

María Valls Gómez

**Análisis del consumo eléctrico de una planta industrial
para su disminución**

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por el Dr. Luis Guasch Pesquer**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2021

María Valls Gómez

**Análisis del consumo eléctrico de una planta industrial
para su disminución**

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por el Dr. Luis Guasch Pesquer**

ÍNDICE

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2021

Índice

1	Memoria	1
1.1	Objeto.....	1
1.2	Alcance	1
1.3	Antecedentes.....	1
1.4	Normas y referencias.....	2
1.5	Definiciones y abreviaturas	3
1.6	Requisitos de diseño.....	3
1.7	Análisis de soluciones	5
1.8	Resultados finales	14
2	Anexos.....	1
2.1	Ficha técnica analizadores de redes	1
2.2	Ficha técnica motores ABB.....	3
2.3	Listado de precios 2019 motores ABB.....	5

María Valls Gómez

**Análisis del consumo eléctrico de una planta industrial
para su disminución**

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por el Dr. Luis Guasch Pesquer
MEMORIA**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2021

Índice

1	Memoria	1
1.1	Objeto.....	1
1.2	Alcance	1
1.3	Antecedentes.....	1
1.3.1	Selección de las unidades productivas	1
1.3.2	Decisiones sobre la delimitación temporal del estudio	1
1.4	Normas y referencias.....	2
1.4.1	Disposiciones legales y normas aplicadas.....	2
1.4.2	Programas de cálculo	2
1.4.3	Plan de gestión de la calidad aplicada durante la redacción del proyecto ...	3
1.4.4	Bibliografía	3
1.4.5	Otras referencias	3
1.5	Definiciones y abreviaturas	3
1.6	Requisitos de diseño.....	3
1.6.1	Organización de las unidades productivas	3
1.6.2	Analizador de redes	4
1.6.3	Adquisición de los datos de energía.....	5
1.7	Análisis de soluciones	5
1.7.1	Períodos de tiempo analizados	5
1.7.2	Unidades productivas	5
1.7.2.1	Evaluación en P1	6
1.7.2.2	Evaluación en P2	7
1.7.2.3	Evaluación en P2 y P3.....	8
1.7.2.4	Conclusiones	8
1.7.3	Subunidades productivas.....	9
1.7.3.1	Subunidades de U1 y U2 en P1	9
1.7.3.2	Subunidades de U5 y U6 en P2.....	10
1.7.3.3	Subunidades de U7 en P3	11
1.7.3.4	Conclusiones	11
1.7.4	Propuestas para la disminución del consumo eléctrico.....	12
1.7.5	Ahorro de energía eléctrica	13
1.8	Resultados finales	14
1.8.1	Diseño del código y tratamiento de datos.....	14
1.8.2	Definición de los periodos de tiempo analizados	18

1.8.3 Análisis general de las unidades productivas	19
1.8.3.1 Análisis general de las unidades productivas en P1	19
1.8.3.2 Análisis general de las unidades productivas en P2	27
1.8.4 Análisis pormenorizado de las unidades productivas.....	35
1.8.4.1 Análisis de las subunidades de U1 y U2 en P1	36
1.8.4.2 Análisis de las subunidades de U5 y U6 en P2	39
1.8.4.3 Análisis de la subunidad de U7 en P3	40
1.8.5 Análisis de propuestas para la disminución del consumo eléctrico	43
1.8.5.1 Propuesta de mejora para U1 y U2	43
1.8.5.2 Propuesta de mejora para U7	48
1.8.6 Cuantificación del ahorro de energía eléctrica.....	52

1 Memoria

1.1 Objeto

El objeto del presente Trabajo de Fin de Máster se basa en la realización del análisis del consumo de energía eléctrica de una planta industrial con el fin de establecer una serie de acciones de mejora o soluciones técnicas que repercutan en la disminución de dicho consumo.

1.2 Alcance

Las tareas llevadas a cabo en este trabajo han sido:

- Adquisición de los datos de consumo eléctrico de las unidades productivas de la planta industrial objeto de estudio.
- Análisis de los datos adquiridos para identificar las unidades productivas de mayor consumo eléctrico.
- Delimitación temporal del estudio.
- Determinación de acciones de mejora para disminuir el consumo eléctrico en las unidades anteriores.
- Estudio de la repercusión de las modificaciones de disminución de consumo planteadas.

1.3 Antecedentes

Este trabajo se basa en un proceso productivo real y los datos de partida de la planta industrial objeto de estudio también están basados en la realidad.

1.3.1 Selección de las unidades productivas

Dentro de una planta industrial existe una gran diversidad de equipos y maquinaria que consumen energía eléctrica para poder desarrollar su actividad dentro del sector al que pertenezca, desde motores de gran potencia hasta equipos de laboratorio como básculas o incluso las luminarias de la fábrica en cuestión.

En este caso, la planta productiva objeto de estudio dispone de diferentes unidades productivas instaladas que conforman el conjunto de cargas que representan la mayor parte del consumo energía eléctrica.

Por lo tanto, para acotar el estudio de la disminución de consumo eléctrico en una fase inicial, se seleccionan las unidades productivas cuyas cargas principales tengan una potencia instalada superior a 100 kW.

1.3.2 Decisiones sobre la delimitación temporal del estudio

Para poder realizar un análisis del consumo de energía eléctrica significativo para las unidades productivas principales, se ha de contextualizar el proceso de estudio previo que se ha llevado a cabo en la planta industrial.

En la Figura 1.1 se encuentra el cronograma con las actividades relevantes para el comienzo del presente trabajo.

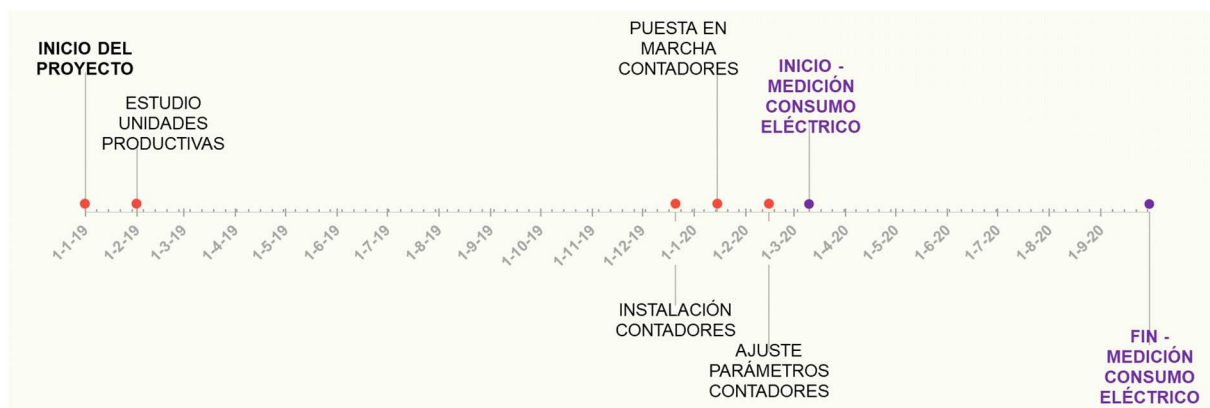


Figura 1.1. Cronograma de las principales actividades del estudio previo del proyecto.

Si se analiza la Figura 1.1, se puede ver como la fase de selección de las unidades productivas objeto de estudio conlleva prácticamente 1 año, siendo en diciembre de 2019 cuando se realiza la instalación de los elementos que recopilan los datos de energía eléctrica consumida.

Es así como durante los meses de enero y febrero de 2020 se realiza la puesta en marcha de estos analizadores y es a partir de marzo de 2020, más concretamente del 10 de marzo de dicho año, cuando se empiezan a recopilar los datos de consumo eléctrico hasta el día de hoy que continúan en funcionamiento.

Por ello, para la realización del análisis objetivo principal de este trabajo, se toma una muestra representativa de tiempo para obtener valores lo más reales posibles. En este caso, tomando los datos desde marzo de 2020 hasta septiembre de 2020 (ambos incluidos) se dispone una muestra temporal de 205 días en total.

Se toma la decisión de cerrar el periodo de recopilación de datos en septiembre de 2020 ya que a partir de octubre de 2020 se comienza con este trabajo, y así la muestra de datos no sería variable a lo largo de toda la fase de tratamiento de datos.

1.4 Normas y referencias

1.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico, UNE 157001.

1.4.2 Programas de cálculo

Para el tratamiento y análisis de los datos se ha utilizado principalmente el programa Matlab® y Microsoft Excel®.

1.4.3 Plan de gestión de la calidad aplicada durante la redacción del proyecto

Este apartado no es de aplicación en el presente trabajo.

1.4.4 Bibliografía

Este apartado no es de aplicación en el presente trabajo.

1.4.5 Otras referencias

[1] Selección de motores ABB. <https://selector.drivesmotors.abb.com/?lang=es-ES>

1.5 Definiciones y abreviaturas

A continuación se definen los siguientes conceptos que se utilizan en la redacción de este trabajo:

- Unidad productiva: se refiere al conjunto de máquinas o equipos objeto de estudio del consumo de energía eléctrica de este trabajo.
- Subunidad productiva: se refiere a máquinas o equipos que conforman una unidad productiva.

Siguiendo con el trabajo, las abreviaturas utilizadas son:

- UX: se refiere a las unidades productivas analizadas, siendo X el dígito que se refiere a cada una de las unidades productivas en particular.
- SXY: se refiere a las subunidades productivas dentro de una unidad productiva, siendo X el dígito que se refiere a la unidad productiva e Y a la subunidad.
- CT: Centro de transformación.
- T: Transformador.
- AT: Alta tensión.

1.6 Requisitos de diseño

1.6.1 Organización de las unidades productivas

La instalación eléctrica de la planta objeto de estudio dispone de diferentes unidades productivas, a las que se ha denominado siguiendo la estructura mostrada en la Figura 1.2.

De la línea de alta tensión (AT), se alimentan dos centros de transformación (CT 1 y CT2) de los cuales se alimentan a su vez las diferentes cargas o consumidores eléctricos de la planta industrial.

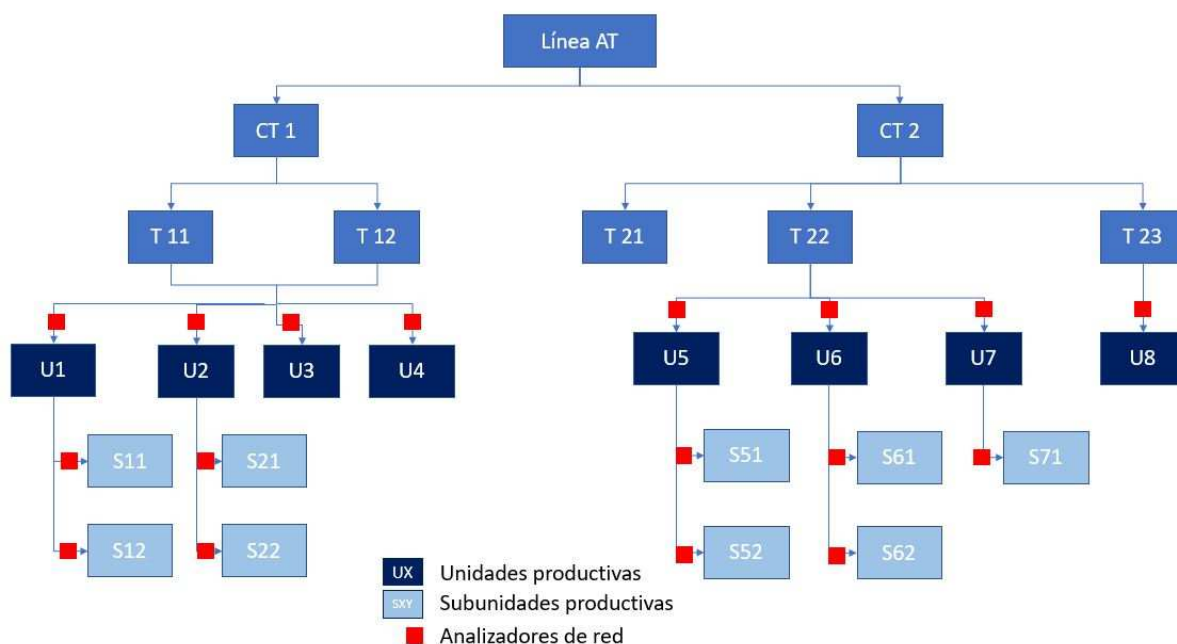


Figura 1.2. Esquema general de la instalación eléctrica de la planta industrial.

