual, se ha procedido a calcular el ángulo ϕ mediante la siguiente fórmula,

$$\phi = ATAN(Q/P) \quad [4]$$

Una vez que se ha calculado el ángulo ϕ , se calcula el coseno del mismo, si este es inferior a 0,95 se sufrirá un penalización, si es mayor o igual no habrá recargo alguno.

5. ANÁLISIS Y PROPUESTAS

El objetivo de la presente sección consiste en analizar de manera sistemática, cuál es la situación actual de cada edificio, ver qué resultado se ha obtenido con el programa que se ha explicado en la sección 4.5 y si es preciso ajustar el término de potencia contratada. También se analizarán las distintas curvas de carga para ver si otras medidas pueden ser adoptadas para hacerlo más eficiente.

5.1 Edificio I

5.1.1 Análisis del edificio

La situación actual del primer edificio que se ha analizado en el presente estudio se puede comprobar en la Tabla 5

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	950	950	950	950	950	950	0
Coste Tp (€/kW año)	40.05	20.04	14.66	14.66	14.66	6.69	0
Coste Tp (€)	38.047,5	19.038	13.927	13.927	13.927	6.355,5	105.220
Aei	0	0	0	0	0	0	0
K	1	0.5	0.37	0.37	0.37	0.17	0
Exceso Potencia (€)	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5: Tabla resumen de los datos obtenidos

A continuación se presenta la curva de carga del Edificio I, en el que se podrá observar cómo es la demanda del edificio en la actualidad. De esta manera, será más fácil saber qué períodos, meses, franjas horarias, etc.. son las que condicionarán nuestra propuesta de mejora.

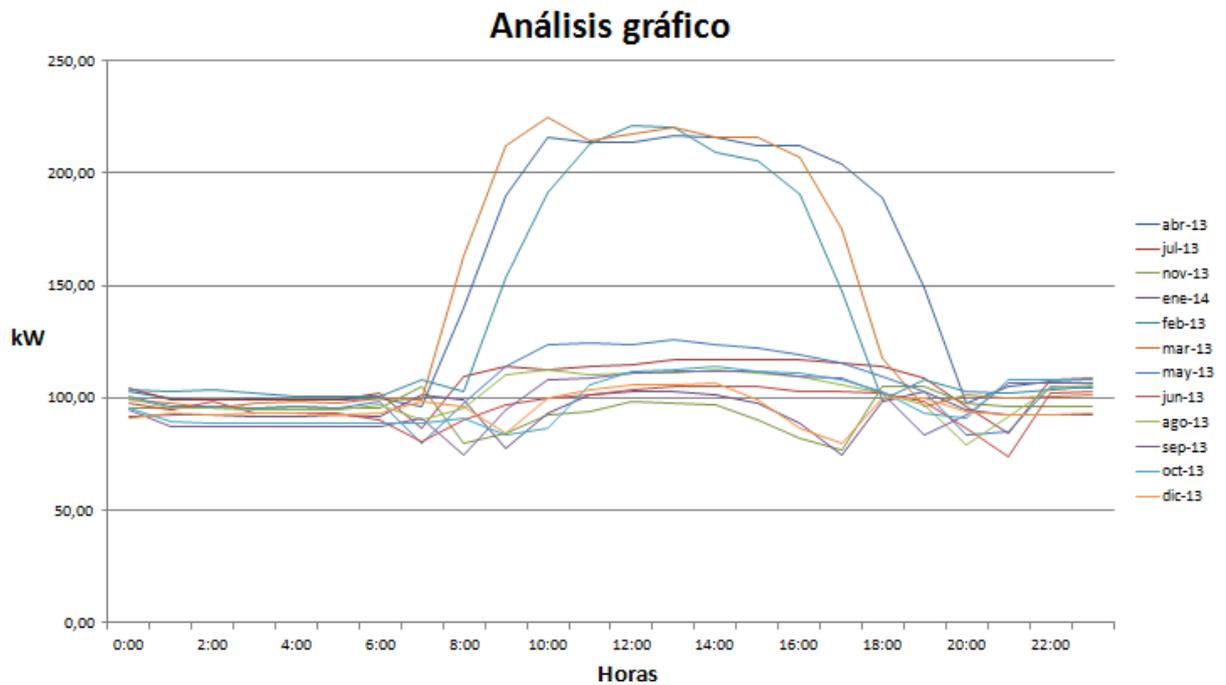


Figura 12: Análisis gráfico de la potencia, Edificio I

Fijándose en la Figura 12, se puede comprobar que la mayor demanda de potencia se produce entre las 7:00 y las 20:00 horas de los meses de febrero, marzo y abril. Aunque esto pueda sorprender, ya que por lo general los mayores consumos se producen en los meses estivales. Este comportamiento podría ser normal debido a las condiciones de funcionamiento del edificio.

Por otro lado, hay que percatarse de que los picos de potencia media demandada se sitúan en torno a 225 kW, cuando la potencia contratada es de 950 kW para todos los períodos. Se descarta que el edificio se haya puesto en marcha recientemente, ya que aunque sólo se haya estudiado el último ejercicio, hay facturas de ejercicios anteriores.

5.1.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro

La propuesta de mejora que se presenta para el Edificio I queda recogida en la Tabla 6, cumpliendo todas las condiciones referentes al tipo de factura actual, Tarifa 6.1, recogidas en las secciones 4.1 y 4.3

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	300	300	300	300	300	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40.05	20.04	14.66	14.66	14.66	6.69	0
Coste Tp (€)	12.015	6.012	4.398	4.398	4.398	3.017,2	34.238,2
Aei	162,67	206,41	0	36	0	0	0
K	1	0.5	0.37	0.37	0.37	0.17	0
Exceso Potencia (€)	240,49	152,57	0,00	19,69	0,00	0,00	412,75

Tabla 6: Propuesta de cambio de Término de Potencia para el Edificio I

Como se puede comprobar en la Tabla 6, la partida del término fijo de potencia pasaría de costar 105.220 € a 34.650,95 €, este último se ha obtenido de sumar las partidas del Coste del Tp más los Excesos de Potencia cometidos.

Aunque pueda parecer que el coste del exceso de potencia es elevado, en la actualidad es interesante fijarlo de esta manera, ya que el ahorro que se consigue es mayor que la penalización que se paga. Sin embargo, habrá que fijarse si dicha partida empieza a incrementarse demasiado, debido a la conexión de nuevas cargas, haciendo imprescindible volver a aumentar el término de potencia contratado.

El ahorro que se conseguiría con esta medida, cambio de potencia contratada, rondaría los 70.000 € anuales. Por otro lado, si se prefiere dejar un pequeño margen para cargas futuras, se podría solicitar el contrato de la Tabla 7, aunque el ahorro se vería disminuido en aproximadamente 5.000 €.

