



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

# Monitorización y análisis de la facturación y calidad del suministro eléctrico de una industria de bienes de consumo en Cataluña

Autor: Federico Nicolás Valdebenito Sosa

Tutor: Mariana Jiménez

Curs acadèmic: 2021-2022

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:



# INDICE

1.	INTRODUCCION .....	6
1.1	Motivación .....	6
1.2	Objetivos .....	8
2.	SUMINISTRO ELÉCTRICO INDUSTRIAL .....	8
2.1	Facturación.....	8
2.1.1	Peajes, cargos y periodos horarios.....	9
2.1.2	Facturación por energía consumida.....	11
2.1.3	Facturación por potencia contratada.....	12
2.2	Penalizaciones .....	12
2.2.1	Facturación por exceso de la potencia demandada .....	12
2.2.2	Facturación por energía reactiva .....	14
2.2.3	Facturación por energía capacitiva .....	14
2.3	Calidad del suministro.....	15
3.	CASO DE ESTUDIO .....	16
4.	METODOLOGÍA.....	17
4.1	Obtención de datos.....	17
4.2	Comparación y cálculo de error de los equipos .....	17
4.3	Optimización de la potencia contratada .....	18
4.4	Penalización por energía reactiva inductiva .....	20
4.5	Penalización por energía reactiva capacitiva .....	20
4.6	Análisis de Calidad del suministro.....	21
5.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	21
5.1	Comparación y cálculo de error de los equipos .....	21
5.2	Optimización de la potencia contratada .....	24
5.3	Penalización por energía reactiva .....	25
5.4	Penalización por energía capacitiva .....	26
5.5	Análisis de Calidad del suministro.....	29
6.	CONCLUSIONES .....	32
	BILIOGRAFIA.....	34
	ANEXO I. Hoja de datos .....	37
	ANEXO II. Penalización por energía reactiva capacitiva:.....	45

## Índice de Figuras

Figura 1. Consumo energético por sector .....	6
Figura 2. Variación anual del precio de la energía .....	7
Figura 3. Periodos tarifarios aplicables a usuarios con potencia contratada mayor a 15 kW .....	11
Figura 4. Consumo energético mensual.....	16
Figura 5. Consumo de energía activa por periodo horario .....	16
Figura 6. Comparativa energía activa: Contador fiscal Vs. CVM1500.....	23
Figura 7. Penalizaciones por energía capacitiva Enero .....	28
Figura 8. Número de interrupciones por mes.....	30
Figura 9. Número de interrupciones discriminadas por hora de ocurrencia.....	31
Figura 10. Curva de consumo del mes de marzo con valores promedio por hora .....	31

## Índice de tablas

Tabla 1. Término de potencia del peaje de transporte y distribución .....	9
Tabla 2. Término de energía del peaje de transporte y distribución.....	10
Tabla 3. Precios del exceso de potencia en €/kW y Coeficiente Kp.....	13
Tabla 4. Precios de los términos de energía reactiva inductiva .....	14
Tabla 5. Precios de los términos de energía reactiva capacitiva.....	14
Tabla 6. Características de tensión y frecuencia según Norma UNE-EN-50160 .....	15
Tabla 7. Indicadores estadísticos .....	21
Tabla 8. Resultados de la optimización con P1 a P6 variables .....	24
Tabla 9. Resultados de la optimización con P1 a P5 variables y P6 fijo .....	25
Tabla 10. Calculo de excesos de energía reactiva capacitiva para cada mes.....	26
Tabla 11. Costo de penalización por energía capacitiva por mes .....	27
Tabla 12. Valores de tensión y frecuencia que exceden lo establecido en la norma .....	29
Tabla 13. Tabla resumen de datos relativos a interrupciones .....	30

## ABSTRACT

The rising of energy prices as well as the new rates structure of the Spanish electricity market have increased the impact of these costs on industries. To remain competitive, companies must pay special attention to their consumption and ensure that the contracted conditions are adequate to their needs, avoiding unnecessary costs and ensuring an optimal quality of service.

This paper addresses such issues by analyzing the case of an industrial consumer (tariff 6.1) in the region of Argenton, Catalonia to evaluate the following aspects: that the active energy billing of the company is made according to correct measurements, that the contracted power is optimal to its needs and that there is an adequate control of reactive energy (inductive and capacitive) to avoid penalties in the bill. The latter is done by considering the current tariff structure and normative applicable to industrial consumers in Spain. Finally, a brief analysis is made regarding the quality of the electricity supply.

The installation of equipment that monitors electrical variables and generates information is of great importance as a first step towards reducing energy costs. In addition, the possibility of observing energy consumption discriminated by periods makes it possible to plan when it is convenient to make certain consumptions. For the analysis done on this case study, power consumption data from a smart meter is obtained covering the period from 1/1/2022 to 04/30/2022.

To validate the active energy billing, statistical metrics used to compare time series, typical in *forecasting* applications, are used in this case to contrast the fiscal meter hour electricity consumption measurements to that of an additional meter installed by the company, thus, validating the fiscal meter measures. Then, a contracted power optimization tool is used to find the most suitable contracted power value for each period, and modifications to the contracted power are suggested, which provide the possibility of annual savings.

Regarding inductive reactive energy, it is observed that the company has no penalties for this concept at any time during the evaluated period, given the applicable rules for this concept. Although no information is available to corroborate it, the trends in the company's reactive energy consumption permits to assume that the installation has some type of battery bank to compensate and reduce the inductive reactive energy consumed. What is more, there are repeated excesses of capacitive reactive energy in periods of low consumption, which exceed the limit established in the regulations. At this point, the penalizations associated to this issue has a zero cost, but is probable to increment in the future for which improvement actions are proposed.

In terms of quality of the power supply, the need for this evaluation to be carried out in real time is evident. It is suggested to implement alarms that detect in real time when the values established by the standard are exceeded. When analyzing the events related to voltage reduction, the interruptions that occurred in the period of analysis are presented discriminated by month and time of occurrence. It is suggested to keep recording the interruptions during 2022 and at the end of the year applying the methodology again.

## RESUMEN

Los aumentos de los precios de la energía sumado a las nuevas estructuras tarifarias del sistema eléctrico español han incrementado el impacto de estos costes en las industrias. Para seguir siendo competitivas, las empresas deben prestar especial atención a sus consumos y garantizarse de que las condiciones contratadas se adecuan a sus necesidades, evitando costes innecesarios y asegurando una óptima calidad de servicio.

Este trabajo aborda dichas cuestiones analizando el caso de un consumidor industrial (tarifa 6.1) en la región de Argenton, Cataluña, para evaluar los siguientes aspectos: que la facturación de energía activa de la empresa se realice de acuerdo a mediciones correctas, que la potencia contratada sea óptima a sus necesidades y que exista un adecuado control de la energía reactiva (inductiva y capacitiva) para evitar penalizaciones en la factura. Esto último se hace considerando la estructura tarifaria actual y la normativa aplicable a los consumidores industriales en España. Por último, se realiza un breve análisis sobre la calidad del suministro eléctrico.

La instalación de equipos que puedan monitorizar las variables eléctricas y generar información resulta de gran importancia como primer paso hacia una reducción de los costes energéticos. Además, la posibilidad de observar el consumo de energía discriminada por periodos permite planificar en que momentos es conveniente realizar ciertos consumos. Para el análisis realizado en este caso de estudio, se obtienen los datos de consumo de energía de un contador inteligente que cubre el periodo de 1/1/2022 a 30/4/2022.

Para validar la facturación de energía activa, se utilizan métricas estadísticas de comparación de series temporales, típicas en aplicaciones de *forecasting*, para contrastar en este caso las medidas de consumo eléctrico de los contadores fiscales con las de un contador adicional instalado por la empresa, validando así las medidas del contador fiscal. A continuación, se utiliza una herramienta de optimización de la potencia contratada para encontrar el valor de potencia contratada más adecuado para cada periodo, y se sugieren modificaciones de la potencia contratada que proporcionan la posibilidad de ahorro anual.

En cuanto a la energía reactiva inductiva, se observa que la empresa no tiene penalizaciones por este concepto en ningún momento del periodo evaluado, dada la normativa aplicable para este concepto. Aunque no se dispone de información que lo corrobore, la evolución del consumo de energía reactiva de la empresa permite suponer que la instalación dispone de algún tipo de banco de baterías para compensar y reducir la energía reactiva inductiva consumida. Además, se observan repetidos excesos de energía reactiva capacitiva en periodos de bajo consumo, que superan el límite establecido en la normativa. En este momento, las penalizaciones asociadas a esta cuestión tienen un coste cero, pero es probable que se incrementen en el futuro para lo que se proponen acciones de mejora.

En cuanto a la calidad del suministro eléctrico, se hace evidente la necesidad de que esta evaluación sea realizada en tiempo real. Se sugiere la de implementación alarmas que permitan detectar en tiempo real cuando se excedan los valores establecidos por la norma. Al analizar los eventos relacionados a reducción de tensión, se presentan las interrupciones ocurridas en el periodo de análisis discriminadas por mes y horario de ocurrencia. Se sugiere continuar registrando las interrupciones durante el 2022 y al final del año aplicar nuevamente la metodología.

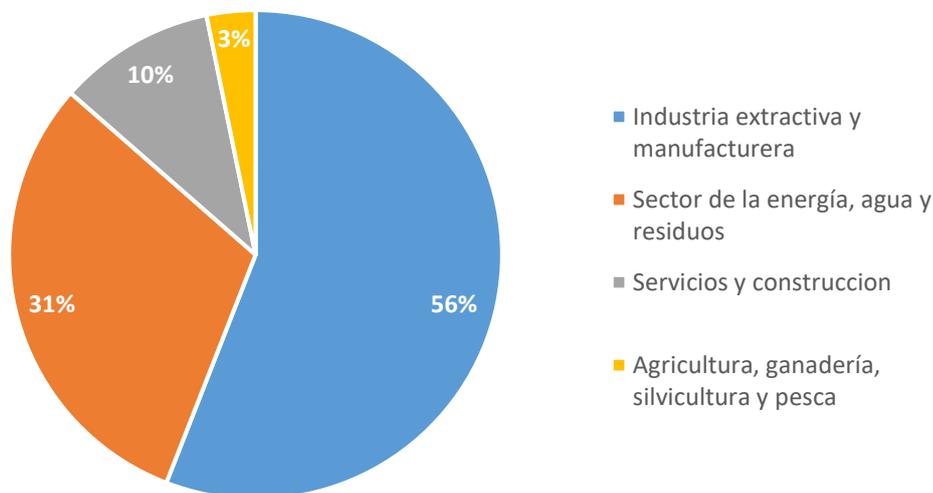
# 1. INTRODUCCION

## 1.1 Motivación

La energía es fundamental para el desarrollo humano. En la actualidad, constituye una de las prioridades de la agenda científica, política, económica y social, ya que sus repercusiones afectan a todo el planeta. En los países desarrollados, los desafíos del sector están relacionados a la calidad, coste e impacto ambiental de esta energía. En los países en desarrollo, los desafíos están relacionados a garantizar el acceso a una energía asequible, segura y moderna para millones de personas que carecen de esta (Energía y sociedad, 2022).

A la importancia de la energía como condición indispensable de gran parte de la actividad productiva y del transporte, se suma la preocupación por el cambio climático, y en particular sobre las emisiones de gases de efecto invernadero que estas producen. Es por esto que los países, en relación a la energía, aspiran al acceso a una energía moderna y económica; disponible, de calidad y fiable; sostenible y no contaminante. (Bachiller, 2009)

En particular la industria manufacturera, foco del presente trabajo, es una de las que mayor consumo energético representan en el sector industrial español. El Instituto Nacional de Estadística (INE) realiza la encuesta de *flujos físicos de la energía* donde se proporciona información sobre el consumo de energía (derivados del petróleo, biocombustibles, electricidad y calor), desagregado por ramas de actividad de la economía. La situación es la siguiente:

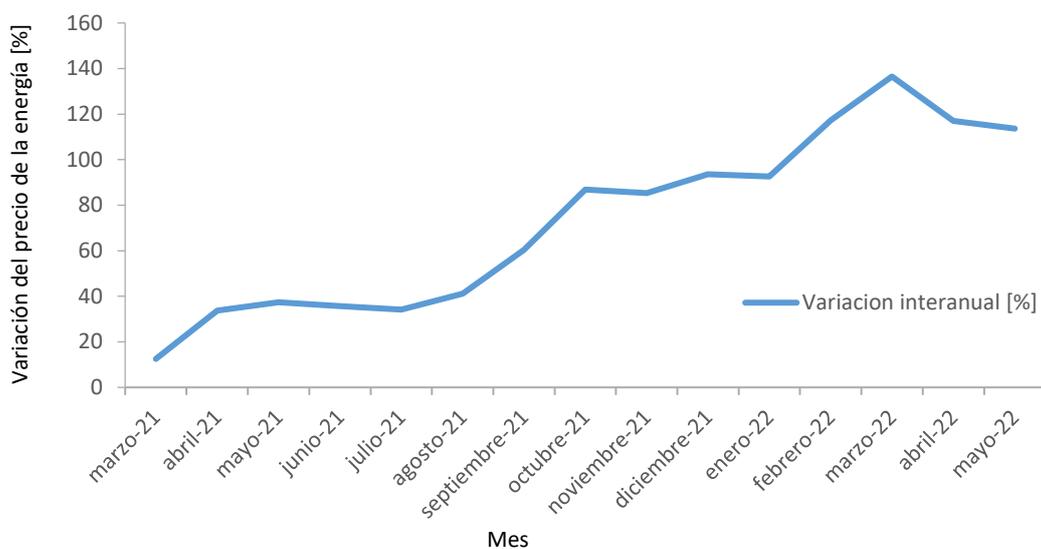


**Figura 1. Consumo energético por sector (Fuente: Elaboración propia en base a datos del INE, 2019)**

Como se observa, la industria extractiva y manufacturera destaca por ser el principal consumidor de energía, sumando 56% de la energía total, muy por delante de las industrias de suministro de energía que representan un 31%, y de la de los Servicios y construcción con un 10% (INE, 2019). Esto ayuda a visualizar que el consumo energético de la industria manufacturera es muy elevado y, por lo tanto, los precios de la energía son claves para su desarrollo.