El CT1 dispone de dos transformadores (T11 y T12) conectados en paralelo que dan servicio a las unidades productivas U1, U2, U3 y U4, así como a sus respectivas subunidades productivas.

En el caso del CT2, alimenta 3 transformadores: T21, T22 y T23, a los secundarios de los cuales se conectan las unidades productivas U5, U6 y U7 de T22, y U8 de T23. De cada unidad se alimentan sus respectivas subunidades productivas.

En la Figura 1.2 también se observa la ubicación de los analizadores de redes instalados actualmente en la planta, representados mediante un cuadrado rojo. Como se observa, se instaló un analizador en todas las unidades y subunidades productivas de la planta que se van a estudiar en este trabajo.

Por último, cabe destacar que en la Figura 1.2 no se muestran cargas de pequeña potencia conectadas a las diferentes unidades.

El criterio seguido para la implantación de analizadores en las subunidades fue considerar únicamente las cargas con potencias nominales superiores a 100 kW.

1.6.2 Analizador de redes

Todos los analizadores de redes instalados en la planta (17 en total) son del modelo CEM C31 de la marca Circutor, de los cuales se encuentra la ficha técnica en el Anexo 2.1 de este trabajo.

Las características más significativas del analizador de redes para este estudio son:

- Tipo de fichero de datos: .csv
- Campos de datos: energía activa y energía reactiva.
- Frecuencia de muestras: 15 minutos.

Estos analizadores, tal y como se ha expuesto en el apartado anterior, serán instalados para las cargas de más de 100 kW de potencia instalada de las unidades productivas principales de la planta industrial objeto de estudio.

1.6.3 Adquisición de los datos de energía

En total se dispone de 17 analizadores de redes, y cada uno de ellos recoge 2 datos de energía durante el período de medición, con una frecuencia de 15 minutos.

Un requisito de este trabajo es convertir el fichero original de datos en una matriz de con la información de todos los analizadores en formato Matlab®, para su posterior tratamiento y análisis.

1.7 Análisis de soluciones

En este apartado se analizan las principales conclusiones y resultados que se han obtenido a lo largo de todo el desarrollo del estudio para la disminución del consumo de energía eléctrica. El procedimiento y cálculos que dan soporte a la información recopilada a continuación, se encuentran descritos paso a paso en el apartado 1.8 de este trabajo.

1.7.1 Períodos de tiempo analizados

Inicialmente el período de adquisición de datos para todos los analizadores era de 205 días, concretamente entre el 10 de marzo de 2020 y el 30 de septiembre de 2020 (ambos incluidos). Una vez adquiridos los datos de cada analizador, se comprobó que alguno de ellos no registró información durante parte de este período, o que los datos registrados son incorrectos.

En la Tabla 1.1 se muestran los períodos registrados para cada uno de los 17 analizadores.

Tabla 1.1. Periodos de tiempo para la realización del análisis del consumo eléctrico.

Periodos de análisis	Duración (días)	Inicio (día)	Final (día)	Unidades analizadas	Subunidades analizadas
P1	205	1	205	U1, U2, U3, U4, U8	S11, S21
P2	25	140	165	U5, U6	-
P3	25	180	205	U7	S71

Más adelante, durante el desarrollo del apartado 1.8 en el que se irán estudiando cada uno de los analizadores, se justificará la selección de cada uno de estos periodos.

1.7.2 Unidades productivas

Para obtener un ahorro energético general de la planta, se ha tomado como primer objetivo seleccionar las unidades productivas que consumen más energía eléctrica.

El análisis general realizado para las unidades productivas vistas en la Figura 1.2 se divide en dos debido a los periodos de análisis: P1 y P2. Para cada uno de estos periodos se han obtenido los consumos de energía eléctrica consumida para cada unidad productiva, y a continuación se resumen los valores y conclusiones extraídas en cada caso.

1.7.2.1 Evaluación en P1

En la Tabla 1.2 se encuentran los valores totales absolutos de energía eléctrica consumida por cada una de las unidades productivas, así como los valores relativos de cada una de ellas respecto del consumo de energía eléctrica total para el periodo P1.

Tabla 1.2. Energías absolutas y relativas obtenidas de las unidades productivas durante el periodo P1.

Unidades productivas	<i>Energías totales consumidas – P1 205 días</i>			
	Activa (MWh)	Activa (%)	Reactiva (Mvarh)	Reactiva (%)
U1	656	5%	227	4%
U2	1502	11%	407	6%
U3	11	0%	12	0%
U4	127	1%	1	0%
U5	414	3%	102	2%
U6	509	4%	83	1%
U7	10230	76%	5630	87%
U8	1	0%	0	0%
TOTAL	13450	100%	6461	100%

De la Tabla 1.2, y de los perfiles de consumo presentados en el apartado 1.8.3.1, las primeras conclusiones que extraemos son las siguientes:

- **U1 y U2** → el consumo de energía eléctrica es representativo de ambas unidades y su perfil de consumo evaluado es bastante estable.
- **U3, U4 y U8** → el consumo de energía eléctrica de estas unidades es muy bajo en relación con las demás.
- **U5 y U6** → Aparentemente poseen unos valores de energía eléctrica consumida comparable con otras unidades como por ejemplo U1, pero viendo sus perfiles de consumo en la Figura 1.13 y Figura 1.14 respectivamente, se puede ver como sólo se poseen datos de consumo durante un corto periodo de tiempo P2. Por lo tanto, se establece P2 para el siguiente análisis de todas las unidades para evaluar su consumo de energía eléctrica.
- **U7** → Representa casi el consumo de energía eléctrica total de la planta industrial. Durante el estudio del perfil de consumo de esta unidad se localiza una zona con grandes picos de potencia consumida, por lo que se deben estudiar en P2 para comprobar de dónde provienen.

Por lo tanto, tras las valoraciones de cada uno de los puntos anteriores sobre las unidades productivas, se decide realizar el análisis de todas ellas en el periodo P2 para evaluar su comportamiento.

1.7.2.2 Evaluación en P2

Del mismo modo que en el apartado anterior, en la Tabla 1.3 se encuentran los valores totales absolutos de energía eléctrica consumida de cada una de las unidades productivas, así como los valores relativos de cada una de ellas respecto del consumo de energía eléctrica total para el periodo P2.

Tabla 1.3. Energías absolutas y relativas obtenidas de las unidades productivas durante el periodo P2.

Unidades productivas	<i>Energías totales consumidas – P2 25 días (140-165)</i>			
	Activa (MWh)	Activa (%)	Reactiva (Mvarh)	Reactiva (%)
U1	105	2%	36	1%
U2	189	3%	50	1%
U3	1	0%	1	0%
U4	19	0%	0	0%
U5	94	1%	19	1%
U6	100	2%	21	1%
U7	6158	92%	3390	96%
U8	0	0%	0	0%
TOTAL	6666	100%	3518	100%

Por lo que, de la tabla anterior, y de los perfiles de consumo presentados en el apartado 1.8.3.2, las primeras conclusiones que se extraen son las siguientes:

- **U1 y U2** → siguen manteniendo su perfil de consumo estable y el consumo de energía eléctrica es representativo de ambas unidades.
- **U3, U4 y U8** → el consumo de energía eléctrica de estas unidades sigue siendo muy bajo en relación con las demás.
- **U5 y U6** → En este caso, se puede evaluar cómo los perfiles de consumo de la Figura 1.21 y Figura 1.22 respectivamente y los datos de energía eléctrica consumida durante P2 son representativos de estas unidades, teniendo un consumo comparable a priori con las unidades U1 y U2.
- **U7** → Representa casi la totalidad del consumo de energía eléctrica total de la planta. Durante el estudio del perfil de consumo de esta unidad se puede ver en la Figura 1.23 que existen unas rampas de consumo que son desorbitadas para las cargas conectadas. Por lo tanto, se decide desestimar los datos del periodo P2 debido a que son un problema del analizador de redes instalado en esta unidad y subunidad. Para continuar con el estudio de esta unidad, se establece un nuevo periodo de medición P3.

1.7.2.3 Evaluación en P2 y P3

Entonces, si rehacemos la Tabla 1.3 con las energías de U7 actualizadas al periodo P3 y calculamos el valor relativo de las energías, podremos obtener una aproximación más real que lo calculado en la tabla anterior, teniendo así todas las unidades analizadas para periodos de la misma duración (25 días).

Tabla 1.4. Energías absolutas y relativas obtenidas de las unidades productivas durante el periodo P2, excepto U7 en P3.

Unidades productivas	Periodo análisis	<i>Energías totales consumidas en 25 días (P2 y P3)</i>			
		Activa (MWh)	Activa (%)	Reactiva (Mvarh)	Reactiva (%)
U1	P2	105	18%	36	20%
U2	P2	189	31%	50	28%
U3	P2	1	0%	1	0%
U4	P2	19	3%	0	0%
U5	P2	94	16%	19	11%
U6	P2	100	17%	21	12%
U7	P3	90	15%	53	29%
U8	P2	0	0%	0	0%
TOTAL		598	100%	180	100%

1.7.2.4 Conclusiones

Una vez recopilados todos los valores, y viendo el peso que tienen cada una de las unidades productivas respecto al consumo de energía activa, se obtienen las siguientes conclusiones para continuar con el estudio:

- **U1** → Se analizarán las subunidades de U1 en el periodo P1, ya que se dispone de valores de consumo representativos durante todo el periodo de análisis.
- **U2** → Se analizarán las subunidades de U2 en el periodo P1, ya que se dispone de valores de consumo representativos durante todo el periodo de análisis.
- **U3** → Se descarta por tener un consumo de energía activa relativamente bajo.
- **U4** → Se descarta por tener un consumo de energía activa relativamente bajo.
- **U5** → Se analizarán las subunidades de U5 en el periodo P2.
- **U6** → Se analizarán las subunidades de U6 en el periodo P2.
- **U7** → Se analizarán las subunidades de U7 en el periodo P3.
- **U8** → Se descarta por tener un consumo de energía activa relativamente bajo.

Por lo tanto, en la Figura 1.3, se puede ver cuáles son las unidades y subunidades productivas que serán estudiadas para poder evaluar una propuesta que reduzca su consumo de energía eléctrica.

A partir de aquí, se continua con el siguiente apartado, en el que se obtienen las conclusiones de un análisis pormenorizado realizado a cada una de las unidades productivas que tienen un consumo relevante para ser disminuido:

- U1 y U2 en P1
- U5 y U6 en P2
- U7 en P3

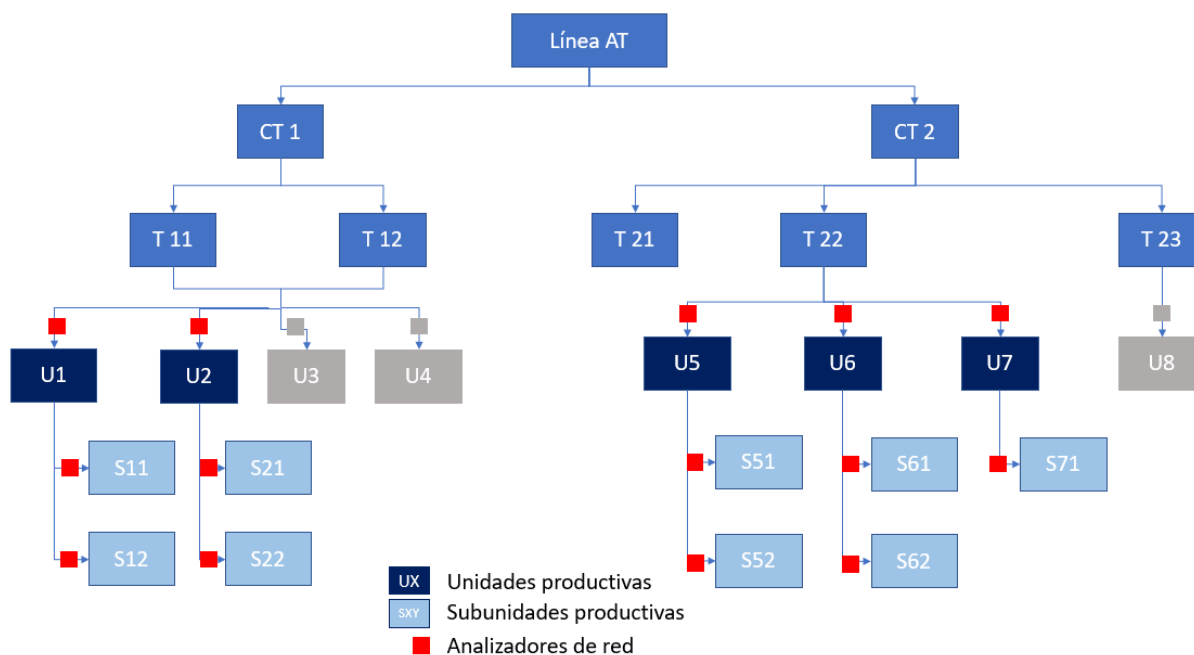


Figura 1.3. Diagrama de cargas de la planta industrial con descarte de U3, U4 y U8.