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	350	350	350	350	350	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	14.017,5	7.014,0	5.131,0	5.131,00	5.131,0	3.017,2	39.441,7
Aei	23,23	34,46	0	0	0	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	34,35	25,48	0,00	0,00	0,00	0,00	59,83

Tabla 7: Segunda propuesta de potencia a contratar

Finalmente, si la Administración lo considera oportuno y proporciona más datos sobre el edificio en cuestión, sería interesante analizar a qué es debido una demanda tan elevada de 100 kW como se puede observar en la Figura 12, así como los picos en los meses de primavera. Puede ocurrir que al obtener más datos, la curva se pudiese armonizar consiguiendo que el ahorro se incrementase.

5.2 Edificio II

5.2.1 Análisis del edificio

La situación actual del segundo edificio se presenta en la siguiente tabla,

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	200	200	300	300	300	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	8.010	4.008	4.398	4.398	4.398	3.017,2	28.229,2
Aei	0	0	0	0	0	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	0		0	0	0	0	0

Tabla 8: Situación actual de potencia contratada en el Edificio II

A continuación se muestra la curva de carga del Edificio II, dicha curva permitirá conocer en mayor profundidad cuales son los límites en los que se puede establecer la potencia contratada. Por otro lado, dará una visión de cuál es la manera de operar y si ésta puede ser modificada en aras de buscar una mayor eficiencia.

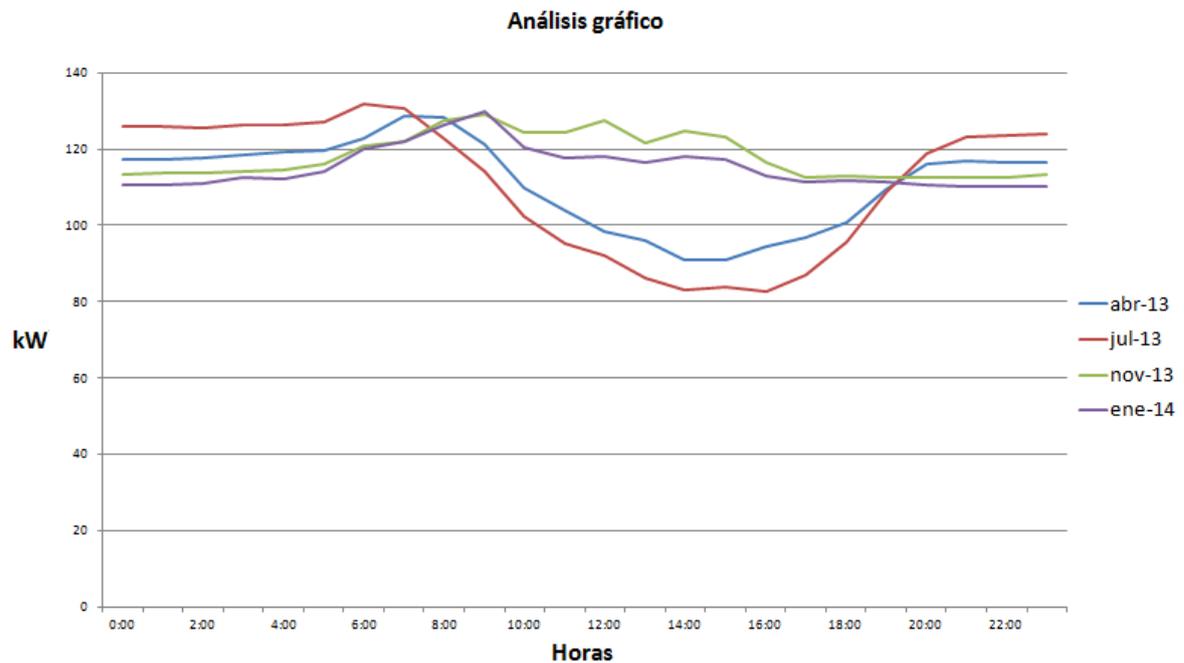


Figura 13: Análisis gráfico de la potencia, Edificio II

El Edificio II pretende ser un referente en cuanto a la implantación de energías renovables en la edificación, así como de eficiencia energética. Por todo esto, su curva de demanda de potencia se supone que estará adecuada a las necesidades de dicho edificio.

Cabe destacar que al contrario del resto de los edificios la demanda de potencia disminuye en los meses estivales, cuando por norma general este se suele ver incrementado. Esto es debido a los sistemas de energías renovables que se tienen implantados, cuyo máximo rendimiento son en los meses de verano entre las 8:00 y las 20:00.

Finalmente, para poder operar en las condiciones adecuadas, es necesario que se mantengan unas condiciones de temperatura y humedad en el interior del edificio. Este es el principal motivo por el que la demanda permanece constante y por tanto, parece complicado que se pueda ahorrar una cantidad elevada de dinero en dicho edificio.

5.2.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro

La propuesta de mejora que se plantea para el Edificio II queda recogida en la Tabla 9, cumpliendo todas las condiciones referentes al tipo de factura actual, Tarifa 6.1, recogidas en las secciones 4.1 y 4.3

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	140	140	140	140	140	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	5.607,0	2.805,6	2.052,4	2.052,4	2.052,4	3.017,2	17.587
Aei	116,20	99,67	131,14	226,48	159,14	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	171,79	73,68	71,73	123,88	87,05	0,00	528,13

Tabla 9: Propuesta de cambio de Término de Potencia para el Edificio II

En la Tabla 9 se puede comprobar cómo la partida del término fijo de potencia pasaría de costar 28.229,2 € a 18.155,13 €, este último se ha obtenido de sumar las partidas del Coste del Tp más los Excesos de Potencia cometidos. Mediante el cambio que se propone se conseguirían llegar a ahorrar 10.074,07 € anuales.

A diferencia del resto de los edificios, éste necesita unas condiciones concretas de funcionamiento que en principio no deberían de ser objeto de cambio, a no ser que el edificio se destinase a otro uso.

En este último caso sería necesario ver si es interesante volver a modificar el término de potencia contratada para ajustarlo a sus nuevas necesidades. Además el edificio lleva en funcionamiento 4 años, por lo que parece que su consumo de energía se ha regulado a sus necesidades, haciendo que la propuesta que se plantea sea adecuada para sus necesidades actuales.

Finalmente, decir que para este edificio hacer un estudio más exhaustivo no sería muy fructífero, ya que las condiciones de operación hacen que el consumo sea elevado y constante a lo largo de todo el día, haciendo imposible modificar la curva para conseguir un mayor ahorro.

5.3 Edificio III

5.3.1 Análisis del edificio

Los términos de la factura eléctrica actual del Edificio III se presentan en la Tabla 10,

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	150	150	150	150	150	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	6.007,50	3.006	2.199	2.199	2.199	3.017,2	18.627,7
Aei	48,16	0	0	0	0	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	71,20	0	0	0	0	0	71,20

Tabla 10: Situación actual de potencia contratada en el Edificio III

En la Figura 14 se muestra la curva de carga del Edificio III, dicha curva nos permitirá conocer en mayor profundidad el funcionamiento actual del edificio y hasta dónde se pueden modificar los distintos períodos para conseguir el mayor ahorro posible.