El aumento de los precios de la energía a lo largo de 2021 y el primer semestre de 2022 como consecuencia de un intenso aumento de la demanda global de energía (debido a la reactivación económica post COVID) y cierta debilidad de la oferta (debido a problemas geopolíticos y a la guerra en Ucrania) han provocado una crisis energética a nivel mundial. El aumento de los precios energéticos incrementa el impacto, ya elevado, de la factura energética sobre la industria española (Ondina & de Aldecoa Fuster, 2022).

Si se tiene en cuenta los datos publicados en el Índice de Precios Industriales (IPRI) por el Instituto Nacional de Estadísticas, se observa que la variación interanual de precios de la energía ha sido la siguiente:



**Figura 2. Variación anual del precio de la energía (Fuente: Elaboración propia en base a datos del INE, 2022)**

En la Figura 2 se muestra que para el mes de mayo de 2022 la variación anual representa un 113,6%. A su vez, la tasa anual del Índice de Precios Industriales (IPRI) general en el mes de mayo es del 43,6%. (Instituto Nacional de Estadística, 2022). Por lo que resulta importante ahora más que nunca, que las empresas implementen estrategias para optimizar sus costes energéticos al máximo.

El gasto en electricidad viene a representar, en promedio, cerca de las dos terceras partes de todos los gastos en productos energéticos que tienen las empresas españolas, lo que constata la relevancia de la electricidad como factor productivo. Este hecho, probablemente se agudizará en el futuro, a medida que aumente la electrificación del modelo productivo como respuesta al cambio climático (Llanos Matea Rosa et al., 2021).

Para hacer frente a esta problemática existen principalmente dos estrategias interrelacionadas de reducción de costes relativas al gasto de electricidad:

- a) optimizar los parámetros del servicio eléctrico;
- b) implementar medidas de eficiencia energética.

Como se describe a continuación, este trabajo se enfoca en la primera opción, teniendo en cuenta que este representa el primer paso hacia la implementación de medidas de eficiencia energética. Según (Buera, 2012) cualquier punto de suministro es susceptible de padecer deficiencias en la contratación del servicio eléctrico, ya que es habitual que se encuentren potencias contratadas que presentan grandes desviaciones respecto a la potencia óptima o suministros que sufren penalizaciones sistemáticas por consumo de energía reactiva.

Cabe destacar, que el 1 de junio de 2021, entro en vigor en España una nueva estructura de tarifas eléctricas (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2021c). Un estudio comparativo realizado por el Grupo ASE (Grupo ASE, 2021) muestra que la modificación regulatoria implica para la industria un crecimiento del promedio del coste de un 16% e impacta más en los consumidores con tarifas de seis periodos. Todo esto hace aún más relevante que las empresas aseguren que cuentan con los parámetros óptimos dentro de su contrato de servicio.

## 1.2 Objetivos

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar el estado del suministro eléctrico dentro de una empresa de bienes de consumo ubicada en la zona industrial de Argentona, Cataluña, España; monitorizando los consumos y corroborando que las condiciones contratadas son adecuadas a las necesidades de la empresa, evitando costes innecesarios y asegurando una óptima calidad del servicio. Para esto, se proponen los siguientes pasos:

- a) corroborar que la facturación de energía activa es realizada conforme a mediciones correctas.
- b) que la potencia contratada es óptima a las necesidades de la empresa.
- c) que existe un control adecuado de la energía reactiva (inductiva y capacitiva) para evitar penalizaciones en la factura.
- d) analizar calidad del suministro eléctrico.

Para abordar los puntos propuestos es primero importante conocer cómo se factura el servicio eléctrico en los clientes industriales españoles, por lo que se presentarán los aspectos principales de esta en el Capítulo 2. Las características de la empresa usada como caso de estudio para el presente análisis se resumen en el Capítulo 3. La metodología aplicada para la evaluación de los puntos descritos con anterioridad se encuentra en el Capítulo 4. Finalmente, los resultados son presentados en la Sección 5 y las conclusiones en la Sección 6.

## 2. SUMINISTRO ELÉCTRICO INDUSTRIAL

En este capítulo se realiza un desglose de los puntos más importantes para comprender el mecanismo de facturación eléctrica, dando especial énfasis en los usuarios industriales, dado que es la categoría a la que pertenece la empresa del caso de estudio. También se dan algunas definiciones básicas sobre la calidad del suministro eléctrico.

### 2.1 Facturación

Las tarifas se componen de diversos costes, en general, los usuarios industriales pagan por consumo de energía activa, potencia demandada, alquiler del equipo de medida, impuestos, cargos y peajes (que se aplican a energía activa y potencia) y si corresponden penalizaciones por

exceso de la potencia demandada, por la energía reactiva inductiva en los periodos 1 a 5 (P1 a P5) y por consumo de energía reactiva capacitiva en el periodo 6 (P6) (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2020).

El componente principal de la factura eléctrica es el coste de la energía consumida. Este depende del consumo de energía activa realizado y del precio de la misma durante ese período. El coste en sí de la energía [€/kWh] es establecido por la estrategia de compra elegida. Hay diversas tipologías de contratación que pueden adoptar los consumidores, entre las más comunes se encuentran la de precio fijo (que aseguran el coste eléctrico para todo el periodo ofertado) y las de tipo variable con precio indexado (donde la comercializadora indexa al consumidor el precio horario del mercado spot de electricidad) (Yusta Loyo, 2017).

Si la contratación se hace a través de una comercializadora con operaciones en el mercado español, en el precio de compra de la energía estarán incluidos los costes de operación, donde se engloba el coste de generación de energía. A este coste hay que añadirle una parte regulada, es decir, dictada por el gobierno, que se compone de los impuestos (que no serán tratados en este trabajo) y los de peajes y cargos aplicables a este término (Llanos Matea Rosa et al., 2021). De forma similar, existe un componente por potencia contratada donde al coste del servicio definido por la comercializadora se le añaden unos peajes y cargos regulados, que – como se explica en la siguiente sección – son diferenciados según la época del año.

### 2.1.1 Peajes, cargos y periodos horarios

Los peajes son una cantidad monetaria que se incluyen en las tarifas eléctricas y sirven para financiar costes del mantenimiento, distribución y uso de la red eléctrica. En la factura existe un ítem, donde es posible observar los peajes de acceso que se pagan. Estos se dividen en dos: el primero es por el consumo de energía activa, y representa un término variable adicional al coste de la energía establecido por la comercializadora que se paga por kilovatio-hora consumido. El otro, es por potencia contratada y es un término fijo independiente del consumo. Estos precios son regulados, ya que los establece el Gobierno, y varían según la potencia contratada y el nivel de tensión. Los costes aplicables actualmente son los siguientes:

Grupo tarifario	Término de potencia del peaje de transporte y distribución (€/kW año)					
	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
2.0 TD	22,9883	0,93889				
3.0 TD	10,4939	9,15249	3,68851	2,80274	1,12283	1,12283
6.1 TD	18,3208	18,3208	9,98857	7,56589	0,50255	0,50255
6.2 TD	13,5929	13,5929	6,64896	6,04877	0,41845	0,41845
6.3 TD	10,0211	10,0211	5,54316	3,24096	0,63815	0,63815
6.4 TD	10,3144	7,89406	3,79724	2,79529	0,52812	0,52812

**Tabla 1. Término de potencia del peaje de transporte y distribución (Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia [CNMC], 2021)**

Grupo tarifario	Término de energía del peaje de transporte y distribución (€/kWh)					
	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
2.0 TD	0,02779	0,01915	0,0007	–	–	–
3.0 TD	0,01775	0,01457	0,00796	0,00536	0,00032	0,00032
6.1 TD	0,01736	0,01425	0,00812	0,00543	0,00032	0,00032
6.2 TD	0,00917	0,00753	0,00423	0,00295	0,00017	0,00017
6.3 TD	0,00777	0,00652	0,00392	0,00188	0,00024	0,00024
6.4 TD	0,00705	0,00574	0,00306	0,00243	0,00016	0,00016

*Tabla 2. Término de energía del peaje de transporte y distribución (Fuente: CNMC, 2021)*

Los peajes de transporte y distribución de aplicación a los consumidores, por la energía demandada se clasifican de la siguiente forma:

- a) **Peaje 2.0TD** de aplicación a suministros conectados en redes de tensión no superior a 1 kV, con potencia contratada inferior o igual a 15 kW en todos los periodos.
- b) **Peaje 3.0TD** de aplicación a suministros conectados en redes de tensión no superior a 1 kV con potencia contratada superior a 15 kW en alguno de los seis periodos horarios.
- c) **Peaje 6.1TD** de aplicación a suministros conectados en tensiones superiores a 1 kV e inferiores a 30 kV (nivel de tensión tarifario NT1).
- d) **Peaje 6.2TD** de aplicación a suministros conectados en tensiones iguales o superiores a 30 kV e inferiores a 72,5 kV (nivel de tensión tarifario NT2).
- e) **Peaje 6.3TD** de aplicación a suministros conectados en tensiones iguales o superiores a 72,5 kV e inferiores a 145 kV (nivel de tensión tarifario NT3).
- f) **Peaje 6.4TD** de aplicación a suministros conectados en tensiones iguales o superiores a 145 kV (nivel de tensión tarifario NT4).

La empresa que se analiza en el caso de estudio, tiene tarifa 6.1TD, con potencia contratada del P1 al P5 de 760 kW y de 1100 kW en el P6.

Los cargos, por su parte, sirven para financiar costes relacionados a decisiones de política energética que son pagadas a través de la factura eléctrica (Llanos Matea Rosa et al., 2021). Como sucede con los peajes, estos son recuperados a través de los términos de facturación por consumo de energía activa, así como por potencia contratada.

Para una misma tarifa, se definen diferentes precios para peajes y cargos, que dependen del momento en que se realiza el consumo, a través de los denominados «periodos horarios». La definición de estos periodos se realizó teniendo en cuenta las horas de máxima demanda del sistema. Para asegurar un suministro fiable y desincentivar consumos en los picos de demanda es que los peajes de red varían según la época del año, siendo más elevados en los periodos de máxima utilización y más reducidos en los periodos de menor utilización (Chaves et al., 2021).

En cada zona territorial (Península, Islas Baleares e Islas Canarias), y según qué mes del año sea, corresponde un periodo u otro, en la figura siguiente se detalla la distribución de los diferentes periodos:

PENÍNSULA													SOM
MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	SÁBADOS, DOMINGOS Y FESTIVOS
0-1	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
1-2	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
2-3	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
3-4	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
4-5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
5-6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
6-7	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
7-8	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
8-9	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
9-10	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
10-11	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
11-12	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
12-13	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
13-14	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
14-15	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
15-16	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
16-17	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
17-18	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
18-19	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
19-20	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
20-21	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
21-22	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
22-23	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
23-0	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6

**Figura 3. Periodos tarifarios aplicables a usuarios con potencia contratada mayor a 15 kW (Fuente: Som Energía, 2022)**

### 2.1.2 Facturación por energía consumida

Es el coste de la energía utilizada en cada periodo. Se multiplican los kilovatios-hora consumidos por el precio correspondiente. Según Llanos Matea Rosa et al. (2021) este precio estará determinado por la estrategia de compra elegida por el consumidor. Los grandes consumidores tienen diferentes opciones de adquisición de la energía:

- Directamente en el mercado mayorista.
- A través de un contrato de suministro con una empresa comercializadora, en el que el precio de la energía se pacta libremente entre las partes.
- A través de un contrato bilateral de suministro.
- Pueden autoabastecerse, mediante cogeneración o energías renovables.

El término por energía consumida representa el principal coste de la factura para usuarios industriales, siendo en promedio un 43% del coste total de la factura para usuarios en media tensión y de 59% para usuarios en alta tensión. Además, para los usuarios industriales en media tensión, grupo al que pertenece la empresa del caso de estudio, los peajes representan un 14%, los cargos un 21% y los impuestos un 22% del coste total (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2021a).

Es por esto que la energía activa medida por el contador fiscal es el principal parámetro a tener en cuenta. Como se mencionó anteriormente, a este coste se deben agregar los peajes y cargos aplicables para obtener el precio final que paga el consumidor.

Si bien los nuevos contadores digitales son de gran fiabilidad, para este análisis resulta un primer paso importante el de garantizar que la energía activa está midiéndose en forma correcta. Si no

fuera así, se puede reclamar a la empresa comercializadora el cambio o reparación del contador. La Orden ICT/155/2020, regula el control metrológico del Estado de determinados instrumentos de medida, entre los que está incluido los contadores de energía eléctrica (Ministerio de Industria Comercio y Turismo, 2020)

En particular en Cataluña la Instrucción 3/2020, de 30 de julio, establece el procedimiento de verificación por reclamación de contadores de energía eléctrica. (Departamento de empresa y conocimiento, 2013)

### 2.1.3 Facturación por potencia contratada

La potencia eléctrica se define como la “rapidez con la que se realiza trabajo o se gasta energía”. Es de gran utilidad cuando se desea saber cuánta energía consume un aparato o instalación eléctrica (Gauna, 2019). A mayores potencias contratadas mayor cantidad de equipamientos simultáneamente se pueden utilizar.

Es decir, representa la máxima potencia que se puede utilizar en un momento dado sin sufrir penalizaciones. Este valor debe determinarse teniendo en cuenta los hábitos de consumo.

Para obtener este coste, se calcula la suma de la potencia contratada en cada periodo por el precio del término de potencia en ese periodo.

Se puede contratar una potencia diferente en cada uno de los seis periodos, siempre y cuando se cumpla con el criterio de potencias crecientes, es decir, la potencia contratada en un periodo debe ser igual o superior a la del periodo anterior. Es decir:

$$P_1 \leq P_2 \leq P_3 \leq P_4 \leq P_5 \leq P_6$$

Optimizar el valor de potencia contratada es una manera simple de reducir costes evitando potencias excesivas que representen una erogación anual innecesaria y también evitando potencias contratadas muy bajas que impliquen penalizaciones altas por excesos continuos de demanda de potencia. Por lo tanto, optimizar no es más que encontrar un equilibrio entre lo que se paga por el término fijo (potencia contratada) y las potenciales penalizaciones.