1.7.3 Subunidades productivas

Para el estudio de las subunidades productivas, se analizan las unidades restantes del análisis anterior en cada uno de los periodos estipulados para cada una de ellas. En cada uno de los siguientes casos, se estudiará el comportamiento de las subunidades pudiendo descartar aquellas que tienen un consumo de energía eléctrica bajo.

1.7.3.1 Subunidades de U1 y U2 en P1

Analizado su perfil de consumo de energía eléctrica en la Figura 1.26, se decide evaluar las cargas instaladas más significativas de estas dos unidades, donde en la Tabla 1.5 se pueden ver los datos de potencia instaladas así como la energía activa consumida de dichas cargas o subunidades seleccionadas, y también de sus correspondientes unidades productivas.

La selección de las subunidades productivas se realiza debido a la potencia nominal instalada en cada una de ellas, y por representar la mayor parte del consumo de energía eléctrica de la unidad, tal y como puede verse en el apartado 1.8.4.1 de este trabajo.

Tabla 1.5. Potencia instalada (kW) frente a energía activa consumida (kWh) de U1, U2, S11 y S21.

Unidades / Subunidades	Potencia Nominal Instalada (kW)	Potencia Nominal Instalada (%)	Energía Activa Consumida (kWh)	Energía Activa Consumida (%)
U1	695	100%	656.628	100%
S11	315	45%	580.131	88%
U2	695	100%	1.502.784	100%
S21	315	45%	949.751	63%

Por lo tanto, evaluados los perfiles de consumo de energía eléctrica de las subunidades S11 y S21 (Figura 1.27), se observa como la potencia máxima absorbida por las subunidades actuales no alcanza los 120 kW frente a los 315 kW de potencia nominal instalada en cada una de ellas.

Ambas subunidades, S11 y S21 son motores de inducción trifásicos, que desarrollan una potencia muy inferior a la nominal en todo el período registrado. Un motor de menor potencia nominal trabajaría con mejor rendimiento (y por tanto menor consumo de energía) en estas condiciones.

Por tanto, para las subunidades S11 y S21 existe margen de mejora escogiendo un motor de inducción de menor potencia.

1.7.3.2 Subunidades de U5 y U6 en P2

Igual que en el caso anterior, se dispone del perfil de consumo de energía eléctrica en la Figura 1.28, y se decide evaluar las cargas instaladas más significativas de estas dos unidades, donde en la Tabla 1.6 se observan los datos de potencia instalada así como la energía activa consumida por dichas cargas o subunidades, y también de sus correspondientes unidades productivas.

Tabla 1.6. Potencia instalada (kW) frente a energía activa consumida (kWh) de U5, U6, S51, S52, S61 y S62.

Unidades / Subunidades	Potencia Nominal Instalada (kW)	Potencia Nominal Instalada (%)	Energía Activa Consumida (kWh)	Energía Activa Consumida (%)
U5	846	100%	94.179	100%
S51	535	63%	86.575	88%
S52	224	26%	20.573	19%
Subtotal U5	759	89%	107.331	100%
U6	803	100%	100.222	100%
S61	535	67%	97.794	84%
S62	181	23%	19.066	19%
Subtotal U6	716	90%	116.860	100%

Como se puede ver en la tabla anterior, se obtienen datos de consumo de energía eléctrica que no son coherentes para estas unidades productivas. Si realizamos la suma de las subunidades de U5, su consumo eléctrico es superior al consumido por la unidad global, mientras que la potencia instalada evaluada de las subunidades representa el 89% del total.

Con U6 pasa exactamente lo mismo, consumen más el conjunto de las subunidades S61 y S62 que la unidad U6 al completo.

Por lo tanto, visto el comportamiento de estas unidades y además habiendo tenido que definir un periodo P2 para poder analizarlas, se decide finalmente descartarlas debido a que no se puede realizar una propuesta de mejora, ya que el problema de los datos obtenidos radica en los analizadores de red instalados.

1.7.3.3 Subunidades de U7 en P3

Siguiendo el mismo procedimiento de análisis que para las unidades U1 y U2, se realiza el estudio del perfil de consumo de energía eléctrica de U7 en la Figura 1.29, y por lo tanto, se decide evaluar las cargas instaladas más significativas de esta unidad.

En la Tabla 1.7 podemos ver los datos de potencia instalada así como la energía activa consumida de dichas cargas o subunidades seleccionadas, y también de sus correspondientes unidades productivas.

Igual que para el apartado 1.7.2.1, la selección de las subunidades productivas se realiza en función la potencia nominal instalada en cada una de ellas, y por representar la mayor parte del consumo de energía eléctrica de la unidad, tal y como puede verse en el apartado 1.8.4.1 del presente trabajo.

Tabla 1.7. Potencia instalada (kW) frente a energía activa consumida (kWh) de U7 y S71.

Unidades / Subunidades	Potencia Nominal Instalada (kW)	Potencia Nominal Instalada (%)	Energía Activa Consumida (kWh)	Energía Activa Consumida (%)
U7	442	100%	89.903	100%
S71	250	57%	78.214	87%

Por lo tanto, evaluados el perfil de consumo de energía eléctrica de la subunidad S71 en la Figura 1.30, se puede ver como la potencia máxima absorbida por S71 no alcanza los 160 kW frente a los 250 kW de potencia nominal instalada en ella.

En este caso, S71 es un motor de corriente continua, que desarrolla una potencia inferior a la nominal en todo el período registrado. Un motor de menor potencia nominal y de corriente alterna, trabajaría con mejor rendimiento (y por tanto menor consumo de energía) en estas condiciones.

Con estos datos, se puede concluir que para la subunidad S71 existe margen de mejora, y se realizará una propuesta para la reducción del consumo de energía eléctrica de las mismas.

1.7.3.4 Conclusiones

Tras evaluar el consumo de las subunidades, se ha decidido ir descartando a lo largo del desarrollo de los apartados anteriores las siguientes subunidades y los motivos de dicho descarte son:

- **S12** → Baja potencia instalada y bajo perfil de consumo de energía eléctrica.
- **S22** → Baja potencia instalada y bajo perfil de consumo de energía eléctrica.
- **S51 + S52** → Obtención de datos erróneos por mal funcionamiento del analizador de redes.
- **S61 + S62** → Obtención de datos erróneos por mal funcionamiento del analizador de redes.

En la Figura 1.4 podemos ver cómo queda el diagrama de cargas tras el descarte realizado en el segundo análisis del presente trabajo:

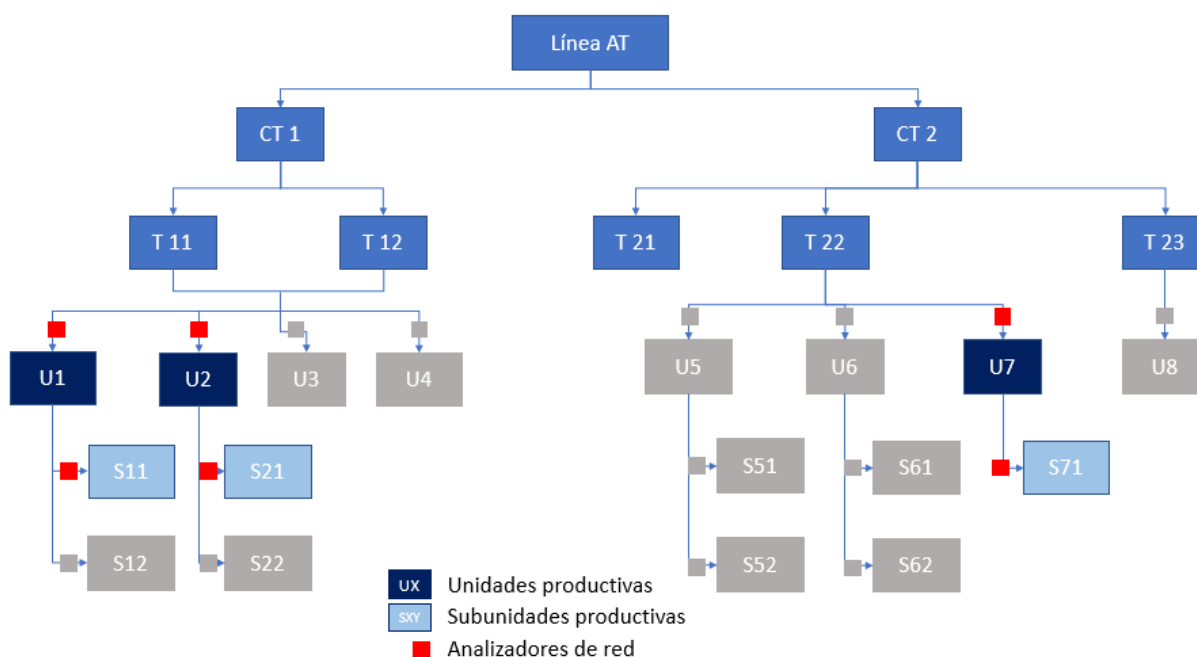


Figura 1.4. Diagrama de cargas de la planta industrial con descarte de S12, S22, U5, S51, S52, U6, S61 y S62.

Entonces, las subunidades que han quedado activas tras este segundo descarte, y de las cuales se ha estudiado su perfil de consumo de energía activa son las siguientes:

- S11 en P1
- S21 en P1
- S71 en P3

A partir de estas subunidades, se realizará una propuesta de mejora para disminuir el consumo de energía eléctrica.

1.7.4 Propuestas para la disminución del consumo eléctrico

Tras la evaluación de los datos, y habiendo seleccionado las subunidades S11, S21 y S71 para realizar una propuesta que mejore el consumo de energía eléctrica de las mismas, se estudia individualmente como son técnicamente dichas cargas eléctricas.

Las subunidades que se estudian en este apartado son motores que accionan otras máquinas o equipos. Por lo tanto, las propuestas para mejorar el consumo eléctrico de la planta industrial pasan por la sustitución de estas subunidades (motores) por unos motores que sean mucho más eficientes frente al perfil de consumo real obtenido en cada una de ellas.

En el caso de las subunidades S11 y S21 son motores de corriente alterna (AC), mientras que en caso de S71, es un motor de corriente continua (DC).

Por lo tanto, calculando el pico de potencia máxima alcanzada por cada uno de los motores, se realiza la selección de dos motores [1] que se adecuan a las características técnicas de los motores actuales:

- S11 y S21 sustituirán su motor de 315 kW de potencia nominal por un motor de 200 kW.
- S71 sustituirá su motor DC de 250 kW de potencia instalada por un motor AC de 160 kW.

Una vez seleccionados los motores nuevos que irán en cada una de las subunidades estudiadas, se evalúa el ahorro de energía eléctrica a conseguir tras realizar la instalación.

1.7.5 Ahorro de energía eléctrica

Por último, y para cuantificar el ahorro de energía eléctrica al sustituir los motores actuales de S11, S21 y S71, se calculan los perfiles de consumo de los nuevos motores respecto a la nueva potencia absorbida por éstos.

De esta manera, viendo como el nuevo perfil de consumo es inferior en las tres subunidades, se cuantifica el ahorro energético, obteniendo en cada unidad el porcentaje de la Tabla 1.8:

Tabla 1.8. Ahorro energético (%) de las subunidades S11, S21 y S71.

Subunidades	Ahorro energía eléctrica (%)
S11	7,60 %
S21	8,07 %
S71	6,88 %

Traducidos los valores anteriores de ahorro de energía eléctrica en % a kWh en cada uno de los periodos, y multiplicado por el precio del kWh (0,11 €/kWh), se obtiene un ahorro económico anual total tras la sustitución de las 3 subunidades de **32.289 €/año**.

Tomando los valores del listado de precios de ABB de 2019 del Anexo 2.3 para los modelos de motores seleccionados, se obtiene un retorno de la inversión en aproximadamente **2,4 años** (promedio de la sustitución de las 3 unidades).

En el apartado 1.8.6 se encuentran los cálculos detallados para cada una de las subunidades analizadas individualmente, más concretamente en la Tabla 1.38.

1.8 Resultados finales

Una vez se han definido los requisitos de diseño y el análisis de las soluciones, en el siguiente apartado se encuentran los resultados finales del trabajo, así como el procedimiento que se ha tenido en cuenta para realizar el tratamiento de los datos de energía eléctrica.