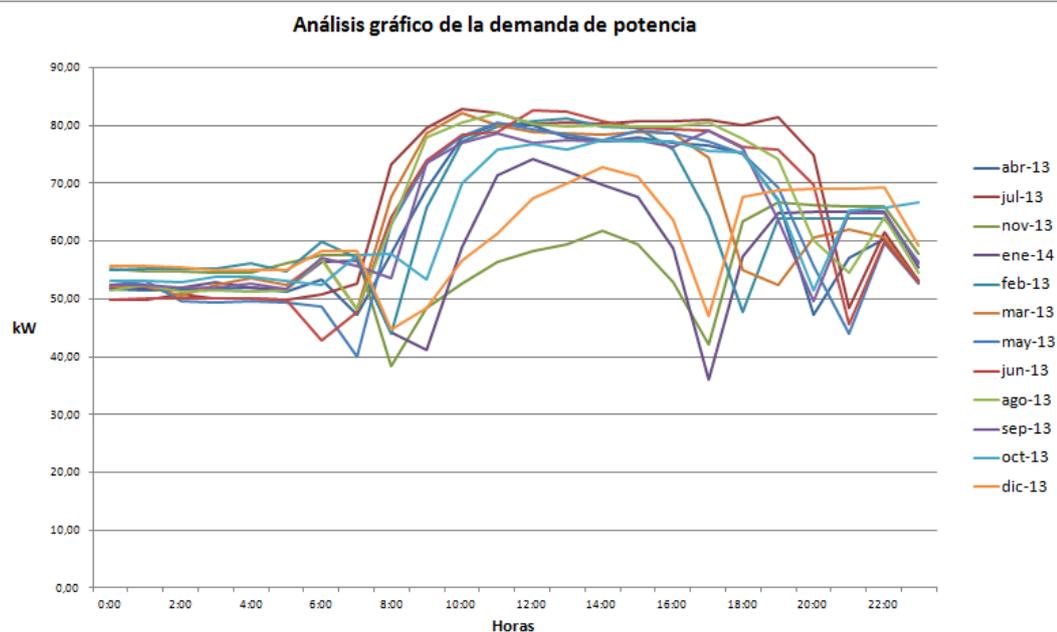


Figura 14: Análisis gráfico de la potencia, Edificio III

La Figura 14 es de gran interés debido a las anomalías que presenta el Edificio III en lo que a su demanda energética se refiere. A primera vista se puede comprobar cómo tanto en torno a las 7:00, como en el intervalo de tiempo comprendido entre las 18:00 y las 22:00, dependiendo del mes en el que nos encontremos, se producen unos valles muy pronunciados en el consumo de este edificio.

Por otro lado se comprueba que existen dos períodos de tiempo, diurno y nocturno, en los cuales el consumo permanece constante. Por norma general, el consumo nocturno es independiente del mes que sea estudiado, mientras que el diurno sí depende de la época del año que se esté analizando.

Por otro lado, se puede comprobar cómo salvo los meses de noviembre, diciembre y enero, el consumo energético presenta una curvas bastantes similares a lo largo del año.

5.3.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro

La propuesta de mejora que se plantea para el Edificio III se presenta en la Tabla 11, cumpliendo las condiciones referentes al tipo de factura actual, Tarifa 6.1, recogidas en las secciones 4.1 y 4.3

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	110	110	110	110	110	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	4.405,5	2.204,4	1.612,6	1.612,6	1.612,6	3.017,2	14.464,9
Aei	190,01	69,74	2,82	0	111,60	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	280,89	51,55	1,55	0	61,05	0	395,04

Tabla 11: Propuesta de cambio de Término de Potencia para el Edificio III

En la Tabla 11 se ha presentado la propuesta de cambio en la que el término fijo de potencia pasaría de 18.698,9 € a 14.859,94 €. El ahorro que supondría este cambio en el término de potencia ascendería a 3.838,96 €.

En este caso, si la Administración lo estima oportuno sería interesante disponer de más datos acerca de qué actividad desempeña el Edificio III y ver si los valles de consumo que se reflejan en la Figura 14 son normales o pueden ser modificados.

También llama la atención la elevada demanda nocturna con una demanda media de alrededor de 55 kW. Es de esperar que si se realiza un estudio más exhaustivo, con más datos y hablando con los encargados de mantenimiento del edificio, esta curva podría modificarse de tal forma que el consumo quedase más repartido. De esta manera, la curva cambiaría, el consumo disminuiría y por tanto el ahorro sería mayor.

5.4 Edificio IV

5.4.1 Análisis del edificio

La situación actual del cuarto edificio se presenta en la siguiente tabla,

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	150	150	150	150	150	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	6.007,5	3.006,0	2.199,0	2.199,0	2.199,0	3.017,2	18.627,7
Aei	50,48	44,05	2	0	0	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	74,62	32,56	1,09	0	0	0	108,27

Tabla 12: Situación actual de potencia contratada en el Edificio IV

En la Figura 15 se muestra la curva de demanda de potencia del Edificio IV, dicha curva nos permitirá conocer en mayor profundidad el funcionamiento actual del edificio y hasta dónde se pueden modificar los distintos períodos para conseguir el mayor ahorro posible.