## 2.2 Penalizaciones

### 2.2.1 Facturación por exceso de la potencia demandada

En los puntos de medida donde la potencia contratada es mayor a 50kW el control de la potencia demandada se realiza a partir de mediciones cuartohorarias de los equipos. En las tarifas de seis períodos, como la del caso de estudio, se penaliza por cada cuarto de hora que el máxímetro registra una potencia superior a la contratada. Para el cálculo de la penalización se utiliza la siguiente formula, establecida en la Circular 3/2020:

$$E.1. F_{EP} = \sum_{p=1}^{p=i} K_p * t_{ep} * \sqrt{\sum_{j=1}^n (P_{d_j} - P_{C_p})^2}$$

Donde:

- $F_{EP}$ : Facturación en concepto de excesos de potencia.

- $K_p$ : Relación de precios por periodo horario  $p$ , calculada como el cociente entre el término de potencia del periodo  $p$  respecto del término de potencia del periodo 1 del peaje correspondiente.
- $t_{ep}$ : Término de exceso de potencia, expresado en €/kW, del peaje correspondiente.
- $P_{dj}$ : Potencia demandada en cada uno de los cuartos de hora  $j$  del período horario  $p$  en que se haya sobrepasado  $P_{Cp}$ , expresada en kW. En el caso de que el equipo de medida no disponga de capacidad de registro cuartohoraria, se considerará la misma potencia demandada en todos los cuartos de hora.
- $P_{Cp}$ : Potencia contratada en el período horario  $p$ , expresada en kW.
- $i$ : Número de periodos horarios de los que consta el término de facturación de potencia del peaje correspondiente.

Los precios del término de exceso de potencia para los puntos de medida donde la potencia contratada es mayor a 50kW, aplicables durante el 2022, se resumen en la Tabla 3, extraída de la Resolución de 16 de diciembre de 2021, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia:

	2.0 TD	3.0 TD	6.1 TD	6.2 TD	6.3 TD	6.4 TD
Precio del exceso de potencia (€/kW)	2,398610	2,468725	2,500611	2,511007	2,268489	2,244925

	Periodo	2.0 TD	3.0 TD	6.1 TD	6.2 TD	6.3 TD	6.4 TD
Coeficiente $K_p$	1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
	2	0,040842	0,872171	1,000000	1,000000	1,000000	0,765346
	3	–	0,351490	0,545204	0,489150	0,553151	0,368150
	4	–	0,267082	0,412967	0,444995	0,323415	0,271009
	5	–	0,106998	0,027431	0,030784	0,063681	0,051202
	6	–	0,106998	0,027431	0,030784	0,063681	0,051202

**Tabla 3. Precios del exceso de potencia en €/kW y Coeficiente  $K_p$  (Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2021b)**

El costo de los excesos estará definido fundamentalmente por cuantas veces ocurren y la magnitud de la potencia demandada durante ellos.

La normativa (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2021b), también establece que el término  $t_{ep}$  resultante se incrementará en un 20% con el objetivo de desincentivar la contratación de potencias inferiores a las demandadas. Para poder evitar o minimizar las penalizaciones por excesos de potencia, es importante calcular la potencia óptima en función de consumos anteriores y previsiones del mismo que se tengan (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2020). En relación a esto existen tres posibilidades:

- Que la potencia contratada sea mucho mayor a la demandada, lo que implicara unos costes fijos anuales elevados (debidos a un exceso innecesario) y unos costes por penalizaciones nulos.

- Que la potencia contratada sea mucho menor a la demandada, lo que implicara unos costes fijos anuales bajos y unos costes por penalizaciones elevados (debido a recurrentes excesos y/o a excesos de potencia demandada de gran magnitud).
- Que la potencia contratada sea la óptima para minimizar los costes.

### 2.2.2 Facturación por energía reactiva

El término de facturación por energía reactiva, expresado en [€/kVAh], se aplica sobre todos los períodos horarios, excepto en el Período 6 (P6), siempre que el consumo de energía reactiva exceda el 33% del consumo de activa durante el período de facturación considerado y únicamente afectará a dichos excesos. La determinación del precio de la penalización se realiza de acuerdo a lo establecido en el Real Decreto 148/2021, de 9 de marzo (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2021) donde se calcula el factor de Potencia (Cos  $\varphi$ ) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E.2. \text{Cos}\varphi = \frac{\text{Energía activa}}{\sqrt{\text{Energía activa}^2 + \text{Energía reactiva}^2}}$$

La energía reactiva será el saldo neto obtenido como diferencia entre las energías reactivas de los cuadrantes QR1 y QR4. Si la diferencia es positiva, el factor de potencia es inductivo. En caso de resultar negativa, el factor de potencia es capacitivo.

Una vez calculado la magnitud del Cos  $\varphi$ , se utiliza lo establecido en la Resolución de 16 de diciembre de 2021, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establecen los siguientes valores, con aplicación a partir del 1 de enero de 2022 (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2021b):

Periodos	Cos $\varphi$	[€/kVAh]
Periodos 1 a 5	$0,8 \leq \text{Cos } \varphi < 0,95$	0,041554
	$\text{Cos } \varphi < 0,80$	0,062332

Tabla 4. Precios de los términos de energía reactiva inductiva

### 2.2.3. Facturación por energía capacitiva

Desde el 1 de abril de 2021 se creó una nueva penalización por excesos de energía reactiva capacitiva. Al salir la reglamentación, el costo propuesto era de 0,05 [€/kVAh].

Para el cálculo del Cos  $\varphi$  se utiliza también la **Ecuación E.2**, los costes de esta penalización están establecidos en la Resolución de 16 de diciembre de 2021, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, para el año 2022 el precio de los términos de energía reactiva capacitiva es:

Periodos	Cos $\varphi$	[€/kVAh]
Periodos 6	$\text{Cos } \varphi < 0,98$	0,00000

Tabla 5. Precios de los términos de energía reactiva capacitiva

La nueva penalización se aplica de forma horaria, sólo en el P6 (que representa aproximadamente el 50% de las horas anuales) y lo hará para todos los excesos que superen un coseno phi de 0,98 capacitivo. Es decir, el consumo de [kVAh] no debe sobrepasar el 20% del consumo de kilovatios-hora (Furió, 2020). Como se ve en la Tabla 5, actualmente el coste aplicable a esta penalización es cero. No obstante, es factible que en el futuro el coste aumente

por lo que es recomendable que las empresas comiencen a tomar en cuenta este término dentro de su estrategia de gestión energética.

## 2.3 Calidad del suministro

La energía eléctrica debe satisfacer ciertos requisitos de calidad para considerarse adecuada. En el ámbito industrial, para que los equipos y maquinarias funcionen correctamente, es necesario que se le suministre electricidad a una tensión que este dentro de un intervalo cercano a los valores nominales (Markiewicz & Klanj, 2004).

En los últimos años la calidad del suministro eléctrico en España ha experimentado una gran mejora, disminuyendo los tiempos de interrupción de suministro. También, en paralelo, la sensibilidad de los equipamientos se ha incrementado. Cada vez son más habituales los procesos industriales y equipos informáticos muy sensibles a pequeños huecos de tensión e interrupciones breves en la red, cuyo mal funcionamiento, puede causar pérdidas económicas muy importantes (Martínez & Gómez San Román, 2006). El costo de una mala calidad de energía se estima que causa pérdidas a la industria y al comercio de la UE en unos 10.000€ millones de euros por año (Markiewicz & Klanj, 2004).

La calidad del suministro eléctrico en España se rige bajo la norma “UNE-EN-50160-2001 Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”. Cabe aclarar que no se realizara un análisis de la calidad relativa a armónicos, flickers y/o efectos transitorios.

En cuanto a la calidad de la onda suministrada, los parámetros establecidos en la Norma UNE-EN-50610 y que se estudian serán:

Parámetro	Características según la Norma EN 50160 para MT
Frecuencia	± 1% (49,5 - 50,5Hz) durante el 99,5% de la semana
	± 6% (47 - 52Hz) durante el 100% de la semana
Tensión	± 10% durante el 95% de la semana

**Tabla 6. Características de tensión y frecuencia según Norma UNE-EN-50160(Fuente: Elaboración propia en base a UNE-EN-50160)**

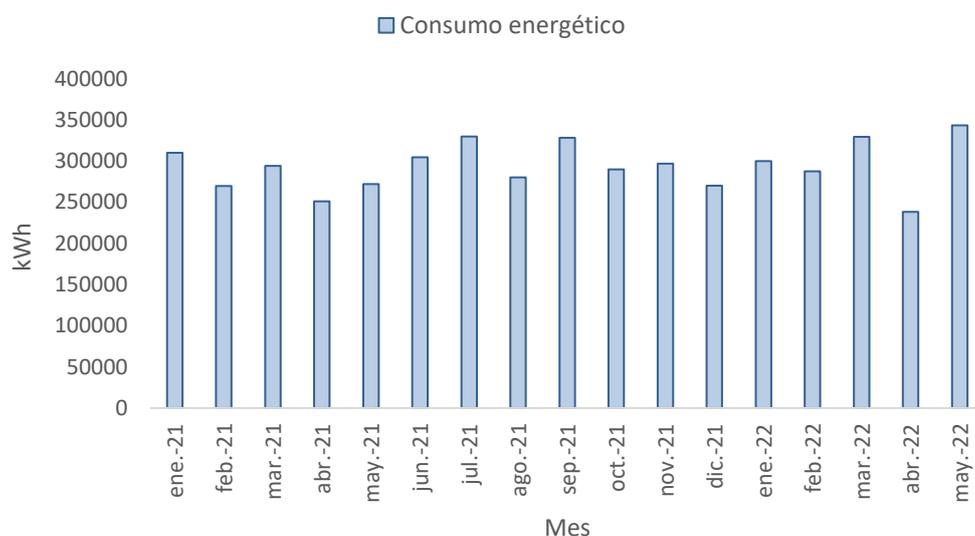
La calidad de la energía es una materia amplia, en la que se pueden observar diferentes aspectos, en relación a los datos con los que se cuentan y la orientación del presente trabajo, a continuación se detalla las definiciones de los parámetros seleccionados y que se utilizan, tal como se establecen en la norma UNE-EN-50160:

- **Hueco:** disminución brusca de la tensión a un valor situado entre el 90% y el 1% de la tensión declarada, seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo.
- **Interrupciones breves (IB):** Cuando la tensión en los puntos de suministro es inferior al 1% de la tensión declarada. Para ser considerada como breve su duración será inferior a los tres minutos.
- **Interrupciones largas (IL):** Cuando la tensión en los puntos de suministro no supera el 10% de la tensión declarada con una duración superior a los tres minutos.

### 3. CASO DE ESTUDIO

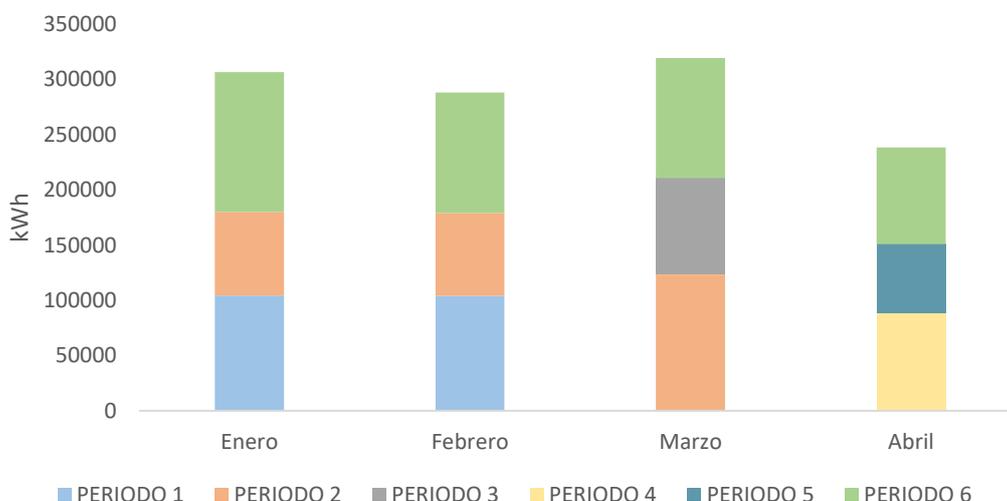
El trabajo de monitorización y análisis de la facturación y calidad del suministro eléctrico se realizará en una industria manufacturera de bienes de consumo que fabrica principalmente productos de cuidado personal. Se encuentra ubicada en el polígono industrial del municipio de Argentona. La misma tiene tarifa 6.1TD, y su punto de conexión tiene tensión entre fases en media tensión de 25kV.

En lo que respecta a la empresa que se estudia, esta tiene una potencia contratada del P1 al P5 de 760 kW y de 1100 kW en el P6. La evolución del consumo sigue la siguiente tendencia:



**Figura 4. Consumo energético mensual (Fuente: Elaboración propia, 2022)**

A continuación, se expone el consumo de energía activa por periodo para el primer cuatrimestre del año 2022:



**Figura 5. Consumo de energía activa por periodo horario (Fuente: Elaboración propia, 2022)**

En las gráficas presentadas anteriormente, se puede ver cómo se reparte el consumo según los periodos. Hay un valor relativamente similar para todos los meses en P6. Observar el consumo de energía discriminada por periodos horarios permite generar información sobre el perfil de consumos. Es recomendable siempre que sea posible, realizar la mayor cantidad de consumos en los periodos más económicos.

Además, se observa un desplazamiento de los consumos en los periodos 1 y 2 para febrero hacia los periodos 2-3 y luego 3-4. Este fenómeno está relacionado a como están definidos los periodos en la normativa, por lo que un consumo para un día y hora del mes de febrero sería "Periodo 1" y ese mismo consumo para el mismo día de la semana y hora podría ser "Periodo 2" en marzo o "Periodo 4" en abril.

De acuerdo con información proporcionada por la compañía, durante el periodo de análisis, del 1/1/2022 al 30/4/2022, el costo total sin impuestos que se pagó por la energía eléctrica fue de 241.647,46 €, con un costo medio de 0,207 [€/kWh].