1.8.1 Diseño del código y tratamiento de datos

A continuación se realiza una descripción de cómo se ha llevado a cabo el diseño del código en Matlab® para el tratamiento de los datos de energía eléctrica recopilados de los analizadores de redes instalados en cada una de las unidades productivas, así como las tareas previas realizadas para la recogida de datos y su tratamiento.

Como se ha mencionado anteriormente, los datos son registrados por los analizadores de redes que generan un archivo en formato .csv recogiendo los datos de manera mensual.

Por lo tanto, la primera tarea realizada fue recopilar la información de todos los meses estudiados (marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre de 2020) en un mismo archivo .xlsx para disponer de la base de datos con todos los parámetros necesarios.

Antes de traspasar los datos de la base de datos en .xlsx a Matlab®, se realiza una revisión preliminar en Microsoft Excel® de dicha información recogida en el periodo estipulado. En esta revisión se detecta que, en el último día de cada mes analizado (excepto marzo 2020), existe un periodo de tiempo en el que no se registran los datos en el archivo correspondiente.

Por lo tanto, en las siguientes fechas no tenemos información del consumo eléctrico desde las 3:15h de la mañana hasta las 23:45h del mismo día:

- 30 de abril de 2020.
- 31 de mayo de 2020.
- 30 de junio de 2020.
- 31 de julio de 2020.
- 31 de agosto de 2020.
- 30 de septiembre de 2020.

La razón de esta incidencia en los datos recogidos es que, debido a que la generación de estos archivos con el consumo eléctrico acumulado se actualiza diariamente a las 3:15h de la mañana, y al estar en el último día del mes, se genera un archivo nuevo para el mes siguiente, sin rellenar la información de dicha franja horaria en el archivo del mes en curso.

Por lo tanto, tras esta primera visión de datos disponibles, se pasa a trabajar en Matlab® para poder analizar posteriormente de manera gráfica los consumos de energía eléctrica de cada una de las unidades productivas.

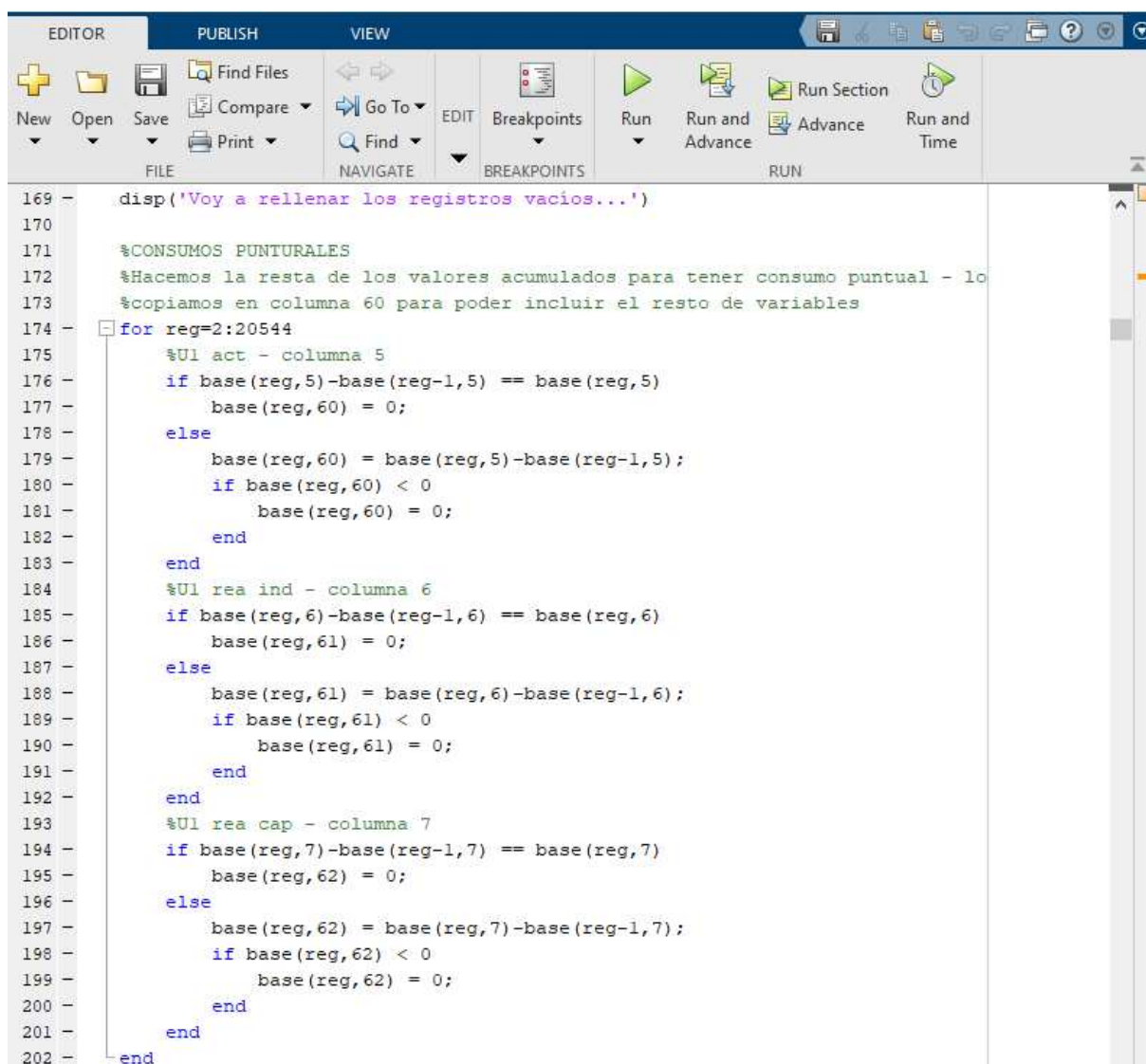
A partir de aquí, se crea una matriz de datos en Matlab® con los siguientes datos importados en las columnas:

- Columna 01 → mes
- Columna 02 → día
- Columna 03 → hora
- Columna 04 → minuto
- Columnas de la 05 a la 55 → variables de energía de cada unidad productiva

Una vez realizada la importación de los datos de consumo eléctrico a la base o matriz sobre la que se va a trabajar, se realiza el tratamiento de los datos importados.

Sabiendo que en la base de datos tenemos los valores de consumo acumulados, necesitamos trabajar con los valores de consumo puntuales en cada periodo de medición.

Por lo tanto, se obtiene este consumo puntual restando al valor de consumo actual el valor inmediatamente anterior, tal y como puede verse en el extracto del código de Matlab® de la siguiente Figura 1.5:



```

169 - disp('Voy a rellenar los registros vacios...')
170
171 %CONSUMOS PUNTURALES
172 %Hacemos la resta de los valores acumulados para tener consumo puntual - lo
173 %copiamos en columna 60 para poder incluir el resto de variables
174 - for reg=2:20544
175     %U1 act - columna 5
176     if base(reg,5)-base(reg-1,5) == base(reg,5)
177         base(reg,60) = 0;
178     else
179         base(reg,60) = base(reg,5)-base(reg-1,5);
180         if base(reg,60) < 0
181             base(reg,60) = 0;
182         end
183     end
184     %U1 rea ind - columna 6
185     if base(reg,6)-base(reg-1,6) == base(reg,6)
186         base(reg,61) = 0;
187     else
188         base(reg,61) = base(reg,6)-base(reg-1,6);
189         if base(reg,61) < 0
190             base(reg,61) = 0;
191         end
192     end
193     %U1 rea cap - columna 7
194     if base(reg,7)-base(reg-1,7) == base(reg,7)
195         base(reg,62) = 0;
196     else
197         base(reg,62) = base(reg,7)-base(reg-1,7);
198         if base(reg,62) < 0
199             base(reg,62) = 0;
200         end
201     end
202 - end

```

Figura 1.5. Obtención del consumo de energía puntual en matriz de datos en Matlab®.

Tras obtener el consumo de energía eléctrica puntual de cada unidad productiva, se realiza el tratamiento de los datos. En este caso, se debe solucionar el problema de los registros vacíos en el último día de cada mes expuesto anteriormente.

Para tener unos datos lo más próximos a la realidad posible, se plantea la siguiente hipótesis para rellenar las franjas horarias vacías de información: se realiza una regresión lineal tomando el último valor de consumo antes del periodo vacío y el primer valor de consumo tras finalizar el periodo sin datos, rellenando las celdas vacías mediante una interpolación, tal y como puede verse en la siguiente Figura 1.6:

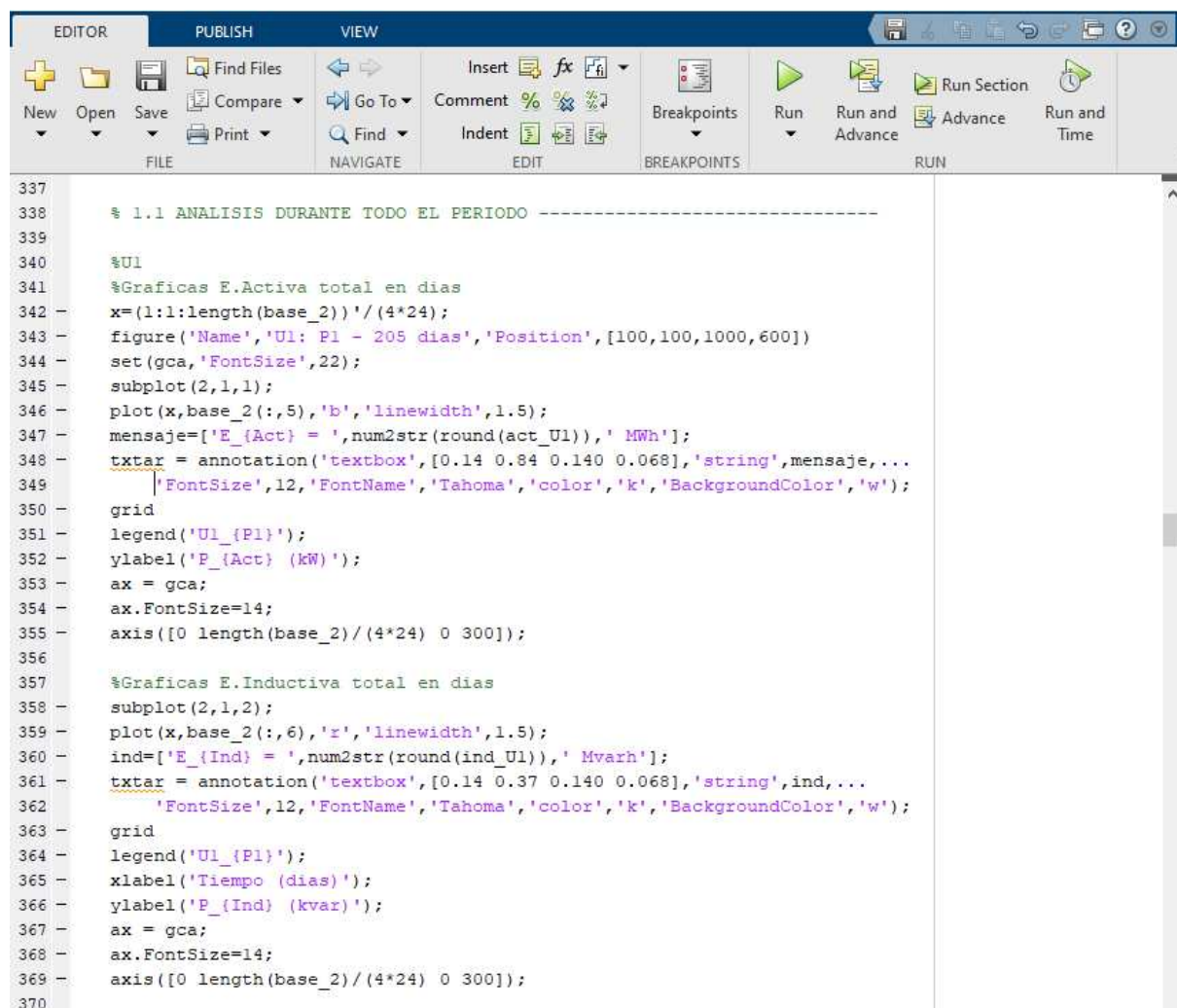
```

81 %Grabamos en una nueva memoria las posiciones correlativas de 0
82 pos_tramo=1; %Posicion dentro del tramo de ceros
83 tramo_ini=pos_0(1);%Marcamos la posicion inicial
84
85 %Tramos donde tengo que hacer las interpolaciones
86 for reg=2:length(pos_0)
87     if pos_0(reg)==pos_0(reg-1)+1
88     else
89         tramo_fin(pos_tramo)=pos_0(reg-1);
90         tramo_ini(pos_tramo+1)=pos_0(reg);
91         pos_tramo=pos_tramo+1;
92     end
93 end
94
95 tramo_fin(pos_tramo)=pos_0(end); %Marcamos la posicion final
96 tramo_fin=tramo_fin(1:length(tramo_ini)); %Hago que la longitud de tramo_fin sea igual que tramo
97 %Hago la traspuesta de las posiciones para tenerlo en columnas
98 tramo_fin=tramo_fin';
99 tramo_ini=tramo_ini';
100
101 %Interpolacion para rellenar las celdas vacias (energia activa, inductiva y
102 %capacitiva)
103 %n= numero de tramo
104 for n=1:length(tramo_ini)
105     for reg=tramo_ini(n):tramo_fin(n)
106         %05 U1 activa
107         base_2(reg,5)=base_2(tramo_ini(n)-1,5)+(reg-tramo_ini(n)+1)/...
108             (tramo_fin(n)-tramo_ini(n)+1)*(base_2(tramo_fin(n)+1,5)-base_2(tramo_ini(n)-1,5));
109         %06 U1 inductiva
110         base_2(reg,6)=base_2(tramo_ini(n)-1,6)+(reg-tramo_ini(n)+1)/...
111             (tramo_fin(n)-tramo_ini(n)+1)*(base_2(tramo_fin(n)+1,6)-base_2(tramo_ini(n)-1,6));
112         %07 U1 capacitiva
113         base_2(reg,7)=base_2(tramo_ini(n)-1,7)+(reg-tramo_ini(n)+1)/...
114             (tramo_fin(n)-tramo_ini(n)+1)*(base_2(tramo_fin(n)+1,7)-base_2(tramo_ini(n)-1,7));
115     end
116 end
117