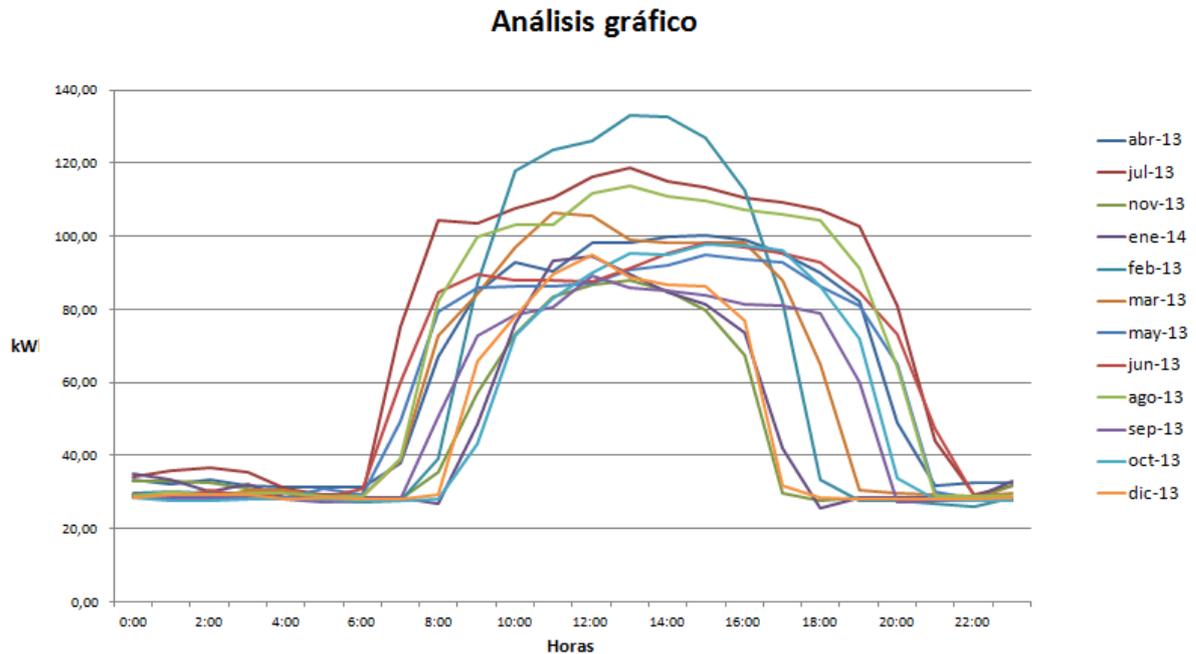
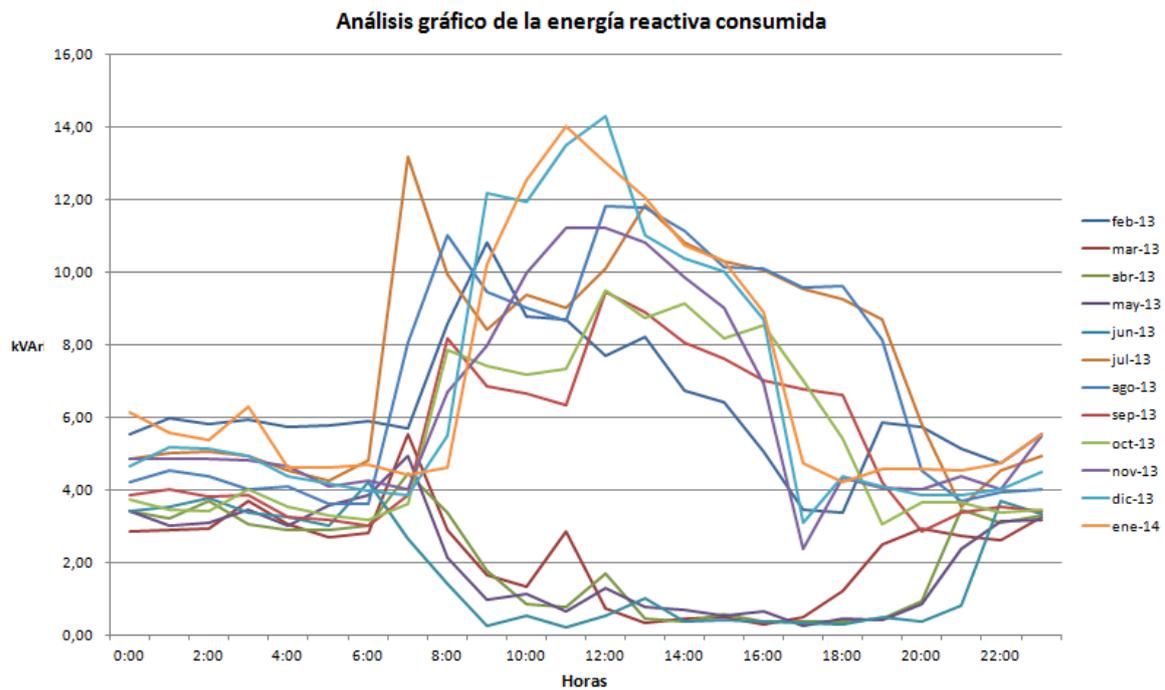


Figura 15: Análisis gráfico de la potencia, Edificio IV

A continuación en la Figura 16 se muestra el consumo de energía reactiva por parte del Edificio IV. Hasta el presente edificio no se había mostrado la siguiente curva, debido al hecho de que ninguno de los anteriores edificios presentaban este tipo de desequilibrio. No obstante, se ha considerado oportuno nombrarlo, ya que existe la posibilidad de solucionarlo sin un coste elevado y consiguiendo evitar penalizaciones relacionadas con este desequilibrio.



En primer lugar, se comprueba cómo en la actual situación de demanda de potencia por parte del edificio y con los datos que se dispone, reflejados en la Figura 15, queda de manifiesto que no se puede plantear ninguna mejora en lo que al término fijo de potencia se refiere.

El contrato actual establece una potencia de 150 kW para todos los períodos y con los requisitos actuales de la tarifa contratada, la 6.1, no se puede realizar ningún tipo de modificación, ya que esto supondría un elevado costo en lo que a la partida de Excesos de Potencia se refiere.

En definitiva, y con los datos que se han recibido por parte de la Administración, se concluye que este edificio tiene un término de potencia contratado acorde con sus necesidades.

Por otro lado, llama la atención, como se puede observar en la Figura 16, que el consumo de energía reactiva oscila entre los 0 y los 14 kVAr. No obstante, al realizar las operaciones que se han detallado en la sección 4.6 para el cálculo del $\cos\phi$, han establecido que éste siempre se mantiene superior a los 0,95 establecidos por la legislación vigente.

5.4.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro

Como se ha dicho en la anterior sección, resulta imposible ajustar mejor el término de potencia del Edificio IV con los datos que se disponen. Si bien es cierto que el consumo nocturno, al igual que en otros edificios, es elevado, no se sabe el motivo que lo provoca y por tanto tampoco se sabe si puede ser objeto de modificaciones para optimizarse y obtener un ahorro directo.

Lo que sí puede ser objeto de modificación es el consumo de energía reactiva que presenta el edificio. Aunque en la actualidad es inferior al necesario para sufrir algún tipo de penalización, sería interesante disponer de baterías de condensadores, ya sean bancos fijos o variables por el propio aparato que controlen esta variable dependiendo del consumo de energía en cada momento, y así evitar penalizaciones por parte de la compañía eléctrica.

5.5 Edificio V

5.5.1 Análisis del edificio

La siguiente tabla recoge la potencia contratada actual que tiene el Edificio V con la distribuidora eléctrica.

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	150	150	150	150	150	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	6.007,5	3.006,0	2.199,0	2.199,0	2.199,0	3.017,2	18.627,7
Aei	0	0	34	0	0	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	0	0	18,60	0	0	0	18,60

Tabla 13: Situación actual del Edificio V

La Figura 17 muestra la curva de demanda de potencia del Edificio V en el último año, esto nos permitirá hacernos una idea aproximada de ver sus consumos y márgenes de maniobra.