## 4. METODOLOGÍA

A continuación, se precisa como se van a llevar a cabo las acciones descritas en objetivos, considerando la nueva estructura de tarifas aplicable y las normativas aplicables a la medición y calidad del suministro eléctrico

### 4.1 Obtención de datos

El periodo de los datos analizados es desde el 1/1/2022 al 30/4/2022, excepto para el cálculo de optimización de potencias en el que el periodo será el primer semestre de la misma anualidad. Se emplean dos fuentes distintas de datos:

- 1) **El contador fiscal:** propiedad de la distribuidora de energía. Este equipo registra valores horarios de Energía activa y Energía reactiva bajo la denominación "Curva de carga 1". Para obtener estos datos se realizó una llamada a través de un modem ZDUE-GSM-PLUS-V, utilizando el software PowerWatt Pro SQL. Con este equipamiento se pueden descargar los datos y exportarlos a formatos .csv para procesarlos en Excel.
- 2) **Un analizador de redes y calidad de suministro:** Marca Circutor, Modelo CVMA-1500, propiedad de la empresa, se tiene instalado para su propio registro y control, y para posibles reclamos a compañía. El equipo de medición de energía es el equipo de medición cabecera en el cual se registra todo el consumo de la empresa. Este equipo monitoriza y registra las variables eléctricas de interés y también eventos de calidad de suministro tales como sobretensiones, huecos, interrupciones y transitorios. Se adjunta hoja de datos del equipo en Anexos.

### 4.2 Comparación y cálculo de error de los equipos

En principio se comparan los valores de energía activa del contador fiscal con el equipo de medición de energía (CVMA-1500).

Tomando como referencia los datos del equipo de medición instalado (Equipo CVMA-1500) y "a validar" los datos del contador fiscal. Esto se debe a que, es de interés a la empresa

validar las mediciones que hace la comercializadora, para en caso de identificar desviaciones que se estén reflejando en mayores costes se puedan tomar acciones para solicitar el cambio de medidor fiscal.

Se utilizan métricas empleadas para comparar series de tiempo típicamente utilizadas en aplicaciones de predicción (*forecasting*), para comparar la diferencia entre dos series de tiempo. Para hacer la comparación de errores se toma como “demanda” o “valor real” los valores registrados por el CVMA-1500, y “pronóstico” los datos del contador fiscal. Para esto se usan los indicadores estadísticos propuestos en “*Data Science for Supply Chain Forecast*” (Vandepuut, 2021) que se exponen a continuación:

- Error: Es el pronóstico menos la demanda:

$$\text{E. 3. } e_t = f_t - d_t$$

- Sesgo: se define como el error medio:

$$\text{E.4. Sesgo} = \frac{1}{n} \sum_n e_t$$

donde  $n$  es el número de períodos donde se tienen datos válidos. Como un error positivo en un elemento puede compensar un error negativo en otro, se puede tener un sesgo bajo y ser poco preciso.

- MAE: Es la media del error absoluto:

$$\text{E.5. } MAE = \frac{1}{n} \sum |e_t|$$

Estos valores no están escalados a la demanda promedio. Para esto, es común dividir MAE por la demanda promedio para obtener un %:

$$\text{E.6. } MAE\% = \frac{\sum |e_t|}{\sum d_t}$$

- RMSE: El error cuadrático medio (RMSE) se define como la raíz cuadrada del error cuadrático medio:

$$\text{E.7. } RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum e_t^2}$$

Al igual que MAE, no está escalado a la demanda. Entonces se puede definir RMSE% como:

$$\text{E.8. } RMSE\% = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum e_t^2}}{\frac{\sum d}{n}}$$

### 4.3 Optimización de la potencia contratada

Con los datos provenientes del CVMA1500 se utiliza una aplicación desarrollada por el Instituto Catalán de Energía (ICAEN) y basada en la nueva normativa tarifaria, para hacer los cálculos requeridos para optimizar la potencia contratada.

La herramienta permite hacer el cálculo con dos métodos distintos (Institut Català d'Energia, 2021):

1. **Curva cuartohoraria:** Método más fiable, pero no siempre es posible tener acceso a esta granularidad de datos.
2. **Curva horaria:** Método menos fiable como el anterior pero que ofrece una estimación adecuada a las necesidades del usuario. Por lo general, si están disponibles estos datos.

Para este trabajo se usa el método de la **Curva horaria**, donde servirán como datos de entrada la energía activa horaria consumida en el intervalo de análisis y los valores de potencia contratada actuales. Esta herramienta se adaptó para ajustarse a los datos disponibles, se cargaron dichos datos del periodo 1/1/2022 al 30/6/2022.

La aplicación, funciona con Microsoft Excel, y tiene cargados todos los valores establecidos en la normativa y necesarios para el cálculo de la **Ecuación 1**.

El algoritmo calcula el costo de la potencia contratada anual discriminada por periodos horarios, así como el costo de las penalizaciones por los excesos de potencia sufridos durante el intervalo, discriminados por periodos horarios (P1, P2, P3, etc.). A continuación, suma ambos valores (unos de tipo fijos y otros variables) para obtener el costo total de potencia.

Asimismo, utilizando la herramienta "Solver" de Excel (estableciendo como variables las potencias contratadas para los periodos P1 a P6) el programa busca el valor mínimo del costo total de potencia.

En resumen, la herramienta busca el costo mínimo en la relación: Costo fijos anuales de la potencia contratada<sup>1</sup> versus Costes variables debido a penalizaciones eventuales<sup>2</sup>. Al utilizar la herramienta "Solver" se obtienen las potencias contratadas que hacen mínimo el costo total de potencia.

Para buscar el valor óptimo se utiliza el método "GRG No lineal" disponible en Excel. El solucionador "GRG No lineal" es un código de optimización no lineal, sus implementaciones han mostrado su enfoque robusto y confiable para resolver problemas difíciles y no lineales (Muzzammil et al., 2015).

Es importante considerar que si se reduce la potencia de P6, se perderán parte de los derechos de acometida<sup>3</sup>, lo que se reflejaría en un coste adicional. Por lo tanto, la aplicación permite también realizar el cálculo de optimización solo para los periodos P1 a P5 y dejar la potencia contratada en el periodo P6, evitando este coste extra.

Para el análisis se realiza una comparación de ambas posibilidades. Es decir, por un lado, el cálculo con la potencia a contratar para cada uno de los 6 periodos como variables; y por el

---

<sup>1</sup> Definidos en la aplicación como **Costo potencia [€]**

<sup>2</sup> Definidos en la aplicación como **Penalización pot. [€]**

<sup>3</sup> Conjunto de gastos que se deben abonar a la distribuidora por efectuar la instalación de un nuevo suministro energético o por la ampliación de uno existente. También se debe hacer frente a estos gastos cuando se realiza un aumento de la potencia contratada (Selectra, 2022).

otro el cálculo considerando únicamente 5 periodos como variables, manteniendo fija la potencia contratada en el P6 de forma que se eviten los pagos por pérdidas de derechos.

Para hacer esta optimización con resultados fiables es recomendable contar con datos de por lo menos un año completo (Institut Català d'Energia, 2021). Al momento de la elaboración del presente trabajo solo se encontraban disponibles datos del primer semestre de 2022, por lo que la información y conclusiones deberán ser luego revisadas al finalizar el 2022 cuando se cuente con los datos de toda la anualidad. No obstante, se realiza el ejercicio para efectos de análisis y comprender mejor el funcionamiento de la herramienta de optimización y los criterios para facturación de potencia en usuarios industriales.

#### 4.4 Penalización por energía reactiva inductiva

Con los datos provenientes del equipo analizador de red, se observan los valores de energía reactiva inductiva durante el último cuatrimestre y se estudia si han sufrido penalizaciones por este motivo.

Para realizar este cálculo, los datos de energía activa y energía reactiva inductiva discriminados para cada mes del primer cuatrimestre, serán separados según periodo horario, descartando la información relativa al P6 por no ser necesaria para nuestros cálculos, ya que la energía reactiva inductiva no penaliza en P6. Después se calcula el exceso de energía con la siguiente formula:

$$\mathbf{E.9. Exceso\ de\ reactiva\ Periodo\ i = E.\ reactiva\ Periodo\ i - (E.\ activa\ Periodo\ i * 0,33)}$$

Los valores positivos representaran los excesos de reactiva y por lo tanto energía penalizable, los valores negativos representan una cierta flexibilidad o capacidad de consumo de reactiva inductiva. Finalmente, si hubiera excesos, para calcular el costo de la penalización se multiplica el exceso de energía reactiva por el término de facturación establecido en la normativa.

#### 4.5 Penalización por energía reactiva capacitiva

Teniendo como datos de inicio los valores de energía activa consumida por hora y los valores de energía capacitiva [kVAch] y energía inductiva [kVAh] para el primer cuatrimestre del año, se separan los valores según el mes para luego aplicar el calendario de periodos horarios y dejar solo los valores de P6, ya que es el único periodo horario donde se penaliza la energía reactiva capacitiva. Una vez se tienen los valores del P6 se realiza el siguiente cálculo para cada hora:

$$\mathbf{E.10. E.\ de\ penalización = E.\ capacitiva - E.\ inductiva - (E.\ activa * 0,2)}$$

Al obtener los resultados se descartan todos los valores negativos, ya que corresponden a momentos donde no existe penalización, de manera se contemplan solo los valores positivos.

Finalmente, se suman todos los componentes. de penalización (E.10) y se multiplica por 0,05 [€/kVAch]. Como se mencionó en la Sección 2.2.3, el coste actual de esta penalización (2022) según la Circular 3/2020 es de 0 [€/kVAch]. No obstante, se establece este costo como referencia de un potencial escenario de modificación a la alza en el valor de la penalización

aplicable. Este procedimiento se repetirá para cada uno de los cuatro meses del cuatrimestre 2022.

#### 4.6 Análisis de Calidad del suministro

Se estudian los eventos de calidad de los primeros cuatro meses del año 2022, registrados en el CVMA1500 para poder observar cuales son los principales problemas en la calidad del suministro de la compañía. Haciendo hincapié en la calidad de la onda suministrada y en los fenómenos relacionados con la reducción de la tensión, en particular interrupciones y huecos de tensión. Para el análisis se usan las definiciones establecidas por la norma UNE-EN 50160 ya expuesta anteriormente.

En cuanto a la calidad de la onda suministrada, como primer análisis se verifica para el periodo de análisis que se cumple los parámetros establecidos en la Norma EN50610 para tensión y frecuencia. Para esto se cuenta con registros promedio cada 30 minutos de los valores de tensión y frecuencia, si bien no resulta una fuente de datos ideal, ya que este tipo de fenómenos son de corta duración si nos dará a gran escala una tendencia general de la situación respecto a ambos parámetros.

En cuanto a los eventos relacionados a la reducción de tensión se analizan los registros del equipo relativos a huecos de tensión y a interrupciones. Para las interrupciones se realizará una discriminación mensual y una horaria para observar si existen periodos de mayor ocurrencia de estos fenómenos.

### 5. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 5.1 Comparación y cálculo de error de los equipos

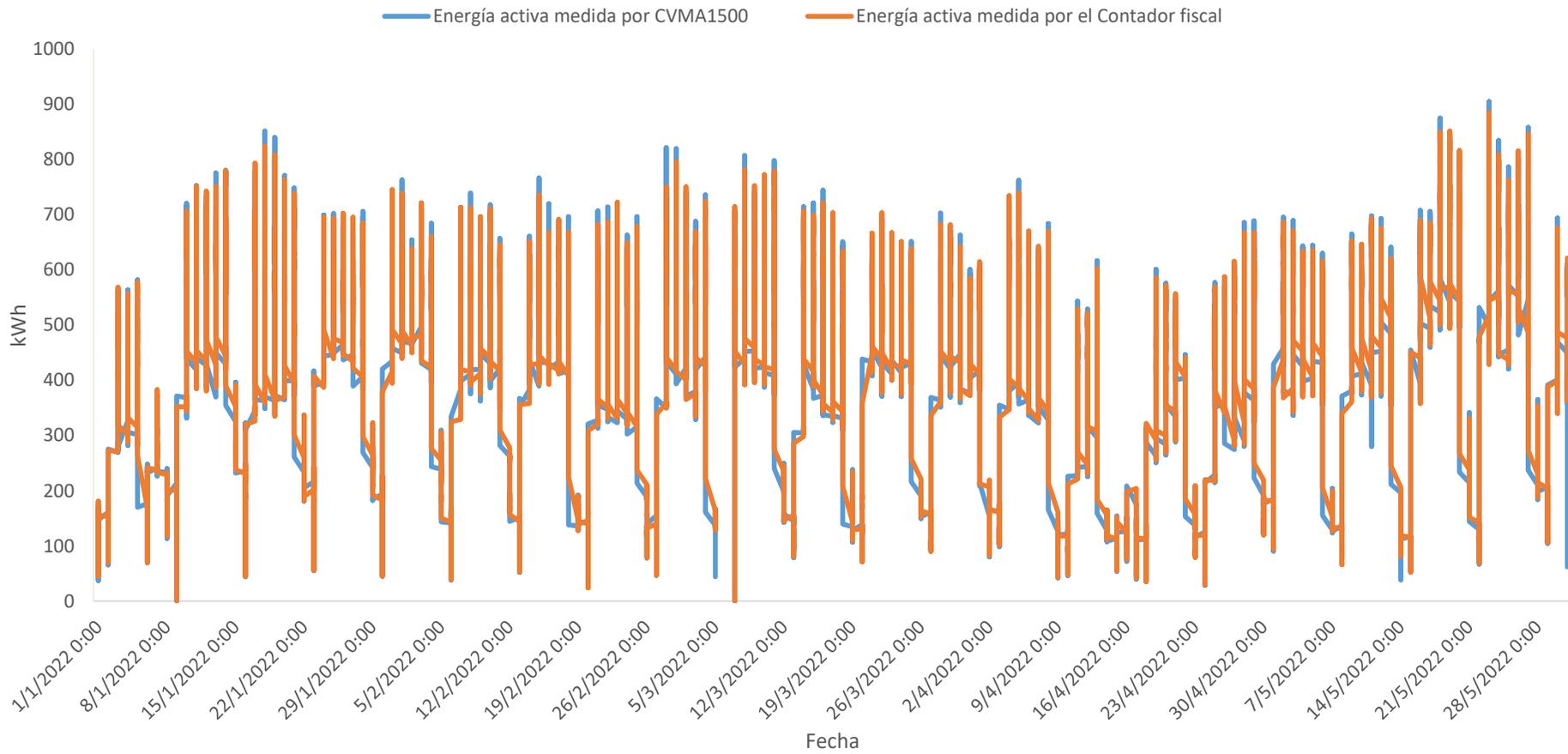
Al momento de tratar los datos registrados, se comprueban algunas particularidades: Al haber una pérdida de comunicación (por corte u otros motivos) en uno de los equipos y no en el otro se registran valores en uno y nulos en el otro. Estos datos puntuales fueron descartados por no tener validez para el análisis. También, al reestablecerse la comunicación, los equipos traen el consumo acumulado del periodo que no registraron, por lo tanto, si se perdió comunicación durante 4 horas, la quinta hora registra el acumulado de 5 horas. Si este valor se compara contra el del equipo que presto el servicio correctamente y sin cortes, surgen discrepancias muy grandes. Por este motivo, los valores acumulados luego del restablecimiento de los registros tras un evento fueron despreciados.