```

Figura 1.6. Tratamiento de los registros vacíos en matriz de datos en Matlab®.

Entonces, detectados los periodos en los que se realiza la interpolación para tener valores de consumo eléctrico fiables, se realizan las gráficas que serán utilizadas para el análisis de cada una de las unidades y subunidades productivas objeto de estudio del presente trabajo, siendo el algoritmo el de la Figura 1.7. Además, se calcula la energía total consumida para unidad y subunidad, recopiladas en las tablas de los apartados siguientes que analizan cada uno de los casos individualmente.



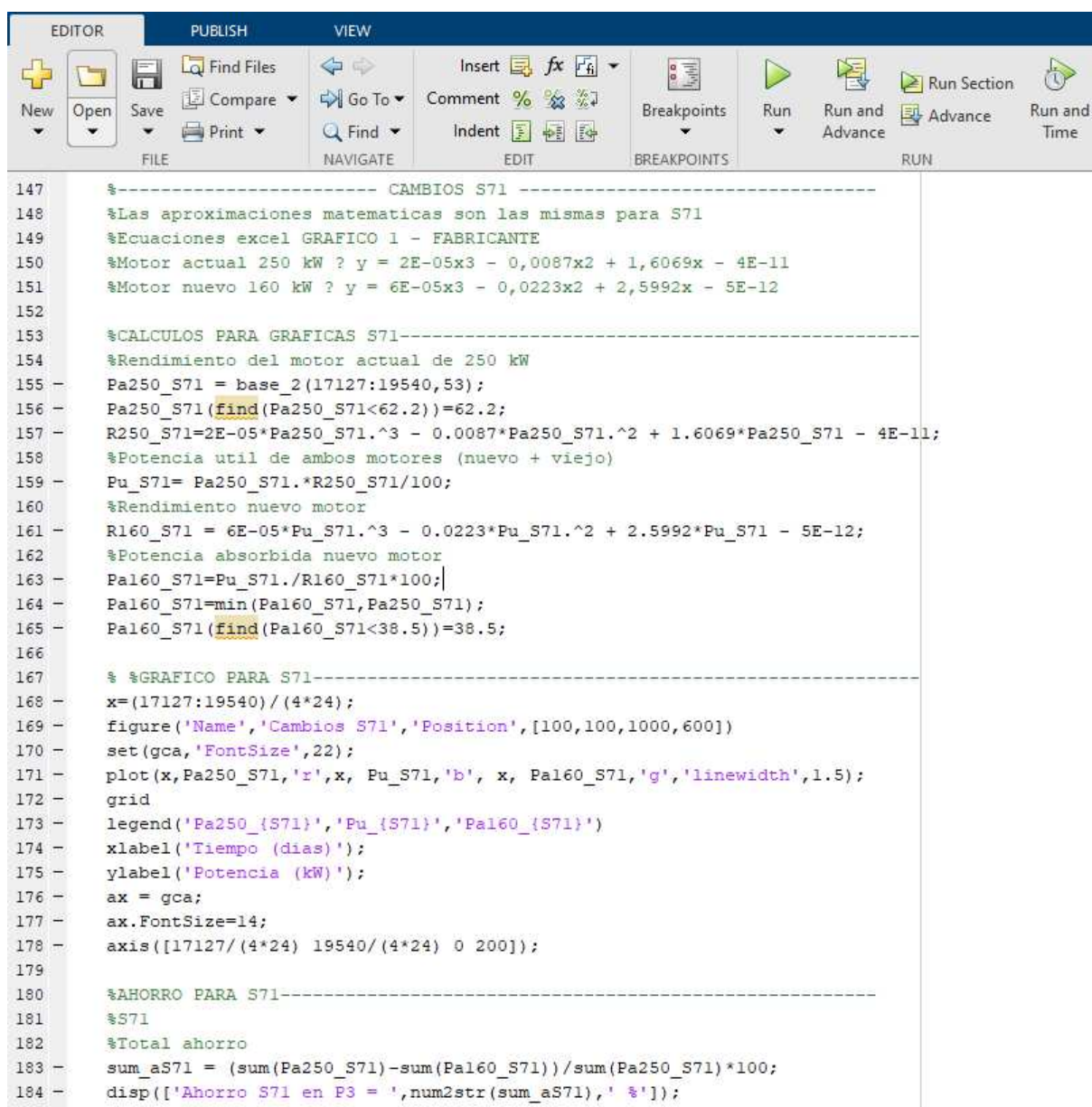
```

337
338 % 1.1 ANALISIS DURANTE TODO EL PERIODO -----
339
340 %U1
341 %Graficas E.Activa total en dias
342 - x=(1:length(base_2))/(4*24);
343 - figure('Name','U1: P1 - 205 dias','Position',[100,100,1000,600])
344 - set(gca,'FontSize',22);
345 - subplot(2,1,1);
346 - plot(x,base_2(:,5),'b','linewidth',1.5);
347 - mensaje=['E_{Act} = ',num2str(round(act_U1)),' MWh'];
348 - txtar = annotation('textbox',[0.14 0.84 0.140 0.068],'string',mensaje,...
349 - 'FontSize',12,'FontName','Tahoma','color','k','BackgroundColor','w');
350 - grid
351 - legend('U1_{P1}');
352 - ylabel('P_{Act} (kW)');
353 - ax = gca;
354 - ax.FontSize=14;
355 - axis([0 length(base_2)/(4*24) 0 300]);
356
357 %Graficas E.Inductiva total en dias
358 - subplot(2,1,2);
359 - plot(x,base_2(:,6),'r','linewidth',1.5);
360 - ind=['E_{Ind} = ',num2str(round(ind_U1)),' Mvarh'];
361 - txtar = annotation('textbox',[0.14 0.37 0.140 0.068],'string',ind,...
362 - 'FontSize',12,'FontName','Tahoma','color','k','BackgroundColor','w');
363 - grid
364 - legend('U1_{P1}');
365 - xlabel('Tiempo (dias)');
366 - ylabel('P_{Ind} (kvar)');
367 - ax = gca;
368 - ax.FontSize=14;
369 - axis([0 length(base_2)/(4*24) 0 300]);
370

```

Figura 1.7. Diseño de los gráficos de análisis de los datos de energía eléctrica en Matlab®.

Por último, y para acabar con este apartado, se realiza el algoritmo de código para el cálculo de los perfiles de potencia absorbida de cada una de las subunidades que poseen una propuesta para la sustitución de su motor, tal y como puede verse en la Figura 1.8.



```

147 %----- CAMBIOS S71 -----
148 %Las aproximaciones matematicas son las mismas para S71
149 %Ecuaciones excel GRAFICO 1 - FABRICANTE
150 %Motor actual 250 kW ? y = 2E-05x3 - 0,0087x2 + 1,6069x - 4E-11
151 %Motor nuevo 160 kW ? y = 6E-05x3 - 0,0223x2 + 2,5992x - 5E-12
152
153 %CALCULOS PARA GRAFICAS S71-----
154 %Rendimiento del motor actual de 250 kW
155 - Pa250_S71 = base_2(17127:19540,53);
156 - Pa250_S71(find(Pa250_S71<62.2))=62.2;
157 - R250_S71=2E-05*Pa250_S71.^3 - 0.0087*Pa250_S71.^2 + 1.6069*Pa250_S71 - 4E-11;
158 %Potencia util de ambos motores (nuevo + viejo)
159 - Pu_S71= Pa250_S71.*R250_S71/100;
160 %Rendimiento nuevo motor
161 - R160_S71 = 6E-05*Pu_S71.^3 - 0.0223*Pu_S71.^2 + 2.5992*Pu_S71 - 5E-12;
162 %Potencia absorbida nuevo motor
163 - Pa160_S71=Pu_S71./R160_S71*100;|
164 - Pa160_S71=min(Pa160_S71,Pa250_S71);
165 - Pa160_S71(find(Pa160_S71<38.5))=38.5;
166
167 % %GRAFICO PARA S71-----
168 - x=(17127:19540)/(4*24);
169 - figure('Name','Cambios S71','Position',[100,100,1000,600])
170 - set(gca,'FontSize',22);
171 - plot(x,Pa250_S71,'r',x, Pu_S71,'b', x, Pa160_S71,'g','linewidth',1.5);
172 - grid
173 - legend('Pa250_{S71}','Pu_{S71}','Pa160_{S71}')
174 - xlabel('Tiempo (dias)');
175 - ylabel('Potencia (kW)');
176 - ax = gca;
177 - ax.FontSize=14;
178 - axis([17127/(4*24) 19540/(4*24) 0 200]);
179
180 %AHORRO PARA S71-----
181 %S71
182 %Total ahorro
183 - sum_aS71 = (sum(Pa250_S71)-sum(Pa160_S71))/sum(Pa250_S71)*100;
184 - disp(['Ahorro S71 en P3 = ',num2str(sum_aS71),' %']);

```

Figura 1.8. Obtención de los perfiles de potencia absorbida en Matlab®.

1.8.2 Definición de los periodos de tiempo analizados

Durante la realización del análisis de consumo de energía eléctrica para cada una de las unidades productivas, se han establecido una serie de franjas de tiempo o periodos en los que se lleva a cabo dicho análisis, como puede verse en la Tabla 1.1.

Para comenzar con el tratamiento de la información de forma gráfica, se analizan los consumos de energía eléctrica de las diferentes unidades a lo largo de todo el periodo de medición, es decir, lo que se denomina como P1.

Este periodo P1 inicial tiene una duración de 205 días en total, comenzando desde el 10 de marzo de 2020 hasta el 30 de septiembre de 2020 donde se analizarán todas las unidades productivas principales.

A partir de este primer análisis, surge la necesidad de establecer un segundo periodo de medición, en este caso P2 de 25 días de duración. Esto se debe a que, como se verá en los

apartados siguientes, las unidades productivas U5 y U6 sólo disponen de datos de consumo de energía eléctrica durante este periodo P2.

Y por último, se establece un tercer periodo de medición, en este caso P3 de 25 días de duración, debido a que a raíz del análisis anterior, se observa que los datos obtenidos para la unidad U7 durante P2 deben ser desestimados y es necesario tomar como datos de referencia para U7 otro periodo diferente, en este caso tomando P3.

1.8.3 Análisis general de las unidades productivas

Para la realización del análisis general de las unidades productivas se obtienen las gráficas referentes al consumo de:

- Energía activa (en azul).
- Energía reactiva (en rojo).

Y del mismo modo, se obtiene la energía total consumida de cada tipo por cada unidad analizada durante el periodo analizado.

1.8.3.1 Análisis general de las unidades productivas en P1

1. Unidad productiva U1

Comenzando por la unidad productiva U1, se puede ver su perfil de consumo en la Figura 1.9 y los totales de energía consumida de cada tipo en la Tabla 1.9.