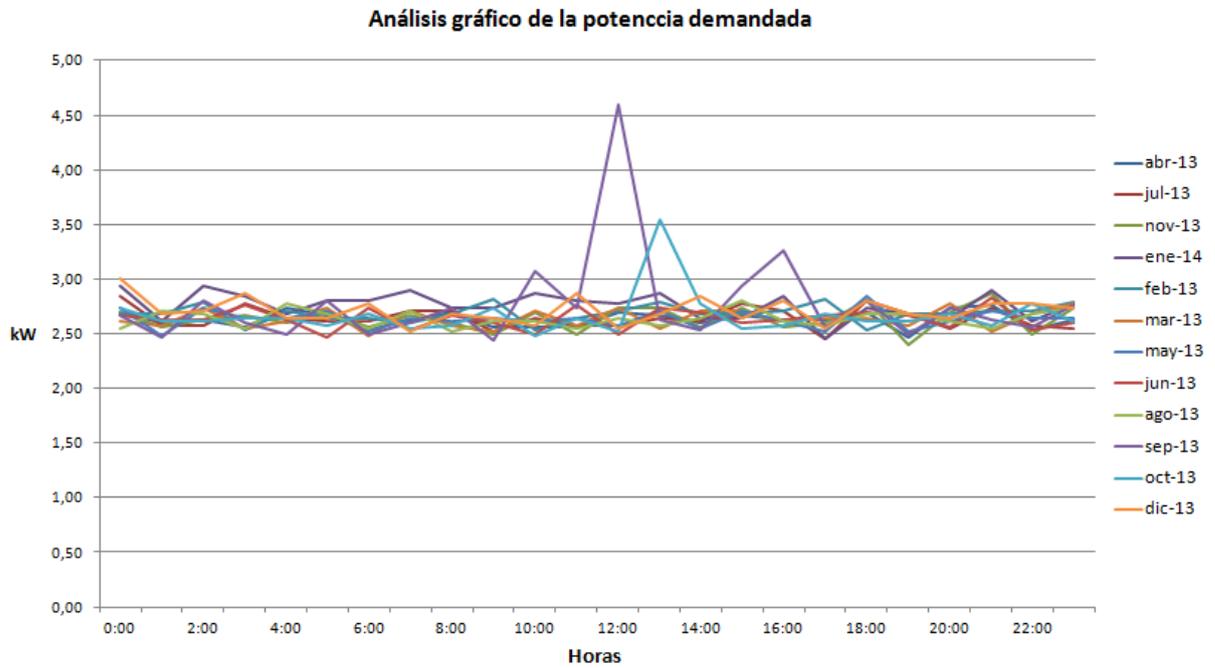


Figura 17: Potencia demanda por el Edificio V

Como se puede observar en la Figura 17, la demanda de potencia permanece constante a lo largo del tiempo, salvo en los meses de septiembre y octubre en los que aparecen unos picos significativos en el consumo. No obstante, la potencia consumida es claramente inferior a la contratada, siendo esta última de 150 kW para todos los períodos cuando el consumo real de media suele rondar los 3 kWh.

5.5.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro

En la Tabla 14 se recoge la propuesta para adecuar el contrato a los consumos reales del edificio. Si bien es cierto que el consumo es muy inferior a la potencia actual contratada, no se disponen datos del tipo de edificio, ni si en la actualidad está desempeñado algún tipo de función o ha cesado la misma recientemente.

A pesar de que tenemos un histórico anual de la potencia contratada, no se descarta que éste haya empezado su recorrido recientemente y que por lo tanto el ajuste que se vaya a proponer a continuación sea erróneo.

Se espera que la Administración proporcione más datos sobre dicho edificio, ya que en el caso de que éste sea su modo de funcionamiento normal, sería conveniente cambiar el tipo de contrato y bajarlo a Media Tensión en un contrato de tres tarifas de Punta, Llano y Valle.

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	20	20	20	20	20	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	801,0	400,8	293,2	293,2	293,2	3.017,2	5.098,59
Aei	0	0	168,85	60	60,92	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	0	0	92,36	32,82	33,32	0	158,50

Tabla 14: Propuesta de optimización del término de potencia

En la Tabla 14 se ha presentado la propuesta de cambio en la que el término fijo de potencia pasaría de 18.646,29 € a 5.257,09 €. El ahorro que supondría este cambio en el término de potencia ascendería a 13.389,2 €, siempre que la Administración confirmase que el edificio funciona a pleno rendimiento.

5.6 Edificio VI

5.6.1 Análisis del edificio

La Tabla 15 muestra de manera resumida cuáles son los términos del contrato de Edificio VI entre la Administración y la compañía distribuidora.

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	525	525	525	525	525	1170	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	21.026,3	10.521	7.696,5	7.696,5	7.696,5	7.827,3	62.464,1
Aei	96,91	118,41	189,66	111,36	204,33	0	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	143,27	87,52	103,74	60,91	111,76	0	507,20

Tabla 15: Situación actual del Edificio VI

La Figura 18 muestra cómo es la demanda de la potencia del Edificio VI a lo largo de un año.

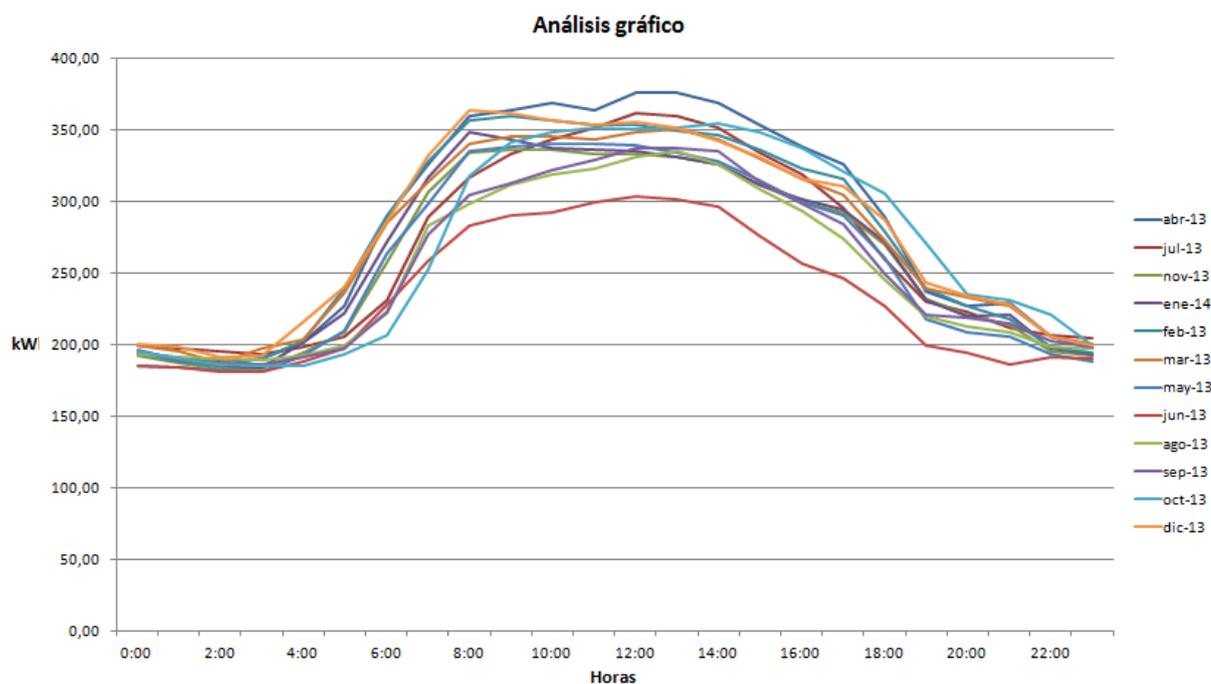


Figura 18: Potencia demandada por el Edificio VI

Se puede comprobar cómo la curva de la Figura 18 es prácticamente idéntica a lo largo de todo el año, sin variar apenas del período estival al invernal. El único mes que abandona esta tónica es el mes de junio, cuando se supone que en este mes se debería de ver incrementado al igual que en la mayoría del resto de edificios.