Al aplicar los indicadores enunciados, los valores obtenidos fueron los siguientes:

Indicador	Valor
Sesgo	0,319
MAE	24,059
MAE%	0,074
RMSE	40,616
RMSE%	0,125

*Tabla 7. Indicadores estadísticos (Fuente: elaboración propia)*

Además, se graficaron ambas series de tiempo para observar las tendencias que presentan. Se observa tanto en la Tabla 7 de indicadores estadísticos, como en la figura 6, que las mediciones presentan errores poco significativos por lo que se acepta su validez.



**Figura 6. Comparativa energía activa: Contador fiscal Vs. CVM1500 (Fuente: Elaboración propia)**

## 5.2 Optimización de la potencia contratada

Al realizar el ingreso de datos y el cálculo con la herramienta de optimización realizada por el Instituto Catalán de Energía se obtuvieron los siguientes resultados:

### 1- Cálculo con P1 a P6 como variables:

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Coste total
Actual	Potencia (kW)	760	760	760	760	760	1.100	
	Costo potencia (€)	18.796	16.362	9.363	7.522	2.154	1.728	55.926
	Penalización pot. (€)	95	686	1.266	1.562	10	0	3.619
	TOTAL POT. (€)	<b>18.892</b>	<b>17.048</b>	<b>10.629</b>	<b>9.084</b>	<b>2.164</b>	<b>1.728</b>	<b>59.545</b>

Óptimo	Potencia (kW)	<b>687</b>	<b>757</b>	<b>813</b>	<b>813</b>	<b>813</b>	<b>813</b>	
	Costo potencia (€)	16.979	16.289	10.018	8.048	2.304	1.277	54.915
	Penalización pot. (€)	1.149	757	387	635	0	50	2.978
	TOTAL POT. (€)	<b>18.128</b>	<b>17.046</b>	<b>10.404</b>	<b>8.683</b>	<b>2.304</b>	<b>1.327</b>	<b>57.893</b>
	Ahorro	<b>764</b>	<b>2</b>	<b>225</b>	<b>401</b>	<b>-141</b>	<b>401</b>	<b>1.652</b>

*Tabla 8. Resultados de la optimización con P1 a P6 variables (Fuente: Elaboración propia)*

Al optimizar las potencias con todos los periodos como variables, se ve que se reducen las potencias contratadas para los periodos P1, P2 y P6 y se incrementa para los periodos P3, P4 y P5.

En los periodos P1, P2 y P6 en específico, se observa un aumento en las penalizaciones que son compensadas por la reducción en el coste fijo. En los periodos P3, P4 y P5 se observa el efecto contrario.

Además, se reduce:

- El costo global de potencia contratada de **55.926€** a **54.915€**
- El costo global de penalización de **3.619€** a **2.978€**

Aplicando esta optimización se ahorraría un total de **1.652€** anuales.

Es importante remarcar que al reducir la potencia contratada en P6 se pierden derechos de acometida (previamente adquiridos y pagados).

2- Calculo con P1 a P5 como variables y P6 fijo:

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Coste total
Actual	Potencia (kW)	760	760	760	760	760	1.100	
	Costo potencia (€)	18.796	16.362	9.363	7.522	2.154	1.728	55.926
	Penalización pot. (€)	95	686	1.266	1.562	10	0	3.619
	TOTAL POT. (€)	<b>18.892</b>	<b>17.048</b>	<b>10.629</b>	<b>9.084</b>	<b>2.164</b>	<b>1.728</b>	<b>59.545</b>

Óptimo	Potencia (kW)	<b>687</b>	<b>757</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>815</b>	<b>1.100</b>	
	Costo potencia (€)	16.979	16.289	10.039	8.065	2.309	1.728	55.410
	Penalización pot. (€)	1.149	757	366	611	0	0	2.884
	TOTAL POT. (€)	<b>18.128</b>	<b>17.046</b>	<b>10.406</b>	<b>8.676</b>	<b>2.309</b>	<b>1.728</b>	<b>58.294</b>
Ahorro	<b>764</b>	<b>2</b>	<b>223</b>	<b>408</b>	<b>-146</b>	<b>0</b>	<b>1.251</b>	

*Tabla 9. Resultados de la optimización con P1 a P5 variables y P6 fijo (Fuente: Elaboración propia)*

Al optimizar las potencias con P1 a P5 como variables y P6 fijo, se ve que se reducen las potencias contratadas para los periodos 1, 2 y se incrementa para los periodos 3 y 4 y 5.

Aquí se da un fenómeno similar al descrito previamente para la opción 1. En los periodos P1 y P2, se observa un aumento en las penalizaciones que son compensadas por la reducción en el coste fijo. En los periodos P3, P4 y P5 se observa el efecto contrario.

Además, se reduce:

- El costo de potencia contratada de **55.926€** a **55.410€**
- El costo de penalización de **3.619€** a **2.884€**

Aplicando esta optimización se ahorraría un total de **1.251€** anuales.

Comparando la opción 1 con la 2, se observa que en la segunda hay más costes por potencia contratada (costes fijos, debido principalmente a mantener la potencia contratada de P6 fija y muy alta) y menos costes por penalizaciones (al tener P6 alta no existe ninguna penalización durante ese periodo).

La opción 1 representa un ahorro de 451€ más que la opción 2, pero, como se mencionó, implica perder derechos de acometida previamente adquiridos. Se recomienda adoptar la optimización 2 ya que implica un ahorro de 1.251€ anuales y a su vez se mantienen los derechos de acometida en P6.

### 5.3 Penalización por energía reactiva

Al realizar los cálculos se observa que no hay penalizaciones para ninguno de los meses analizados, a continuación, una tabla resumen de la situación:

	Periodo	E. Activa	E. Reactiva	33% E. Activa	Energía exceso
<b>ENERO</b>	P1	104205,9	3926,0	34388,0	-30462,0
	P2	75573,5	2584,8	24939,2	-22354,4
	P3	0,0	0,0	0,0	0,0
	P4	0,0	0,0	0,0	0,0
	P5	0,0	0,0	0,0	0,0

	Periodo	E. Activa	E. Reactiva	33% E. Activa	Energía exceso
<b>FEBRERO</b>	P1	104073,3	2984,7	34344,2	-31359,5
	P2	75016,8	1901,3	24755,5	-22854,3
	P3	0,0	0,0	0,0	0,0
	P4	0,0	0,0	0,0	0,0
	P5	0,0	0,0	0,0	0,0

	Periodo	E. Activa	E. Reactiva	33% E. Activa	Energía exceso
<b>MARZO</b>	P1	0,0	0,0	0,0	0,0
	P2	1190088,1	3210,8	392729,1	-389518,3
	P3	87095,4	1942,4	28741,5	-26799,0
	P4	0,0	0,0	0,0	0,0
	P5	0,0	0,0	0,0	0,0

	Periodo	E. Activa	E. Reactiva	33% E. Activa	Energía exceso
<b>ABRIL</b>	P1	0,0	0,0	0,0	0,0
	P2	0,0	0,0	0,0	0,0
	P3	0,0	0,0	0,0	0,0
	P4	88303,8	1649,2	29140,2	-27491,1
	P5	62419,9	1252,4	20598,6	-19346,2

**Tabla 10. Cálculo de excesos de energía reactiva capacitiva para cada mes (Fuente: elaboración propia)**

Para todos los periodos donde hay consumo de energía reactiva, la cantidad registrada es mínima en relación a la cantidad establecida en la normativa como límite para penalizar. Al no haber ningún momento en el que existan excesos por fuera de este límite no se calculan ni el  $\text{Cos } \omega$  ni los costes aplicables (ya que son 0€).

Un factor de  $\text{Cos } \omega$  con un control adecuado durante todo el periodo de análisis hace pensar que probablemente la empresa cuenta con bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia. Esto hace que se eviten costes relacionados a las penalizaciones por exceso de energía reactiva inductiva, pero trae algunos problemas asociados a la energía capacitiva como se muestra a continuación.

#### 5.4 Penalización por energía capacitiva

Para el cálculo de la penalización por energía capacitiva se calculó el 20% de la energía activa, luego se verificó si la energía capacitiva superaba ese valor.

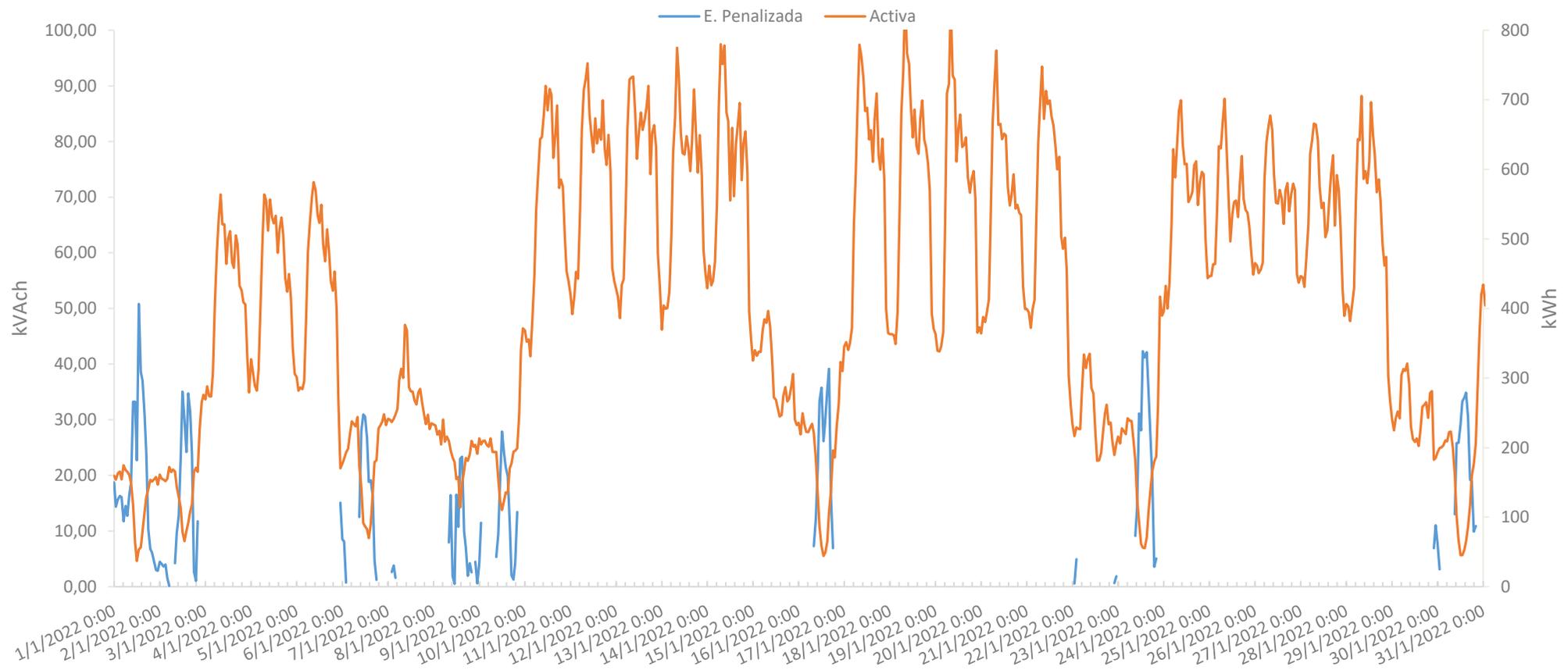
Al aplicar la metodología, se supuso un costo de penalización de 0,05 [€/kVAch]. Los resultados se exponen en la siguiente tabla:

Mes	E. penalizada [kVAch]	Costo [€]
Enero	2148,10	107,40
Febrero	2409,43	120,47
Marzo	2399,08	119,95
Abril	4796,12	239,81

*Tabla 11. Costo de penalización por energía capacitiva por mes (Fuente: elaboración propia)*

También se graficaron las variables energía activa y excesos de energía capacitiva (a estos excesos se los denominó “Energía penalizada”). La razón para colocarlas en una misma gráfica es poder observar si existe una relación entre los hábitos de consumo y los excesos de energía capacitiva.

A continuación, se observa la figura 7 perteneciente al mes de enero, las gráficas presentan para todos los meses del periodo de análisis las mismas tendencias, las restantes se pueden encontrar en Anexos.



**Figura 7. Penalizaciones por energía capacitiva Enero (Fuente: elaboración propia)**

De los gráficos se obtiene información sumamente importante, por un lado, se ve claramente el comportamiento de la energía activa para cada día de la semana, con un descenso brusco para los días sábado y domingo. Estos días, de mucho menor consumo, resultan ser los días donde se presentan los excesos de Energía Capacitiva y por lo tanto donde surgen las penalizaciones. Además, parece importante recordar que los días sábados y domingos pertenecen al P6, periodo que penaliza esta situación.

Este fenómeno probablemente esté relacionado a la existencia de bancos de baterías para la corrección del factor de potencia. En casos de alto consumo – por ejemplo, los picos de demanda observados el 13/1/2022 a las 8:00hs – las actuaciones de los bancos de baterías son sumamente necesarias para evitar penalizaciones por energía reactiva inductiva. No obstante, cuando el consumo disminuye –por ejemplo, los valles de demanda observados el 16/1/2022 a las 12:00hs- estos equipos comienzan a “sobrecompensar” trayendo como consecuencia el aumento de energía reactiva capacitiva hasta el punto de pasar el umbral penalizable.

La normativa justamente está enfocada en evitar que ocurran situaciones como las que se muestran en el gráfico. Los descensos de energía activa deben ser acompañados con descensos de la energía capacitiva.