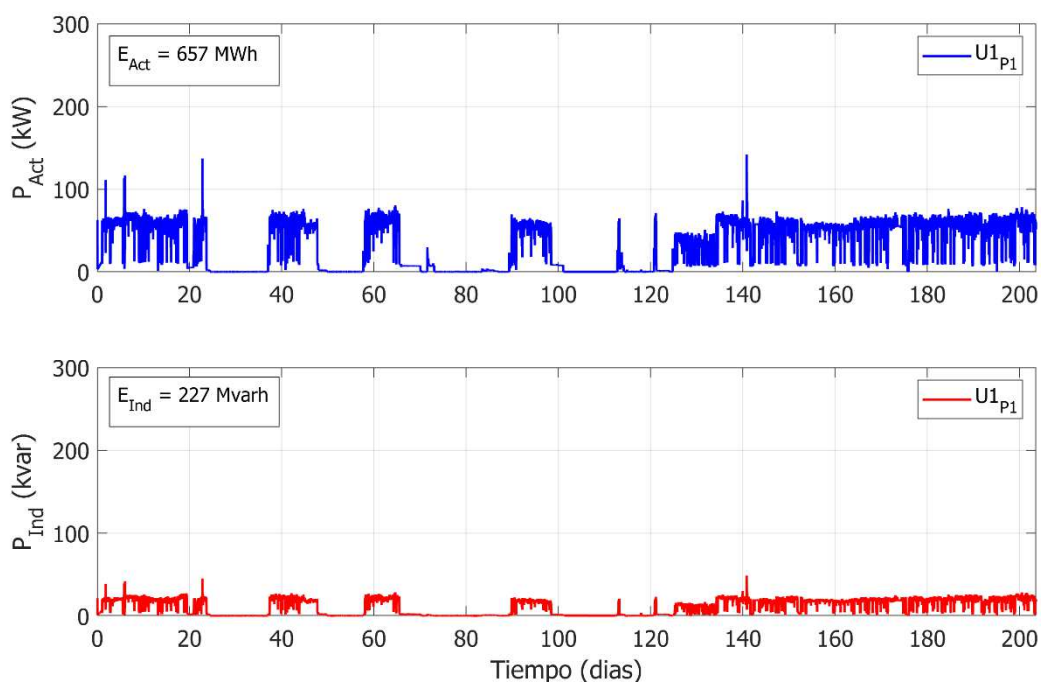


Figura 1.9. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U1 en P1.

Tal y como puede verse en la Figura 1.9, hay determinados periodos de tiempo en los que la unidad U1 no está consumiendo energía, y esto se debe a la planificación de la producción que disponga esta línea o a la disponibilidad del personal para ponerla en marcha.

Una vez transcurridos estos primeros 120 días aproximadamente, se puede ver como el perfil de consumo durante el resto del periodo P1 se mantiene estable. Si se calcula la energía total consumida por U1, tenemos los valores resumidos en la Tabla 1.9.

Tabla 1.9. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U1 en P1.

Energía total consumida en P1	U1
Activa (MWh)	656,628
Reactiva (Mvarh)	226,580

2. Unidad productiva U2

Si seguimos con la misma línea de análisis, para U2 se obtiene el perfil de consumo de la Figura 1.10 y los totales de energía consumida de cada tipo en la Tabla 1.10.

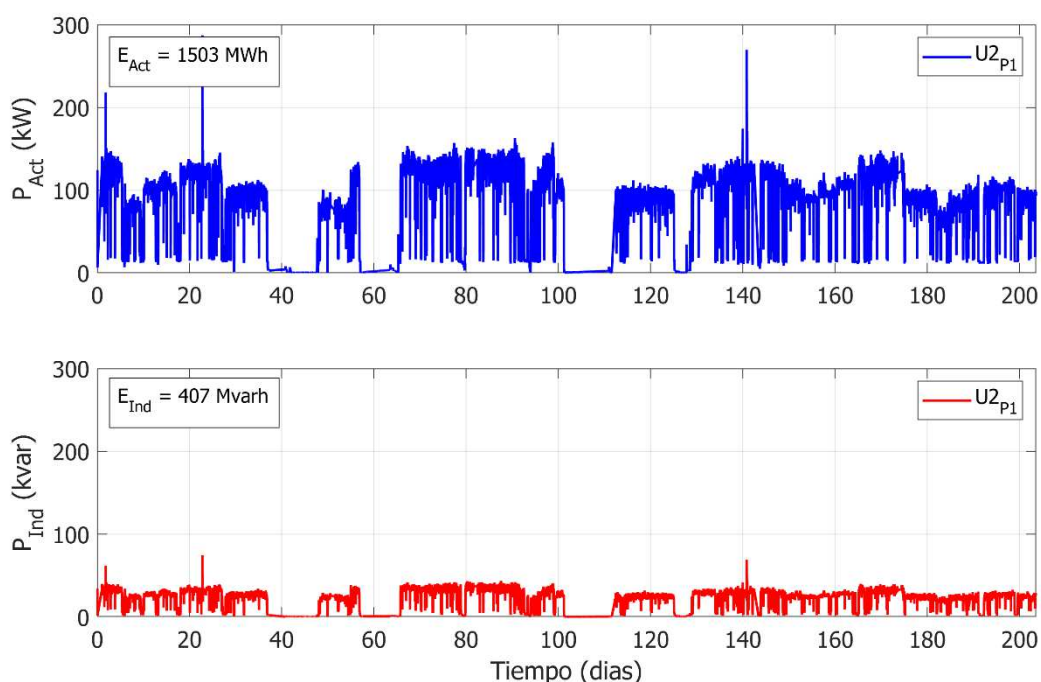


Figura 1.10. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U2 en P1.

En esta unidad se observa como el perfil de consumo se mantiene casi constante durante todo el periodo P1 tal y como puede verse en la Figura 1.10. En este caso, a diferencia de U1, la demanda productiva para esta unidad se mantuvo durante los meses de marzo a junio de 2020.

Si obtenemos el consumo total de cada una de las energías de esta unidad productiva, obtenemos los datos de la Tabla 1.10.

Tabla 1.10. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U2 en P1.

Energía total consumida en P1	U2
Activa (MWh)	1502,784
Reactiva (Mvarh)	407,388

3. Unidad productiva U3

Continuando con el análisis de la unidad productiva U3, se puede ver su perfil de consumo en la Figura 1.11 y los totales de energía consumida en la Tabla 1.11.

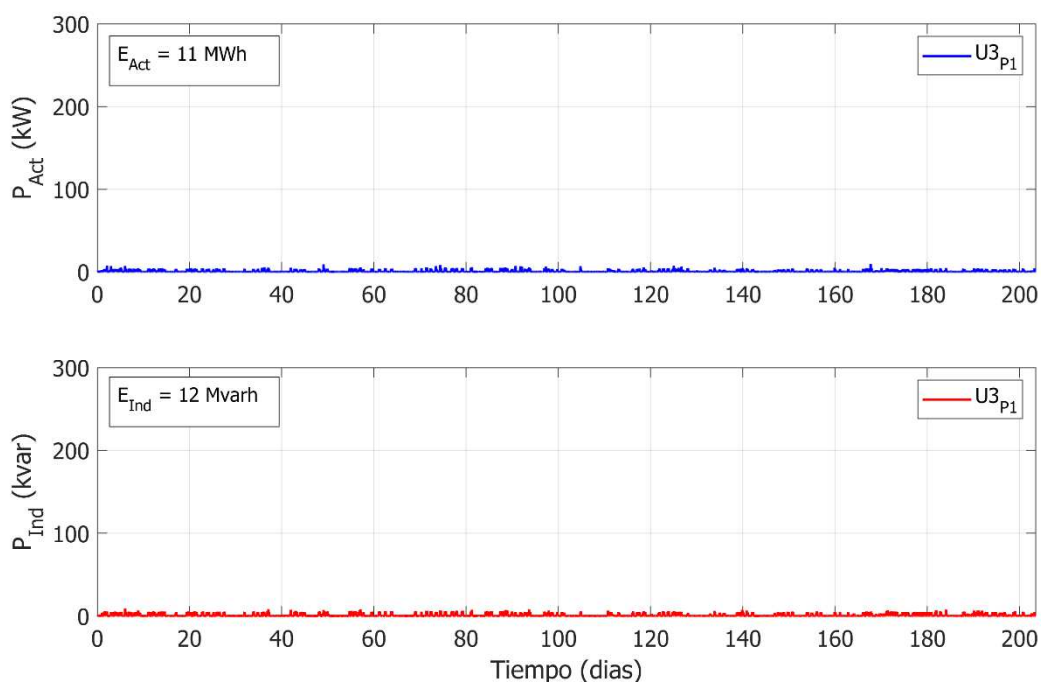


Figura 1.11. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U3 en P1.

Para la unidad U3 analizada, puede verse en la Figura 1.11 que el perfil de consumo es muy inferior comparado con las dos unidades productivas analizadas anteriormente. En este caso, se puede deducir que se trata de una unidad con menor potencia instalada frente a las otras, por lo que podríamos decir que el consumo no es significativo respecto al consumo real de la planta industrial.

En este caso se puede observar que se consume más energía reactiva que energía activa, como se refleja en la Tabla 1.11.

Tabla 1.11. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U3 en P1.

Energía total consumida en P1	U3
Activa (MWh)	11,215
Reactiva (Mvarh)	12,280

4. Unidad productiva U4

Igual que para las unidades productivas anteriores, se dispone del perfil de consumo de la unidad U4 en la Figura 1.12 y los totales de energía consumida en la Tabla 1.12.

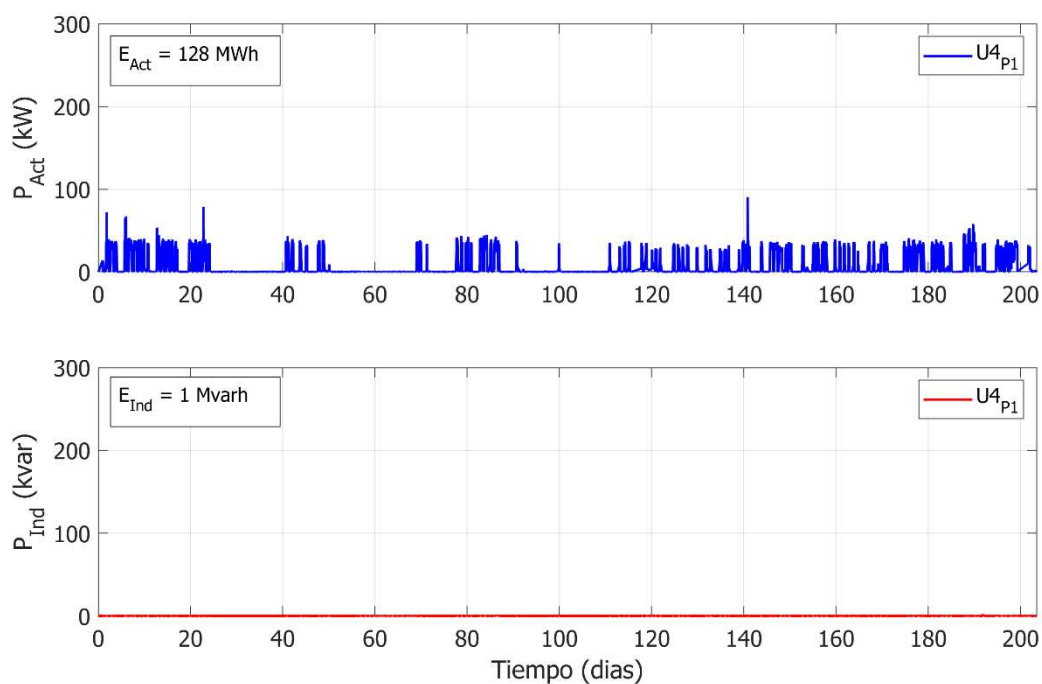


Figura 1.12. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U4 en P1.

Para esta unidad U4, existe un consumo de energía más relevante que el evaluado para la unidad U3, aunque sigue siendo inferior que los analizados para U1 y U2.

En la Tabla 1.12 se resumen las energías totales consumidas durante P1.

Tabla 1.12. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U4 en P1.

Energía total consumida en P1	U4
Activa (MWh)	127,655
Reactiva (Mvarh)	0,657

5. Unidad productiva U5

Evaluando la unidad U5 a continuación, se puede ver el perfil de consumo de la unidad en la Figura 1.13 y los totales de energía consumida en la Tabla 1.13.