Por otro lado, a pesar de su alta demanda de potencia no presenta consumos de energía reactiva ni por tanto penalizaciones por un $\cos\phi$ inferior al requerido.

Vista la gráfica de la Figura 18 y los términos del contrato en la Tabla 15, únicamente se ha podido optimizar el período 6, ya que el resto de períodos prestaban unas potencias acordes con la demanda solicitada.

5.6.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro

En la Tabla 16 se puede comprobar cómo el período 6 ha sido el único que se ha podido optimizar.

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	525	525	525	525	525	600	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	21.026,3	10.521	7.696,5	7.696,5	7.696,5	4.014,0	58.650,8
Aei	96,91	118,41	189,66	111,36	204,33	45,61	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	143,27	87,52	103,74	60,91	111,76	11,46	518,66

Tabla 16: Propuesta para la optimización de la potencia contratada en el Edificio VI

En la Tabla 16 se recoge la propuesta de cambio en la que el término fijo de potencia pasaría de 62.971,25 € a 59.169,41€. El ahorro que supondría este cambio en el término de potencia ascendería a 3.801,84 €. En definitiva, se podría considerar que el edificio está cercano al óptimo aunque se pueda producir este ahorro.

Finalmente, conociendo el edificio del que se trata, sorprende el elevado consumo que presenta en las horas nocturnas. Sería interesante para futuros estudios energéticos que la Administración proporcionase mayor información acerca del funcionamiento que tiene este edificio en horas nocturnas, ya que lo más probable es que modificando esos patrones de consumo, se pueda aumentar la eficiencia de dicho edificio.

5.7 Edificio VII

5.7.1 Análisis del edificio

La Tabla 17 muestra de manera resumida cuál es el estado actual del Edificio VII, mostrando qué potencia se tiene contratada para cada período, así como los posibles excesos que se cometan en cada uno de ellos. Al igual que en el resto de edificios, se adjunta la curva de carga anual, Figura 19, para comprobar de forma rápida y eficiente el comportamiento del mismo.

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	400	400	400	400	400	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	16.020,0	8.016,0	5.864,0	5.864,0	5.864,0	3.017,2	44.645,2
Aei	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 17: Potencia actual contratada por el Edificio VII

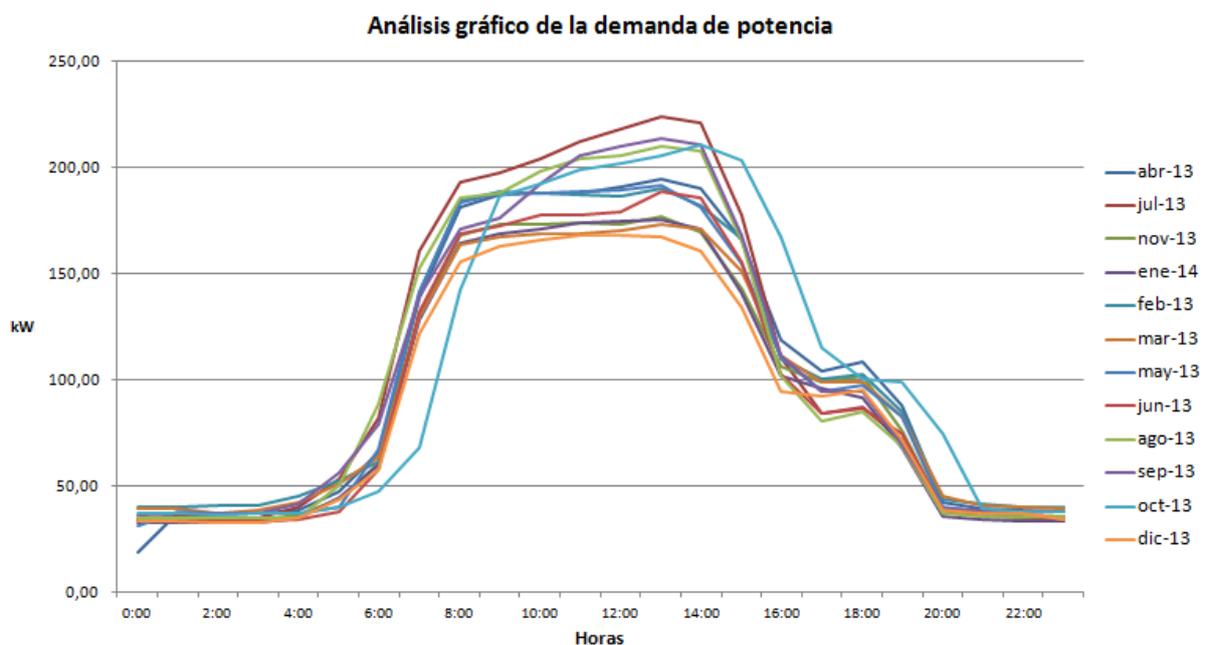


Figura 19: Curva de carga del Edificio VII

El Edificio VII presenta un consumo de energía reactiva bastante llamativo y en principio parece que no está relacionada con la potencia activa que se consume, dicha curva queda reflejada en la Figura 20.