## 5.5 Análisis de Calidad del suministro

Al analizar los valores de tensión y frecuencia para todo el primer cuatrimestre, se observa solamente 4 momentos en los que se exceden los valores establecidos en la normativa, estos se presentan en la siguiente tabla:

Fecha/hora	Frecuencia (Hz)	Tensión (V)
<b>16/1/2022 4:30</b>	43,75	22074,25
<b>16/3/2022 7:30</b>	44,9	22444,25
<b>20/3/2022 13:30</b>	41,65	21012,9
<b>21/3/2022 7:00</b>	44,95	22478,05

**Tabla 12. Valores de tensión y frecuencia que exceden lo establecido en la norma (Fuente: elaboración propia)**

Cada uno de estos valores, coincide con momentos próximos a una o más interrupciones breves del servicio. Al representar los valores que se muestran en la tabla magnitudes promediadas cada 30 minutos, si en el intervalo en el que se realiza ese promedio hubo interrupciones de tensión, luego las mediciones registradas no serán del todo correctas. Por lo tanto, esto hace suponer que estos valores están relacionados a esos eventos.

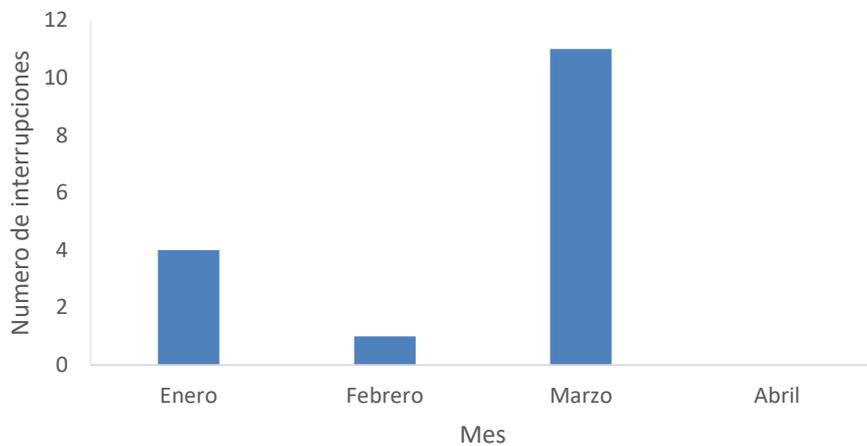
Por otra parte, respecto a los eventos registrados en relación a los huecos de tensión, el equipo de medición tiene la particularidad de registrarlos erróneamente cuando se producen restablecimientos de la tensión. Es decir, al encontrarse la misma por debajo del 1%, al momento del restablecimiento la tensión pasa de menos de 1% a encontrarse en el rango entre el 90% y el 1% del valor nominal. Cuando esto sucede el equipo registra un hueco de tensión que no es tal, aparte de esta particularidad, no se han observado huecos durante el periodo de análisis.

Por último, se exponen los resultados relativos a las interrupciones. Parece oportuno destacar que hubo un total de 17 interrupciones durante el periodo de análisis, todas ellas del tipo breve. Los valores de duración y tiempo total de interrupciones se exponen en la Tabla 13:

N° de interrupciones	Duración media	Duración máxima	Duración mínima	Tiempo total de interrupciones
<b>17</b>	58" 351 ms	1' 7" 880 ms	42" 300 ms	16' 31" 960 ms

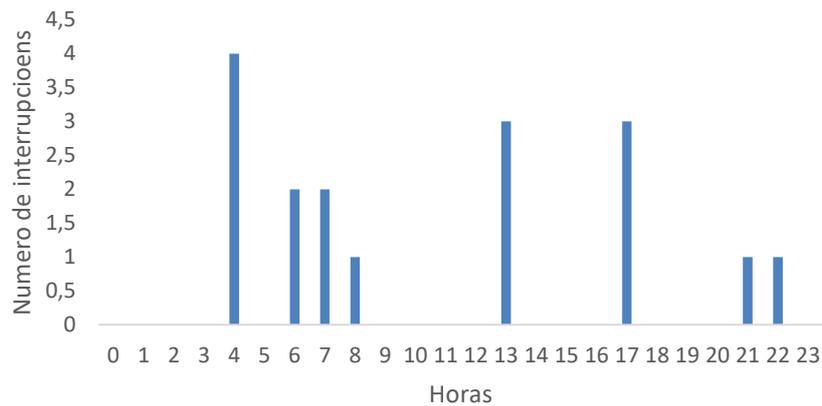
**Tabla 13. Tabla resumen de datos relativos a interrupciones (Fuente: elaboración propia)**

Seguidamente se detalla el número de interrupciones según el mes en el que ocurren, para observar si hubo un mes de mayores inconvenientes. También se verificó para todo el periodo las horas en las que se producen las interrupciones, para evaluar si hay algún rango horario con más probabilidad de ocurrencia de estos eventos. Para esto se tomaron intervalos de 1 hora (de 0 a 1, de 1 a 2, etc.). Los resultados se muestran en las siguientes figuras:



**Figura 8. Número de interrupciones por mes (Fuente: Elaboración propia)**

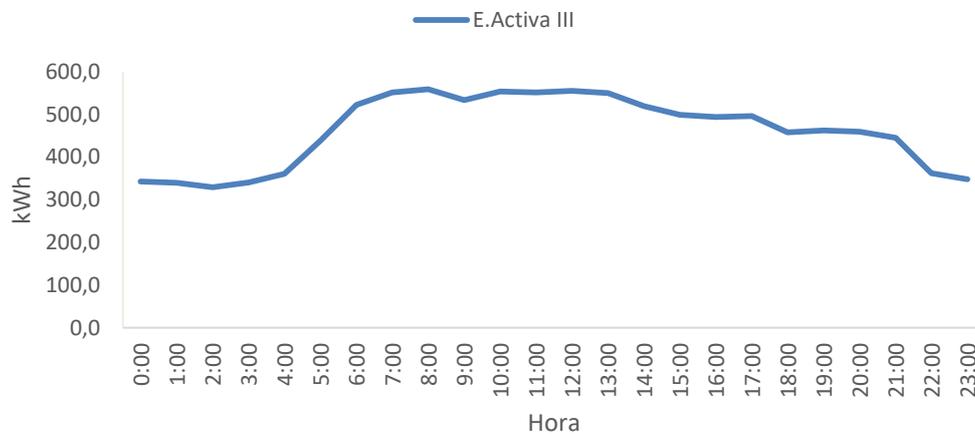
Se observa que la mayor cantidad de interrupciones ocurren en marzo siendo un total de 11 y representando aproximadamente un 65% del total. En enero ocurren 4 interrupciones, en febrero 2 y por último en abril no hay eventos.



**Figura 9. Número de interrupciones discriminadas por hora de ocurrencia (Fuente: Elaboración propia)**

Analizando los datos se observa un máximo para las 4:00 horas, no obstante la frecuencia de ocurrencia no es significativamente mayor que en otras horas. Para las 4:00, se observan cuatro interrupciones que representan aproximadamente un 24% del total identificado en el periodo de análisis, para las 13:00 y las 17:00 horas se presentan tres interrupciones que representan aproximadamente un 18% del total.

Además, se grafica una curva de consumo para el mes de marzo con los valores promediados para cada hora:



**Figura 10. Curva de consumo del mes de marzo con valores promedio por hora (Fuente: Elaboración propia)**

No se observa una relación directa entre la demanda de energía activa y las interrupciones. No obstante, se puede observar que la hora que más interrupciones hay coincide con la hora en la que comienza a crecer la demanda.

Resulta oportuno continuar registrando los eventos durante el 2022 y a fin de año aplicar nuevamente esta metodología con mayor cantidad de registros para visualizar estos fenómenos.

## 6. CONCLUSIONES

Como se mencionó durante este trabajo, la factura eléctrica resulta un coste relevante dentro del ámbito industrial, siendo sumamente importante para la competitividad de las empresas e industrias españolas. Por lo tanto, colocar equipos que puedan monitorizar las variables eléctricas y que generen información para la toma de decisiones resulta de gran importancia.

La posibilidad de observar el consumo de energía discriminada por periodos permite realizar actuaciones relativas a los consumos. Se sugiere, siempre que sea posible, realizar la mayor cantidad de consumos en los periodos más económicos. Además, si se genera suficiente información, (uno o dos años de consumos) se podrán realizar aplicaciones de predicción de los consumos futuros, lo que permite adelantar previsiones sobre las erogaciones relativas a la energía que se tendrán que hacer. Si resulta de interés para la empresa, se sugiere crear una herramienta que simule la facturación eléctrica mensual, pues su utilización es de gran utilidad para hacer imputaciones mensuales de los costes energéticos en los sistemas de gestión contable.

Resulta un paso esencial asegurarse del correcto funcionamiento del contador fiscal, ya que es el equipo con el que la comercializadora obtiene los datos de consumo. Por ello, durante este trabajo se propone un análisis para comprobar que este equipo realiza las mediciones correctamente. De esta verificación se obtuvieron resultados satisfactorios.

Además, en relación a la optimización de la potencia contratada se concluye que la instalación es susceptible de ser optimizada. Se propone modificar la potencia contratada a la siguiente: P1: 681kW, P2: 757kW, P3 815kW, P4 815kW, P5: 815kW y no variar P6. Estas nuevas potencias implican un ahorro anual de 1.251€ a su vez que no se pierden los derechos de acometida en P6.

En cuanto a la energía reactiva inductiva, todos los valores obtenidos evidencian que la instalación cuenta con algún tipo de banco de baterías para realizar compensación de la energía reactiva, mejorar el  $\cos \phi$  y así disminuir la energía reactiva consumida. De hecho, no se identifica ningún momento donde la energía reactiva inductiva consumida resulte en una penalización hacia la empresa. No obstante, este mismo equipo es el que podría producir los efectos indeseados de exceso de energía reactiva capacitiva en los periodos de bajo consumo. Si bien, en la actualidad la penalización de la energía capacitiva tiene un coste cero asociado mientras que la penalización de la reactiva inductiva si se refleja en sobrecostes para la empresa, es posible que en un futuro la penalización de capacitiva tenga un coste significativo. La forma de evitar este inconveniente es relativamente sencilla. Para solucionarlo se propone una de las siguientes actuaciones:

- Colocar un regulador de energía reactiva, que actúa sobre el banco de baterías. Lo que hace es modificar el valor de consigna del  $\cos \phi$ . El cambio de  $\cos \phi$  se realizará de forma automática según el periodo en el cual se encuentre. Se sugiere un equipo como el siguiente: Computer Smart III. Marca: Circutor (<https://circutor.com/>). Se adjunta en anexos la Hoja de datos.

- Colocar un compensador dinámico de reactiva. A modo de ejemplo se sugiere: Compensador electrónico de reactiva SVG-L. Fabricante: Lifasa. (<https://lifasa.com/>). Se adjunta en anexos la Hoja de datos.

Respecto al estado de la calidad del suministro eléctrico se puede indicar que, al analizar parámetros como la tensión y la frecuencia se hace evidente la necesidad de que esta evaluación sea en tiempo real, contar con valores promedios no resulta muy útil para este tipo de análisis. En este contexto, el equipo de monitorización toma especial importancia ya que pueden ser configuradas alarmas que den aviso en tiempo real cuando se exceden los valores establecidos por la norma. Se sugiere como actuación, alarmas de este tipo, que permitan detectar en tiempo real las variaciones en estos parámetros.

Al analizar los eventos relacionados a la reducción de tensión surgen dos aspectos; por un lado, el analizador de red instalado, genera un evento erróneamente al producirse la restitución de la tensión. Si bien esto no afecta a las mediciones, hace engorroso el tratamiento de los datos ya que aparecen muchos registros de huecos de tensión incorrectos. Por otro lado, en relación a las interrupciones, si bien se observa un máximo de interrupciones para marzo y para las 4:00 horas, se sugiere continuar llevando un registro de durante el 2022. Finalmente, se sugiere aplicar nuevamente esta metodología para ver si existen tendencias claras que permitan detectar momentos de mayor ocurrencia de estos fenómenos una vez se cuente con mayor cantidad de registros recolectados al final del año.

## BILIOGRAFIA

- AENOR. (2001). *UNE-EN-50160-2001 Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*. Asociación Española de Normalización y Certificación., UNE-EN-50160-2001.
- Bachiller, J. (2009). *Energía en el Mediterráneo: crecimiento sostenible e integración regional*. Afkar ideas: Revista trimestral para el diálogo entre el Magreb, España y Europa, (22), 20.
- Buera, J. (2012). *Análisis y optimización de la factura eléctrica como ejemplo de servicio energético de consultoría*. II Congreso de Servicios Energéticos, Barcelona.
- Chaves, J., Gómez San Roman, T., & Morell, N. (2021). *La electricidad en España: formación del precio, composición de la factura y comparativa con otros países*. Disponible en: [https://www.iit.comillas.edu/documentacion/IIT-21-2201/La\\_electricidad\\_en\\_España:\\_formación\\_del\\_precio,\\_composición\\_de\\_la\\_factura\\_y\\_comparativa\\_con\\_otros\\_países.pdf](https://www.iit.comillas.edu/documentacion/IIT-21-2201/La_electricidad_en_España:_formación_del_precio,_composición_de_la_factura_y_comparativa_con_otros_países.pdf) [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2020). *Circular 3/2020, de 15 de enero, por la que se establece la metodología para el cálculo de los peajes de transporte y distribución de electricidad*. Boletín Oficial del Estado. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-1066](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-1066)
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2021a). *La nueva factura de la luz: INDUSTRIAS (tarifas 6.1 a 6.4)*. Disponible en: <https://www.cnmc.es/la-nueva-factura-de-la-luz> [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2021b). *Resolución de 16 de diciembre de 2021, por la que se establecen los valores de los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución de electricidad de aplicación a partir del 1 de enero de 2022*. Boletín Oficial del Estado. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-4565](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-4565)
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2021c). *Resolución de 18 de marzo de 2021, por la que se establecen los valores de los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución de electricidad de aplicación a partir del 1 de junio de 2021*. Boletín Oficial Del Estado. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-4565](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-4565)
- Departamento de empresa y conocimiento. (2013). *RESOLUCIÓN EMC/2821/2020, de 3 de noviembre, por la que se hace pública la Instrucción 3/2020, de 30 de julio, sobre el procedimiento de verificación por reclamación de contadores de energía eléctrica, gas y agua de Cataluña*. Diari Oficial de La Generalitat de Catalunya.
- Energía y sociedad. (2022). *Manual de la Energía*. <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/energia-y-sociedad/> [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Furió, J. (2020). *Penalización Energía Reactiva Capacitiva ¿Cómo se va a aplicar?* <https://cavoenergias.com/penalizacion-energia-reactiva-capacitiva-como-se-va-a-aplicar/#:~:text=La nueva penalización se aplicará,0%2C05 €%2FkVAch>. [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]