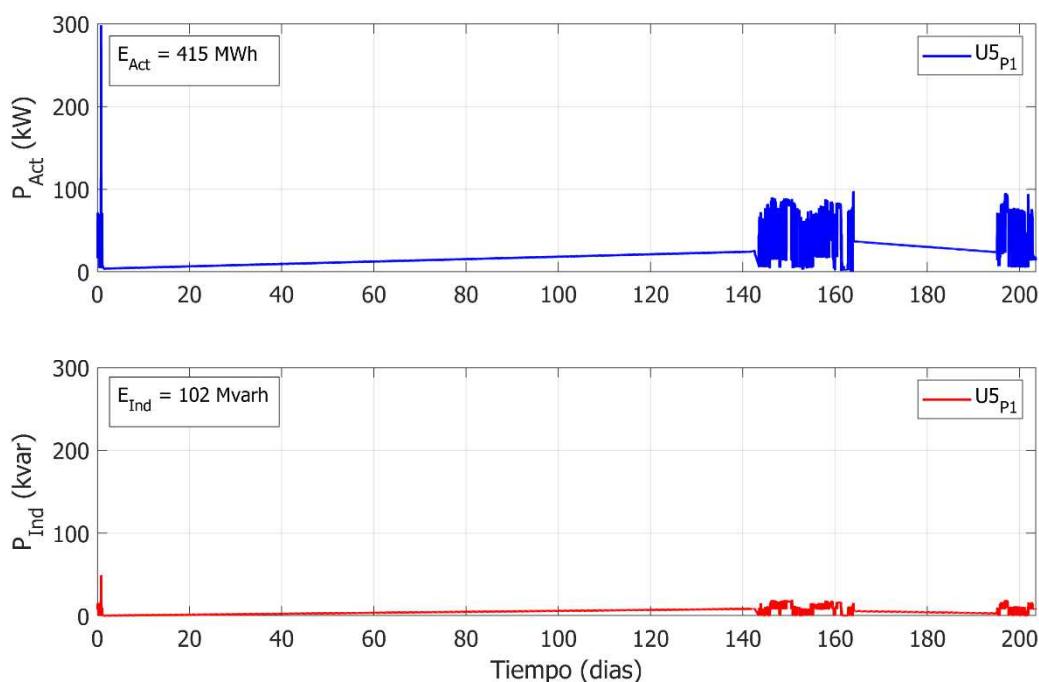


Figura 1.13. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U5 en P1.

Al evaluar esta unidad productiva en concreto, se puede observar en la Figura 1.13 como durante la mayor parte del periodo P1 no existen datos de consumo de energía eléctrica. Esto sólo puede deberse a que haya existido un problema con los analizadores de red instalados en esta unidad provocando que durante la mayor parte del estudio no se hayan registrado datos de consumo.

Pero si prestamos atención a la energía total consumida de la Tabla 1.13, durante los días en los que se han registrados los datos de consumo éste es relevante frente al resto de las unidades productivas analizadas.

Tabla 1.13. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U5 en P1.

Energía total consumida en P1	U5
Activa (MWh)	414,675
Reactiva (Mvarh)	102,059

Es por esta razón por la que es interesante estudiar más en detalle el perfil de consumo de U5 y por lo que se establece un segundo periodo de análisis para obtener datos reales. Este periodo será P2 de una duración de 25 días desde el día 140 hasta el 165.

6. Unidad productiva U6

Siguiendo con el análisis de la unidad U6, se dispone del perfil de consumo en la Figura 1.14 y los totales de energía consumida en la Tabla 1.14.

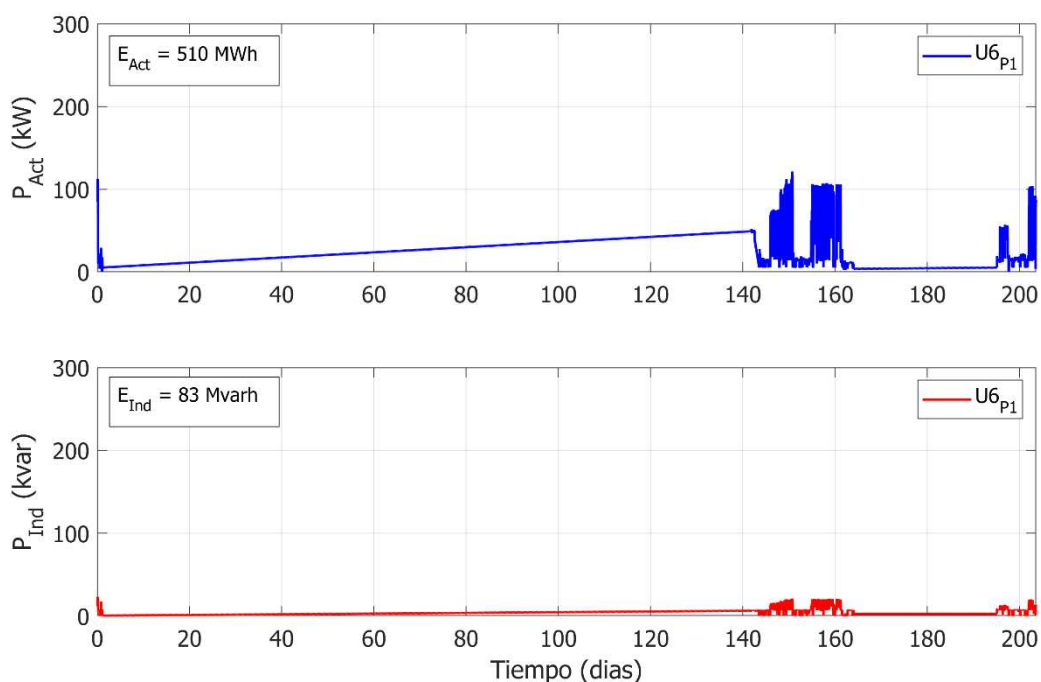


Figura 1.14. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U6 en P1.

En esta unidad U6 se observa que el comportamiento del perfil de consumo es el mismo que para la unidad U5, aunque evaluando la energía eléctrica total consumida durante todo el periodo también se tiene un consumo representativo respecto al resto de las unidades, tal y como puede verse en la Tabla 1.14.

Tabla 1.14. Totales energía activa (MWh) reactiva (Mvarh) consumidas por U6 en P1.

Energía total consumida en P1	U6
Activa (MWh)	509,844
Reactiva (Mvarh)	82,882

Si se presta atención al periodo comprendido desde el día 140 hasta el 160 aproximadamente, se puede ver como la unidad consume energía eléctrica, pero no de manera constante como U5. Esto puede deberse al volumen de demanda de producción de dicha unidad o a la falta de personal para tener en marcha dicha unidad productiva.

Es por ello que, al igual que U5, se analizará U6 en el periodo P2 para ver con más detalle su comportamiento antes de tomar alguna decisión sobre estas unidades productivas.

7. Unidad productiva U7

En este caso, para la unidad productiva U7 se observa el perfil de consumo en la Figura 1.15 y los totales de energía consumida en la Tabla 1.15.

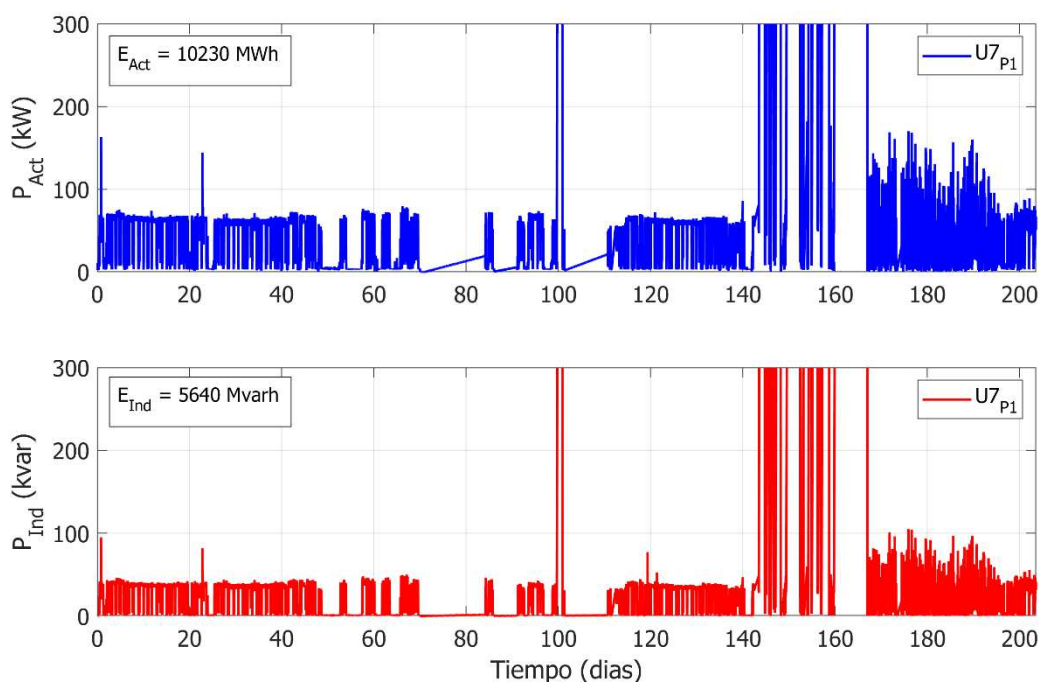


Figura 1.15. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U7 en P1.

En el perfil de consumo de U7 de la Figura 1.15 se puede ver que durante todo el periodo P1, éste se mantiene más o menos constante a excepción de la franja temporal de P2 (desde el día 140 hasta el 165 aproximadamente).

Estos picos de consumo tan elevados no son representativos de un perfil de consumo para una unidad productiva similar a U5 y U6 en cuanto a tecnología. Por lo tanto, será interesante realizar el estudio de esta unidad en el periodo P2 para poder identificar el origen de dichos picos de consumo.

De hecho, si se observan los valores de energía consumida total durante todo el periodo P1 en la Tabla 1.15, esta unidad estaría consumiendo del orden de 10 veces más que la unidad U2 (que es la que más energía activa ha consumido hasta este punto del análisis).

Tabla 1.15. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U7 en P1.

Energía total consumida en P1	U7
Activa (MWh)	10230,481
Reactiva (Mvarh)	5629,635

8. Unidad productiva U8

Para acabar con este primer análisis, la unidad productiva U8 tiene su perfil de consumo representado en la Figura 1.16 y los totales de energía consumida en la Tabla 1.16.

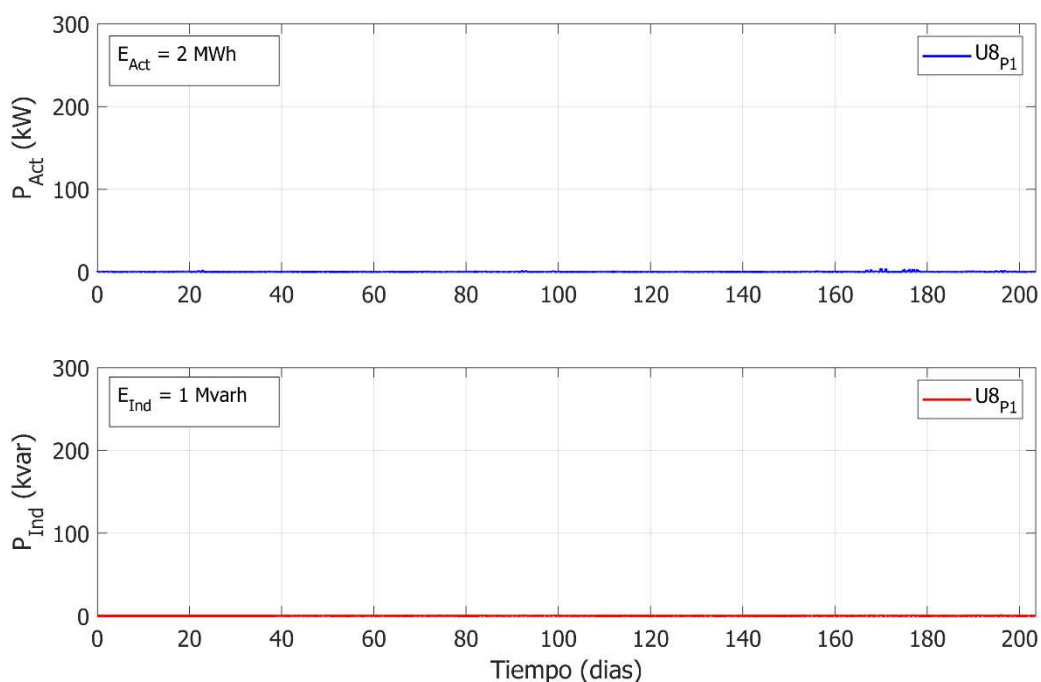


Figura 1.16. Perfil de consumo de energía activa (kWh) reactiva (kvarh) de U8 en P1.