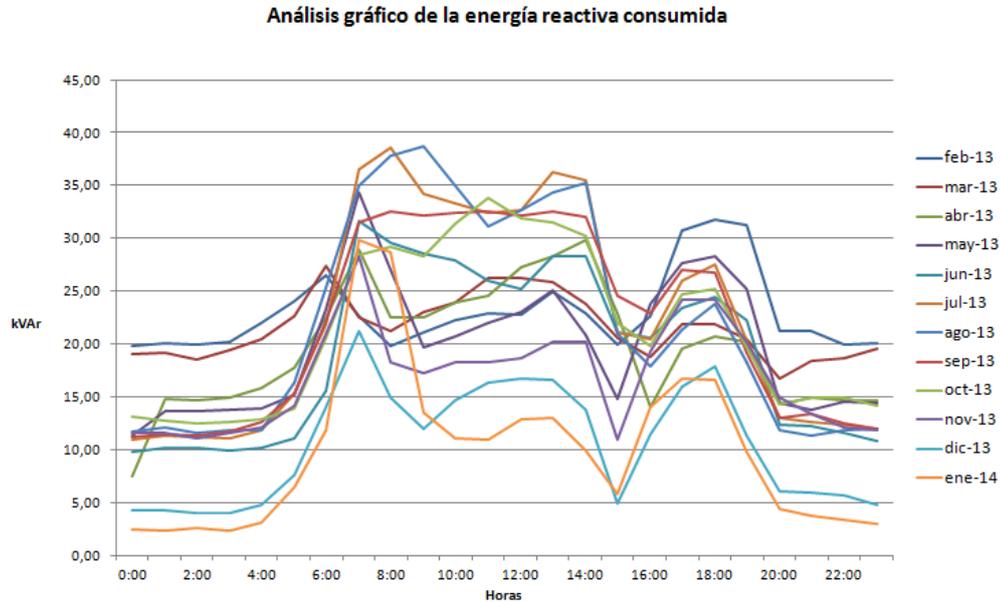


Figura 20: Energía reactiva consumida por el Edificio VII

A pesar de tener un consumo bastante elevado y dispar a lo largo del año, el Edificio VII no sufre ningún tipo de penalización, debido a que el $\cos\phi$ permanece superior a 0,95.

5.7.2 Propuesta de mejora, conclusiones y ahorro

La Tabla 18 recoge la nueva propuesta de potencia que debería ser contratada por la Administración en el Edificio VII,

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	310	310	310	310	310	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	12.415,5	6.212,4	4.544,6	4.544,6	4.544,6	3.017,2	35.278,9
Aei	147,77	54,00	50,48	56,00	17,09	0,00	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	218,45	39,91	27,61	30,63	9,35	0	325,95

Tabla 18: Propuesta de mejora en el Edificio VII

Como se puede comprobar en la Tabla 18, el costo del término de potencia en la factura eléctrica pasaría de 44.645,19 € a 35.604,84 €, consiguiéndose un ahorro de 9.040,5 €.

Sin embargo, esta no es la única medida de ahorro que se propone para el Edificio VII. Aunque puede que en la actualidad éste no sufra penalizaciones por los consumos de energía reactiva, al disminuir la potencia contratada puede que se sobrepase el límite de 0,95 en el $\cos\phi$ o que la legislación sufra alguna modificación, endureciéndose como ha ocurrido recientemente.

Por este motivo, se propone analizar cuáles son las cargas que necesitan o requieren un consumo de energía reactiva y compensarlo con baterías de condensadores, pudiendo ser tanto estáticas como variables.

Por último, conociendo el edificio del que se trata, llama la atención su elevado consumo nocturno, con lo que se puede asegurar que modificando los patrones de consumo la curva podría modificarse de tal manera que supondría un ahorro directo en el término de energía; quizá también podría suponer nuevas modificaciones en el término de potencia.

5.8 Edificio VIII

5.8.1 Análisis del edificio

La siguiente tabla presenta el contrato actual del Edificio VIII entre la Administración y la correspondiente compañía eléctrica, mientras que la Figura 21 recoge la demanda actual de la potencia por parte del edificio que se está analizando.

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	400	400	400	400	400	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	16.020,0	8.016,0	5.864,0	5.864,0	5.864,0	3.017,2	44.645,2
Aei	209,27	235,05	0,00	349,56	0,00	0,00	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	309,36	173,74	0	191,20	0	0	674,29

Tabla 19: Potencia actual contratada en el Edificio VIII

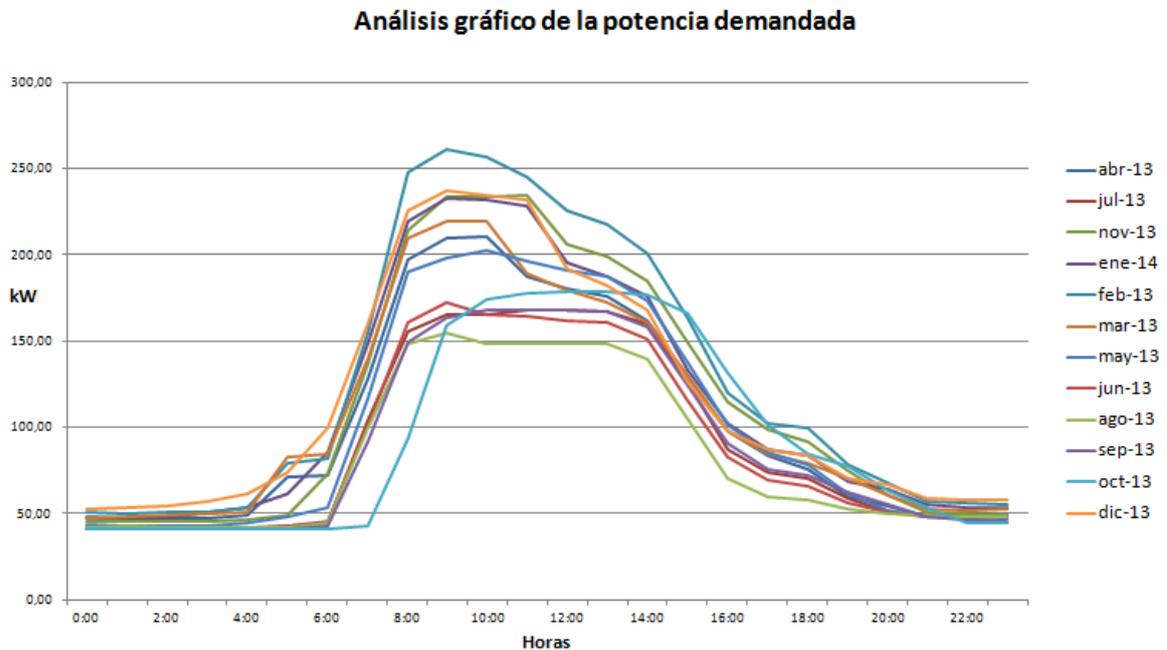


Figura 21: Demanda de Potencia actual por parte del Edificio VIII

La curva de carga que se puede observar en la Figura 21 corresponde a un edificio de grandes dimensiones, lo que justifica la alta potencia demandada a lo largo del año. Además se constata que la principal actividad del mismo se lleva a cabo entre las 8:00 y las 16:00 a largo de todo el año.

Para el presente edificio resulta imposible proponer alguna modificación de mejora en el término que es motivo de este estudio, ya que como se puede comprobar en la tabla de las penalizaciones, el costo de las mismas es bastante elevado y cualquier modificación supondría un incremento de la misma. En definitiva, puede considerarse que en las actuales condiciones de operación el edificio está bien optimizado.

No obstante, como en el resto de los anteriores edificios llama la atención la elevada cantidad de energía que se consume entre las 20:00 y las 8:00 de todos los días del año, cuando se supone que el edificio está fuera de uso.

5.9 Edificio IX

5.9.1 Análisis del edificio

En primer lugar, la Tabla 20 muestra la situación actual del Edificio IX en referencia a la potencia contratada con la compañía suministradora. De igual forma que en el resto de los edificios se adjunta la curva de carga del edificio, Figura 22, para conseguir una mejor optimización del mismo.

Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total (€)
Potencia (kW)	250	250	250	250	250	451	0
Coste Tp (€/kW año)	40,05	20,04	14,66	14,66	14,66	6,69	0
Coste Tp (€)	10.012,5	5.010,0	3.665,0	3.665,0	3.665,0	3.017,2	29.034,7
Aei	347,56	748,80	98,33	72,42	134,10	0,00	0
K	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17	0
Exceso Potencia (€)	513,80	553,48	53,78	39,61	73,35	0,00	1.234,03

Tabla 20: Términos del contrato con la compañía suministradora en el Edificio IX

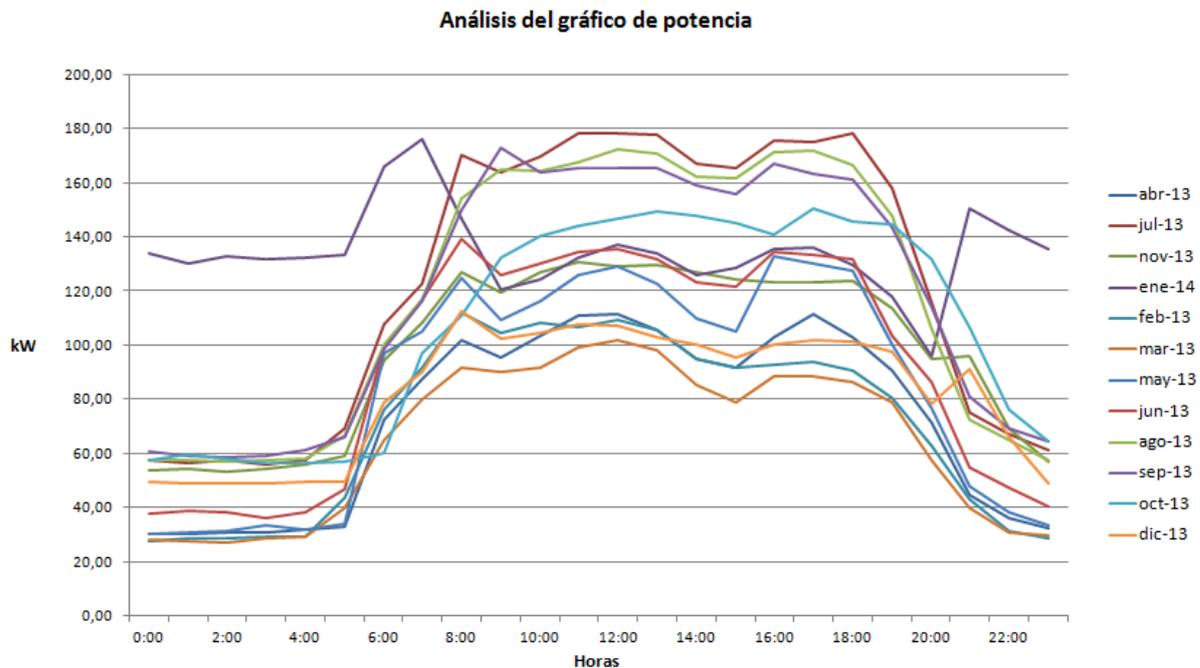


Figura 22: Demanda de Potencia por parte del Edificio IX

Como se puede comprobar en la Figura 22, el mes de enero presenta unos consumos disparados en relación al resto de los meses, provocando incluso penalizaciones en referencia al $\cos\phi$.

A pesar de haber realizado estudios obviando dicho mes, no es posible disminuir el término de potencia contratado por el edificio, ya que en la actualidad los costes por penalizaciones son de 1.234 €. Por tanto, se asume que la potencia actual es correcta y el edificio está optimizado.

Sin embargo, las dos acciones que se recomiendan es comprar bancos de condensadores estáticos o variables que mejoren el $\cos\phi$ actual, ya que este provoca una penalización en la factura eléctrica.

Por último, al igual que en otros edificios se considera alarmante el consumo de energía en las horas nocturnas en el que el edificio se presupone fuera de operación. Se recomienda estudiar de manera exhaustiva ese intervalo horario, debido a que se presupone que modificando los consumos se puede mejorar la eficiencia del edificio.

6. CONCLUSIONES

En esta última sección se pretende presentar de manera resumida cuáles son las conclusiones principales que se han obtenido una vez realizado y presentado todo el estudio.

En primer lugar, hay que decir que la presente memoria sólo ha estudiado aquellos edificios cuyos contratos tengan una tensión contratada superior a los 13000 V.

A continuación, en la Tabla 21 se presenta el ahorro desglosado que se obtendría en cada uno de los edificios, así como el monto total del mismo si sólo se llevara a cabo la modificación del término de potencia al que este estudio está principalmente orientado.

Referencia	Coste Potencia Actual (€)	Exceso de Potencia Actual (€)	Coste Potencia Propuesto (€)	Exceso de Potencia Propuesto (€)	Ahorro (€)
Edificio I	105.222,00	0,00	34.238,19	412,75	70.571,16
Edificio II	28.229,19	0,00	18.627,69	207,11	9.394,39
Edificio III	18.627,69	71,20	14.464,89	395,04	3.838,96
Edificio IV	18.627,69	108,27	0,00	0,00	0,00
Edificio V	18.627,69	18,60	5.098,59	158,50	13.389,20
Edificio VI	62.464,05	507,20	58.650,75	518,66	3.801,84
Edificio VII	44.645,19	0,00	35.278,89	325,95	9.040,35
Edificio VIII	44.645,19	674,29	0,00	0,00	0,00
Edificio IX	29.034,69	1.234,03	0,00	0,00	0,00

Tabla 21: Ahorro global de los Edificios analizados

El ahorro que puede suponer este proyecto, de llevarse a cabo, sería como mínimo de alrededor de 110.000 €.

Por otro lado, en el Gráfico 1 se presenta de una manera visual el porcentaje de edificios que ya estaban optimizados, de los que no lo estaban.



Gráfico 1: Ahorro de los edificios

Otra de las medidas a tener en cuenta en muchos de los edificios analizados es la instalación de baterías de condensadores ya sean estáticas o variables que mantengan el $\cos\phi$ cercano a 1, evitando así sufrir algún tipo de penalización que incremente el valor de la factura.

La última medida o el siguiente paso a llevar a cabo en todos los edificios, sería conocer detalladamente cuáles son los consumos que se producen en cada uno de los edificios. Conociendo estos patrones de consumo, se podría modificar la curva de carga actual y, por tanto, sería posible volver a disminuir la potencia contratada.

Finalmente, si la Administración proporcionase más datos, un estudio más exhaustivo podría proporcionar medidas que supusieran un ahorro en el horario nocturno de la mayoría de los edificios, ya que como se ha ido comentando en la sección 5 llama la atención el elevado consumo en esta franja horaria.