- Gauna, E.M.M. (2019). *Potencia eléctrica*.  
[https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/b\\_sahagun/2019/emmg-electricidad-2.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/b_sahagun/2019/emmg-electricidad-2.pdf) [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Grupo ASE. (2021). *ESTUDIO COMPARATIVO: Impacto económico del nuevo sistema de tarifas en la industria manufacturera española*. El Colegio de México.  
[https://www.grupoase.net/impacto\\_nuevo\\_sistema\\_tarifas\\_acceso\\_sector\\_industrial.pdf](https://www.grupoase.net/impacto_nuevo_sistema_tarifas_acceso_sector_industrial.pdf)  
[Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Institut Català d'Energia. (2021). *Eina per l'optimització de la potencia contractada*.  
[https://icaen.gencat.cat/web/.content/50\\_Actualitat/51\\_noticies/2021/enllacos-eina/20210714\\_Eina-do-optimitzacio-de-la-potencia-contractada.pdf](https://icaen.gencat.cat/web/.content/50_Actualitat/51_noticies/2021/enllacos-eina/20210714_Eina-do-optimitzacio-de-la-potencia-contractada.pdf) [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Instituto Nacional de Estadística. (2021). *Cuentas medioambientales*. Cuenta de los Flujos Físicos de la Energía (Vol. 2019).
- Instituto Nacional de Estadística. (2022). *Índice de Precios Industriales*. Base 2015 Mayo 2022. Datos provisionales.
- Llanos Matea Rosa, M. de los, Martínez Casares, F., & Vázquez Martínez, S. (2021). *El coste de la electricidad para las empresas españolas*. Boletín Económico. Artículos Analíticos, 1/2021, 17.  
[https://www.bde.es/bde/es/secciones/informes/boletines/Boletin\\_economic/](https://www.bde.es/bde/es/secciones/informes/boletines/Boletin_economic/) [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Markiewicz, H., & Klanj, A. (2004). *Perturbaciones de Tensión*. Leonardo Power Quality Initiative.
- Martínez, R. C., & Gómez San Román, T. G. (2006). *Calidad de producto de la energía eléctrica: huecos e interrupciones breves (I/II)*. En *anales de mecánica y electricidad*.
- Ministerio de Industria Comercio y Turismo. (2020). *Orden ICT/155/2020 Control Metrológico*. BOE. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-2573](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-2573)
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2020). *La Energía en España 2018*.  
<https://energia.gob.es/balances/Balances/Paginas/Balances.aspx> [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2021). *Real Decreto 148/2021, de 9 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los cargos del sistema eléctrico*. Boletín Oficial Del Estado, 26798–26800.
- Muzzammil, M., Alam, J., & Zakwan, M. (2015). *An optimization technique for estimation of rating curve parameters*. *National symposium on hydrology* (Vol. 2015).
- Ondina, P. Á., & de Aldecoa Fuster, J. I. (2022). *El encarecimiento de la energía y su impacto en la industria manufacturera: ¿a qué sectores está afectando más?*  
<https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/industria/encarecimiento-energia-y-su-impacto-industria-manufacturera-sectores> [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]

- Selectra. (2022). *Derechos de extensión, enganche y acceso: cuándo se pagan y precio*. <https://tarifasgasluz.com/gestiones/dar-alta-luz/derechos> [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Som Energía. (2022). *Tarifas de electricidad*. <https://www.somenergia.coop/es/tarifas-de-electricidad/#Empresa-industria> [Fecha de consulta: 22 de julio de 2022]
- Vandeput, N. (2021). *Data Science for Supply Chain Forecasting*. Data Science for Supply Chain Forecasting. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110671124>
- Yusta Loyo, J. M. (2017). *Contratación de electricidad en administraciones públicas*. Departament o de ingeniería eléctrica, Universidad de Zaragoza.

# ANEXO I. Hoja de datos

## HOJA DE DATOS CVM1500:

### CVM-A1500-ITF-485-ICT2

Analizador de redes para panel con medida de parámetros de calidad de suministro

Código: M56311.



### Especificaciones

#### Alimentación en alterna

Categoría de la instalación	CAT III 300 V
Consumo	máx. 29.4 VA
Frecuencia	45 ... 65Hz
Tensión nominal	100...240 V ~

#### Alimentación en continua

Categoría de la instalación	CAT III 300 V
Consumo	máx. 11.9 W
Tensión nominal	120 ... 300 Vcc

#### Características mecánicas

Tamaño (mm) ancho x alto x fondo	144.7 x 144.7 x 131.1 (mm)
Envolvente	Plástico UL94-V0 autoextinguible
Fijación	Panel (DIN 43700) 138x138
Peso Neto (kg)	0,79

#### Características ambientales

Grado de protección montar)	IP 40 (Frontal), IP 65 (Junta estanqueidad), IP 30 (sin montar)
Humedad relativa (sin condensación)	5 ... 95%
Temperatura de almacenamiento	-20... +80 °C
Temperatura de trabajo	-10...+50 °C

#### Normas

Certificaciones	UL/CSA 61010-1 3rd edition
Seguridad eléctrica, Altitud máx. (m)	2000
Normas 2, IEC 664, UNE-EN 55022,	UNE EN 61010, UNE EN 61000-6-4, UNE EN 61000-6- Medidas conforme a : IEC 61557-12

## Circuito de medida de corriente

Categoría de la instalación	CAT III 600 V
Corriente nominal (In)	.../5A, .../1A, .../0.250A
Margen medida corriente de fase (.../0.250A)	0.01...10A (.../5A), 0.01...2A (.../1A), 0.01...0.5A
Margen medida corriente de neutro	0.02...0.5A (.../0.250A, calculada)
Consumo máx. en entrada de corriente	0,9 VA
Corriente máxima de impulso	100 A
Corriente mínima de medida	0,01 A (.../5A, .../1A, .../0,250A

## Circuito de medida de tensión

Categoría Instalación	CAT III 600V
Impedancia entrada	1.2M $\Omega$
Margen medida frecuencia	40...70 Hz
Margen medida tensión	20...600 V $\sim$
Consumo máx. entrada tensión	0,15 VA
Tensión mín. medida (Vstart)	10 V $\sim$

## Comunicaciones

Bus de campo (BACnet)	MS/TP
Bus de campo (ModBus)	RS-485 / RTU
Bits Stop (BACnet)	1
Bits Stop (ModBus)	1-2
Paridad (BACnet)	sin
Paridad	sin - par - impar ((ModBus)
Protocolo	ModBus/BACnet
Velocidad	9600-19200-38400-57600-76800-115200

## Interface usuario

LED	3 LED
Resolución display	VGA (640x480)
Teclado	Capacitivo, 3 teclas
Tipo display	TFT color

## Entradas digitales

Aislamiento	4 kV
Cantidad	2
Tipo	Contacto libre de potencial
Corriente máx. en cortocircuito	5 mA
Tensión máx. en circuito abierto	15 Vcc

## Salidas digitales de relé

Vida eléctrica (a máx. carga)	3x10 <sup>4</sup> ciclos
Vida mecánica	1x10 <sup>7</sup> ciclos
Potencia máxima de conmutación	1500 VA

## Salidas digitales de transistor

Anchura pulso	1 ms
Cantidad	2
Duración pulso (Ton/Toff)	0,3 ms/0,7 ms
Frecuencia máxima	1 kHz
Corriente máxima	130mA
Tensión máxima	48 Vdc

## Precisión de medidas

Asimetría de corriente (Ka)	Clase A (IEC 61000-4-30)
Asimetría de tensión (Ka)	Clase A (IEC 61000-4-30)
Desequilibrio de corriente (Kd)	Clase A (IEC 61000-4-30)
Desequilibrio de tensión (Kd)	Clase A (IEC 61000-4-30)
Medida de frecuencia	Clase 0.02 (.../5A, .../1A, .../0.250A)
Medida de corriente de fase (.../1A), 0.01...0.3A (.../0.250A)	clase 0.2 ±1 dígito 0.05...8A (.../5A), 0.01...1.2A (
Medida de corriente de neutro .../1A), calculada (.../0.250A)	clase 1 ±1 dígito 0.05...6A (.../5A), 0.01...1.2A (
Medida de energía reactiva (kvarh) .../0.250A)	(IEC 62053-23) Clase 1 (.../5A), clase 2 (.../1A,
Medida de potencia reactiva (kvar)	(Vn 230/110 Vca) clase 1 ±1 dígito 0.05...6A (.../5A), 0.01...1.2A (.../1A), 0.01...0.3A (.../0.250A)
Medida de potencia aparente (kVA)	(Vn 230/110 Vca) clase 0.5 ±1 dígito 0.05...6A (.../5A), 0.01...1.2A (.../1A), 0.01...0.3A (.../0.250A)
Medida de energía activa (kWh) (.../1A), Clase 0.5S (.../0.250A)	(IEC 62053-22) Clase 0.2S (.../5A), Clase 0.5S
Medida de potencia activa (kW)	(Vn 230/110 Vca) clase 0.5 ±1 dígito 0.05...6A (.../5A), 0.01...1.2A (.../1A), 0.01...0.3A (.../0.250A)
Medida factor de potencia	Clase 0.5 (.../5A, .../1A, .../0.250A)
THD de corriente	Clase 1 (.../5A), clase 2 (.../1A, .../0.250A)
THD de tensión	Clase 1 (.../5A, .../1A, .../0.250A)
Medida de tensión de fase .../0.250A)	clase 0.2 ±1 dígito (20...600 Vca, .../5A, .../1A,
Medida de tensión de neutro .../0.250A)	clase 0.5 ±1 dígito (50...600 Vca, .../5A, .../1A,
Pinst. Flicker	3 % (IEC 61000-4-15)
Pst Flicker	5 % (0,2...10 Pst) (IEC 61000-4-15)
Armónicos de corriente (THD)	Clase 1 (.../5A), clase 2 (.../1A, .../0.250A)
Armónicos de tensión (THD)	Clase 1 (.../5A, .../1A, .../0.250A)

## HOJA DE DATOS COMPUTER SMART IIII:

### Computer SMART III 12. Código: R13862.



Regulador energía reactiva trifásico. Regulación, medida, control de fugas y comunicaciones

#### Especificaciones

##### Alimentación en alterna

Categoría de la instalación	CAT III 300 V
Consumo	13 ... 20 VA
Frecuencia	50 ... 60 Hz
Tensión nominal	100 ... 520 V ~

##### Características mecánicas

Tamaño (mm) ancho x alto x fondo	144 x 144 x 71 (mm)
Envolvente	Plástico V0 autoextinguible
Fijación	Panel
Peso Neto (kg)	0,6

##### Características ambientales

Grado de protección	IP 51 (Frontal), IP 31 (sin montar)
Humedad relativa (sin condensación)	5 ... 95%
Temperatura de almacenamiento	-20 ... +70 °C
Temperatura de trabajo	-10 ... +55 °C

##### Circuito de medida de corriente

Corriente nominal (In)	.../5A ó .../1A
Margen medida corriente de fase	1 ... 120 % In
Corriente mínima de medida	50 mA

##### Circuito de medida de tensión

Categoría Instalación	CAT III 300 V
Frecuencia muestreo	45 ... 65 Hz
Impedancia entrada	660 kΩ
Margen medida frecuencia	45 ... 65 Hz
Margen medida tensión	20... 300V F-N, 35...520V F-F
Tensión nominal	230 V F-N, 400 V F-F
Tensión mín. medida (Vstart)	20 V F-N, 35 V F-F

## Comunicaciones

Bus de campo (ModBus)	RS-485
Bits Stop (ModBus)	1-2
Paridad	sin - par - impar
Protocolo	Modbus RTU
Velocidad	9600-19200

## Normas

Normas	IEC 61010, IEC 61000-6-2, IEC 61000 6-4, Medidas conforme a : IEC 61557-12
--------	--

## Interface usuario

LED	4 LED
Teclado	Capacitivo, 5 teclas
Tipo display	LCD Custom COG

## Entradas digitales

Aislamiento	Optoaislado
Cantidad	2
Tipo	Contacto libre de potencial

## Medida de corriente de fugas (ID)

Corriente nominal de secundario	0,003 A
Corriente mínima de medida (Istart)	10 mA
Rango medida	0,01 ... 1,5 A

## Salidas digitales de relé

Cantidad	14 (12 salidas, 1 ventilador, 1 alarma)
Corriente máxima	1A
Tensión máxima de contactos abiertos	1 kV
Vida eléctrica	30 x 10 <sup>3</sup> ciclos
Vida mecánica	5 x 10 <sup>6</sup> ciclos
Potencia máxima de conmutación	2500 VA

## Salidas digitales de transistor

Cantidad	2
Tipo	NPN
Corriente máxima	50 mA
Tensión máxima	24 Vcc

## Precisión de medidas

---

Medida de corriente de fase	0.5% ± 1 dígito
Medida de energía reactiva (kvarh)	Clase 2
Medida de potencia reactiva (kvar)	1% ± 2 dígitos
Medida de energía activa (kWh)	Clase 1
Medida de potencia activa (kW)	0.5% ± 2 dígitos
Medida de tensión de fase	0.5% ± 1 dígito

## HOJA DE DATOS: Compensador electrónico de reactiva SVG-L

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS / TECHNICAL CHARACTERISTICS

MODELO MODELS	SVGL3480030W	SVGL3480060W	SVGL3480100W SVGL4400100W SVGL4400100R	SVGL3480100C	SVGL3480200C	SVGL3480300C	SVGL3480400C
	SVGL4400030W	SVGL4400060W	SVGL4400100R	SVGL4400100C	SVGL4400200C	SVGL4400300C	SVGL4400400C
	Tipo Mural / Wall type			Tipo Armario / Cabinet type			
Consumo máximo / Maximum consumption	650 W	1300 W	2070 W	2070 W	4140 W	6210 W	8280 W
Corriente máxima 3W (RMS) / Maximum current 3W (RMS)	44 A	88 A	145 A	145 A	290 A	435 A	580 A
Corriente máxima 4W (RMS) / Maximum current 4W (RMS)	30 A	60 A	100 A	100 A	200 A	300 A	400 A
Potencia máxima (V) Power 4W (400 V)	30000 VA 20700 VA	60000 VA 41400 VA	100000 VA 69000 VA	100000 VA 69000 VA	200000 VA 138000 VA	300000 VA 207000 VA	400000 VA 276000 VA
Peso / Weight	21 kg	39 kg	56 kg	190 kg	245 kg	300 kg	355 kg
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS / ELECTRICAL FEATURES</b>							
Voltaje nominal (Fase- Fase) / Rated voltage (Ph-Ph)	( 3 W ): 230 ... 480 V. c.a. F-F ± 10% / ( 4 W ): 230 ... 400 V. c.a. F-F ± 10%						
Frecuencia / Frequency	50 Hz / 60 Hz ± 5%						
Sistema de Earthing tierras system	TN, TT						
THD V Maximum máximo / THD V	25%						
Nivel de Noise Level ruido /	< 58 dBA	< 60 dBA	< 60 dBA	< 60 dBA	< 63 dBA	< 66 dBA	< 69 dBA
Número de fases/ Number of phases	3 fases sin neutro (3 W) / 3 fases con neutro (4 W) / 3 phases without neutral wire (3 Wires) / 3 phases with neutral wire (4 Wires)						
Medida de corriente / Current measurement	.../5A, Clase 1 o (0,5...0,2)			.../5A, Class 1 or (0,5... 0,2, 0,2S)			
	frecuencia hasta 2500 Hz/3000Hz (60 Hz)			frequency up to 2500Hz/3000Hz (60 Hz)			
<b>CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO / FILTER CHARACTERISTICS</b>							
Controlador Controller /	Digital, DSP						
Tiempo de respuesta del transitorio / Transient response time	< 0.1 ms						
Protección envolvente / Protection degree	IP20 (u otros grados de protección previa solicitud) IP20 (or other upon request)						
Limitador de corriente / Current limitation	Protección contra sobrecorriente por limitación de corriente en el valor nominal Protection from over current by current limitation at filter rated value						
Visualización pantalla táctil Graphic display panel	Color TFT Touch screen 3,5" . Web Server and Data logger						
<b>COMUNICACIÓN / COMMUNICATION</b>							
Interfaz / Interfase	RS-485						
Protocolo / Protocol	MODBUS RTU						
Velocidad en baudios / Baud rate	9600						
Tipo de Type of paridad / parity	ninguno, impar, None, odd, even par /						
Ethernet	TCP/IP, Modbus TCP						
<b>CONEXIONADO / INSTALLATION</b>							
	Anchura máxima borne anilla M6		Anchura máxima borne anilla M8		Anchura máxima borne anilla M10		
Red / Grid	12 mm		23 mm <sup>2</sup>		-		
Tierra / Ground	16 mm		-		Maximum ring width 23 mm		
Par de Tightening apriete: / torque:	2,2-2,4 Nm		8-10 Nm		10-14 Nm		
CTs	Conector 6 polos, conductor máximo / maximum cable corss section: 2,5 mm <sup>2</sup> .   Par de apriete / Tightening torque: 0,5...0,6 Nm						
RS-485	Conector 3 polos. Conductor máximo/ maximum cable corss section: 2,5 mm <sup>2</sup> .   Par de apriete / Tightening torque: 0,5...0,6 Nm						
Ethernet	RJ45						
<b>NORMAS / STANDARDS</b>							
Seguridad / Safety Standard	IEC 55011:2011; EN 62477-1:2012; IEC 61439-1:2011						
Compatibilidad electromagnética / Electromagnetic Compatibility	EN61000-6-4:2007, EN61000-6-2:2006						

CONDICIONES AMBIENTALES / <i>ENVIROMENTAL CONDITIONS</i>	
Condiciones medioambientales <i>Environmental conditions</i>	Indoor conditioned IEC 60721-3-3
Temperatura de funcionamiento <i>Operating temperature</i>	-10°C...+ 45 °C
Temperatura de almacenaje <i>Storage temperature</i>	-20 °C...+ 50 °C
Categoría de sobretensión <i>Overvoltage category</i>	OVC III 300V
Humedad relativa / <i>Relative humidity</i>	0%...95% sin condensación <i>0%...95% without condensation</i>
Altitud / <i>Operating altitude</i>	< 3000 metros (2000 metros sin reducción de capacidad) < <i>3000 meters (2000 meters without reduce capacity)</i>

# ANEXO II. Penalización por energía reactiva capacitiva:

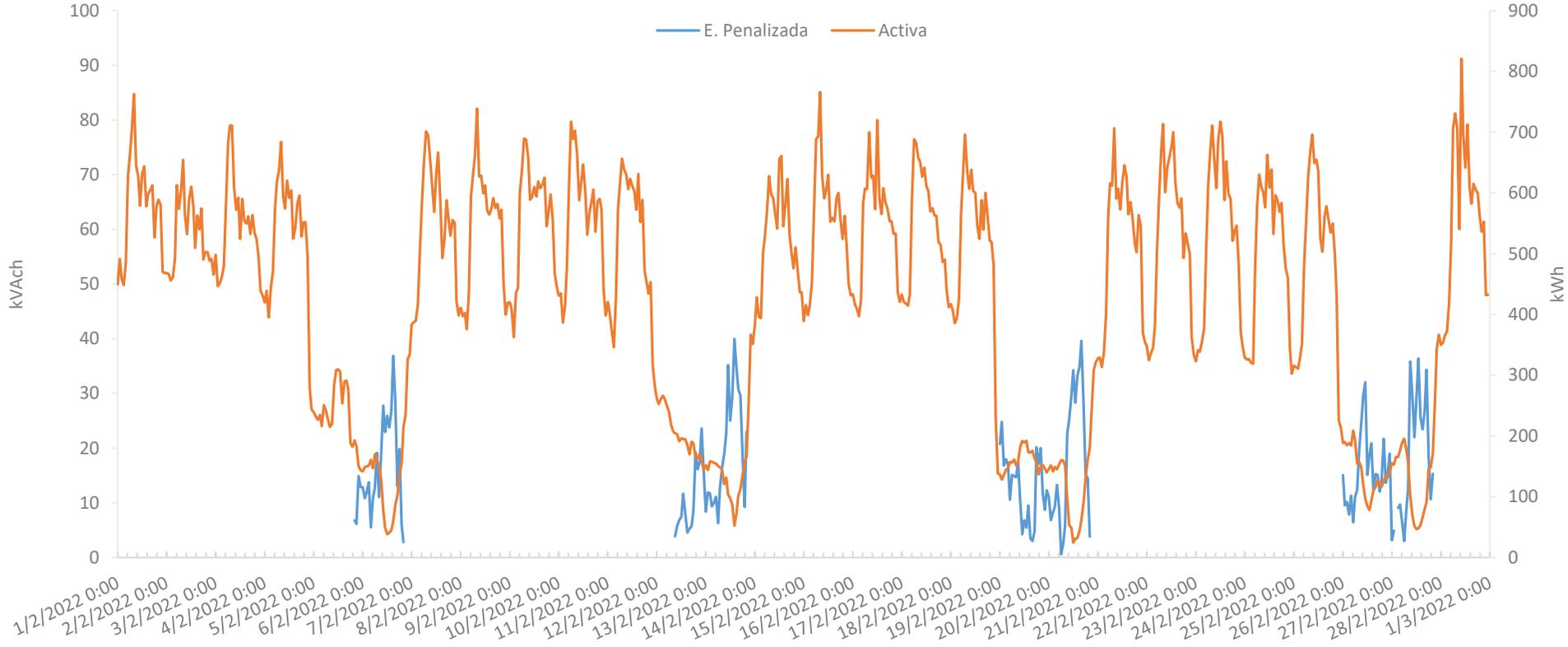
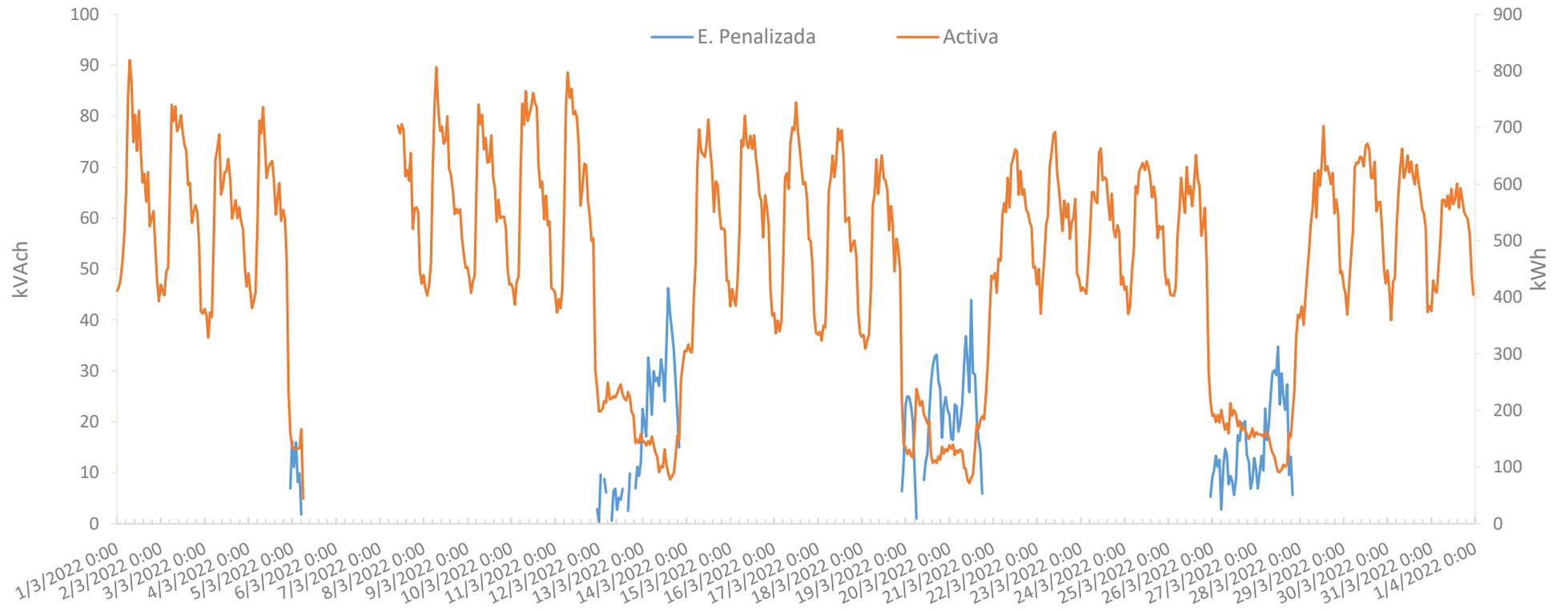
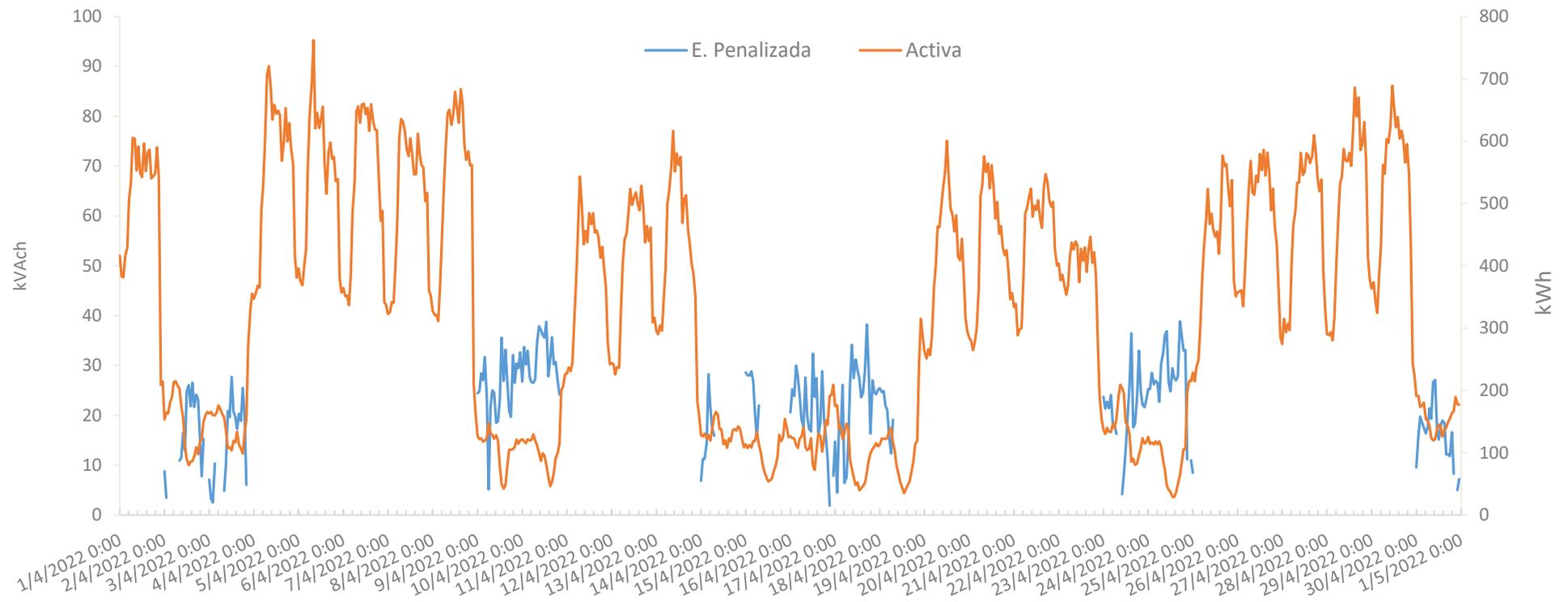


Figura A.2.1 Penalizaciones por energía capacitiva Febrero



**Figura A.2.2 Penalizaciones por energía capacitiva Marzo**



**Figura A.2.3 Penalizaciones por energía capacitiva Abril**