En esta unidad productiva se dispone del mismo tipo de perfil de consumo que para la unidad U3, tal y como puede verse en la Figura 1.16. En este caso, tanto el perfil de consumo como la energía eléctrica total consumida es muy inferior al orden de magnitud que el del resto de las unidades productivas.

En comparación con el resto, esta unidad productiva tendrá una potencia instalada bastante inferior al resto, y por esta razón su perfil de consumo no es significativo.

Tabla 1.16. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U8 en P1.

Energía total consumida en P1	U8
Activa (MWh)	1,577
Reactiva (Mvarh)	0,538

Si se recopilan todos los valores de energía consumidos por las diferentes unidades productivas de este trabajo, encontramos la relación de las mismas así como el cálculo de los valores relativos en la Tabla 1.2 de este trabajo.

1.8.3.2 Análisis general de las unidades productivas en P2

Para continuar con la misma estructura de análisis y ver la influencia de cada una de las unidades en el consumo energético total, se analizan todas las unidades productivas en P2, aunque realmente las unidades que más nos interesa analizar son U5, U6 y U7.

Es por ello que para el resto de las unidades productivas, solamente se mostrarán las gráficas del perfil de consumo y la tabla resumen de la energía total consumida durante P2, realizando alguna breve puntualización si fuera necesario, centrando más esta parte del análisis en las unidades U5, U6 y U7.

1. Unidad productiva U1

Para la unidad U1 se observa en la Figura 1.17 que el perfil de consumo se mantiene estable durante el periodo P2, al igual que durante el periodo P1 analizado anteriormente, y los totales de las energías consumidas en P2 podemos verlos en la Tabla 1.17.

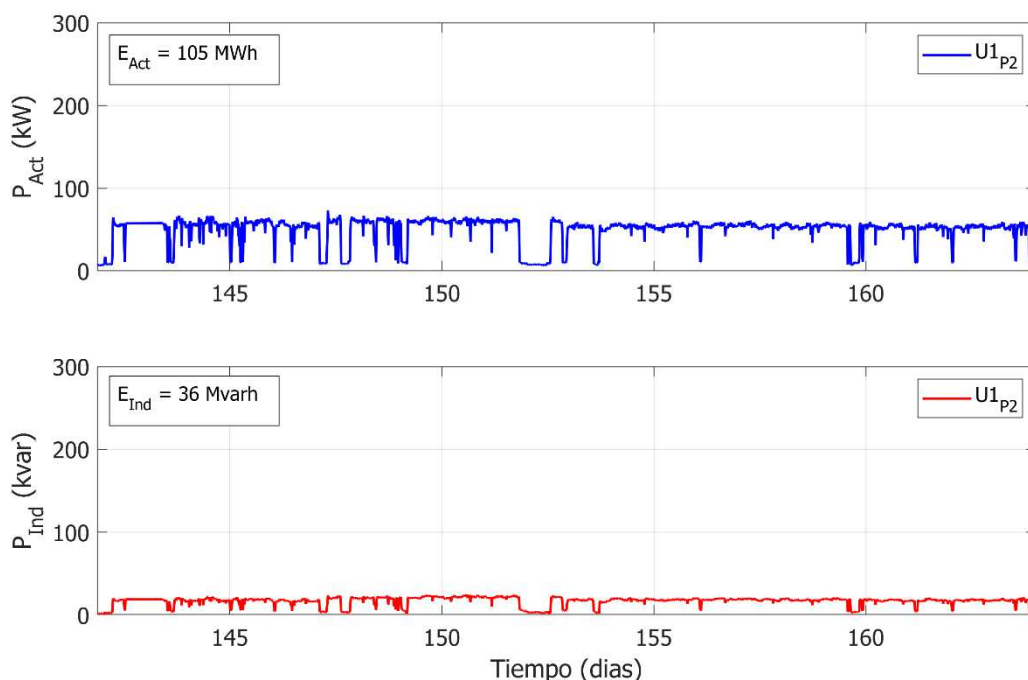


Figura 1.17. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U1 en P2.

Tabla 1.17. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U1 en P2.

Energía total consumida en P2	U1
Activa (MWh)	105,168
Reactiva (Mvarh)	35,893

2. Unidad productiva U2

En este caso, para la unidad productiva U2 se tiene el perfil de consumo en la Figura 1.18, manteniéndose estable como para P1, y los totales de energía consumida en la Tabla 1.18.

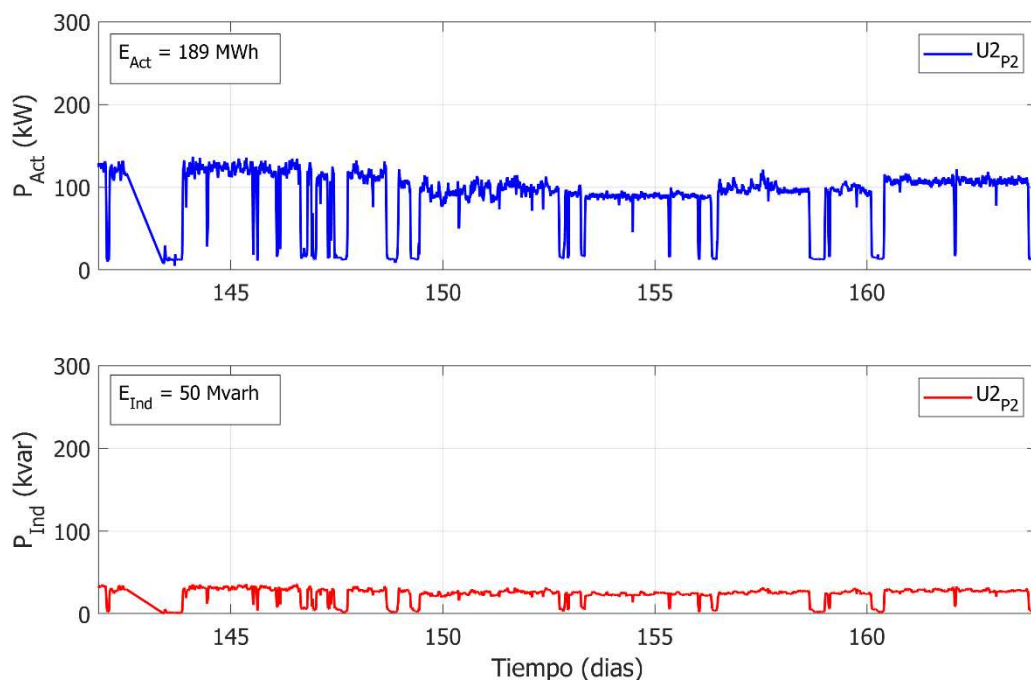


Figura 1.18. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U2 en P2.

Tabla 1.18. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U2 en P2.

Energía total consumida en P2	U2
Activa (MWh)	189,337
Reactiva (Mvarh)	49,885

3. Unidad productiva U3

A continuación, para la unidad productiva U3 se puede ver que el perfil de consumo en la Figura 1.19 sigue siendo poco significativo al igual que en P1, y los totales de energía consumida en la Tabla 1.19.

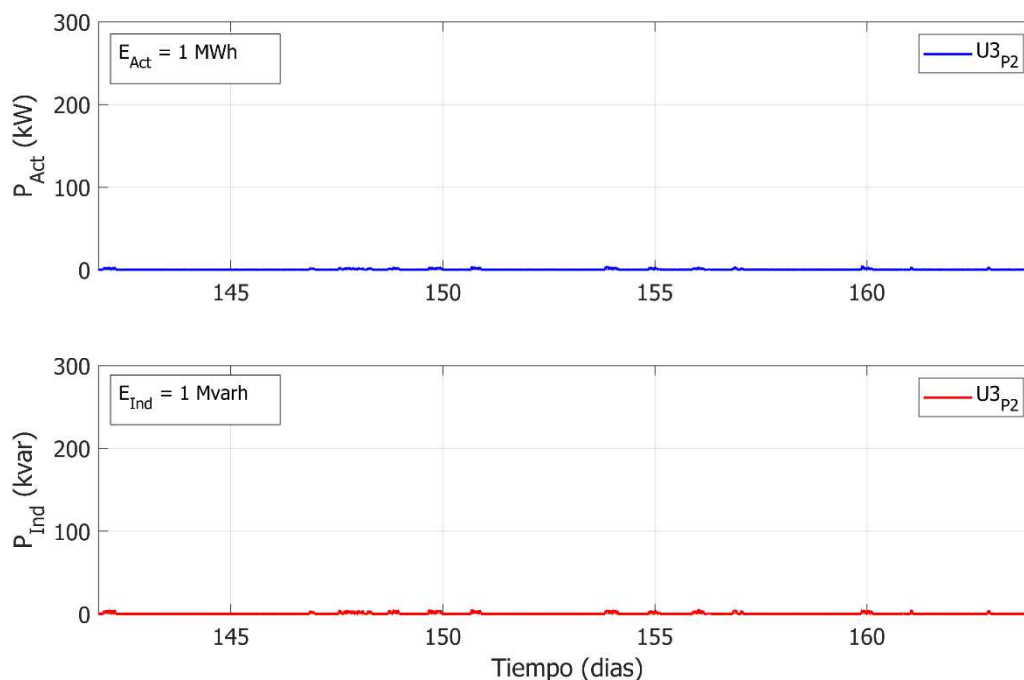


Figura 1.19. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U3 en P2.

Tabla 1.19. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U3 en P2.

Energía total consumida en P2	U3
Activa (MWh)	0,879
Reactiva (Mvarh)	0,833

4. Unidad productiva U4

Para la unidad productiva U4 se dispone del perfil de consumo en la Figura 1.20, que sigue siendo poco significativo al igual que en P1, y los totales de energía consumida en la Tabla 1.20.

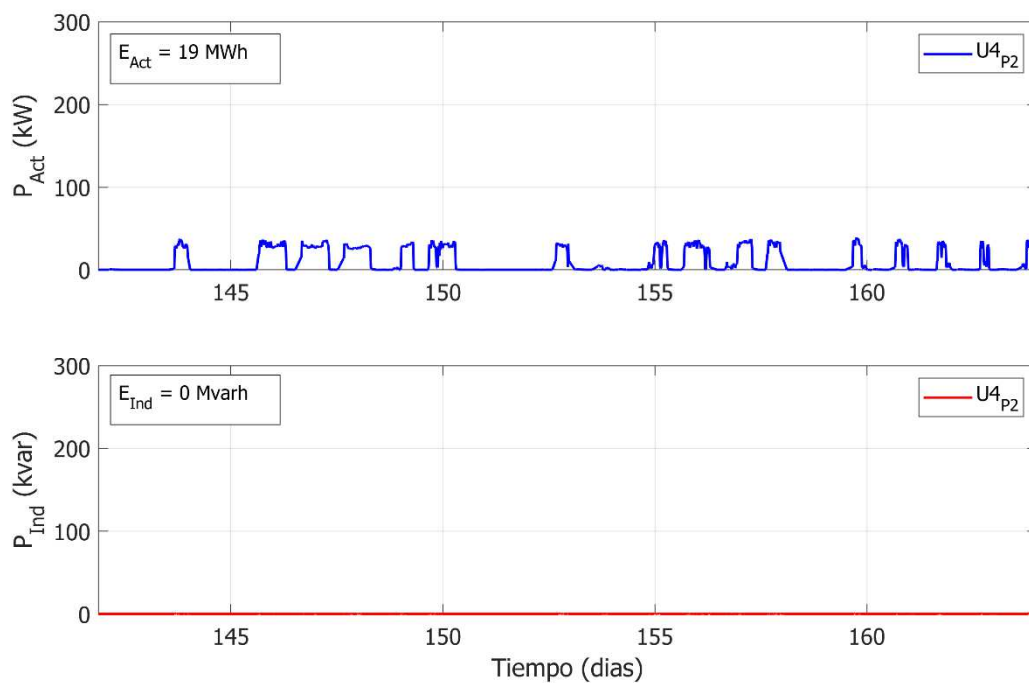


Figura 1.20. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U4 en P2.

Tabla 1.20. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U4 en P2.

Energía total consumida en P2	U4
Activa (MWh)	18,551
Reactiva (Mvarh)	0,069

5. Unidad productiva U5

Esta unidad que es una de las que es más interesante realizar su estudio del perfil de consumo, pudiendo visualizar el mismo en la Figura 1.21, así como los totales de energía consumida durante P2 en la Tabla 1.21.

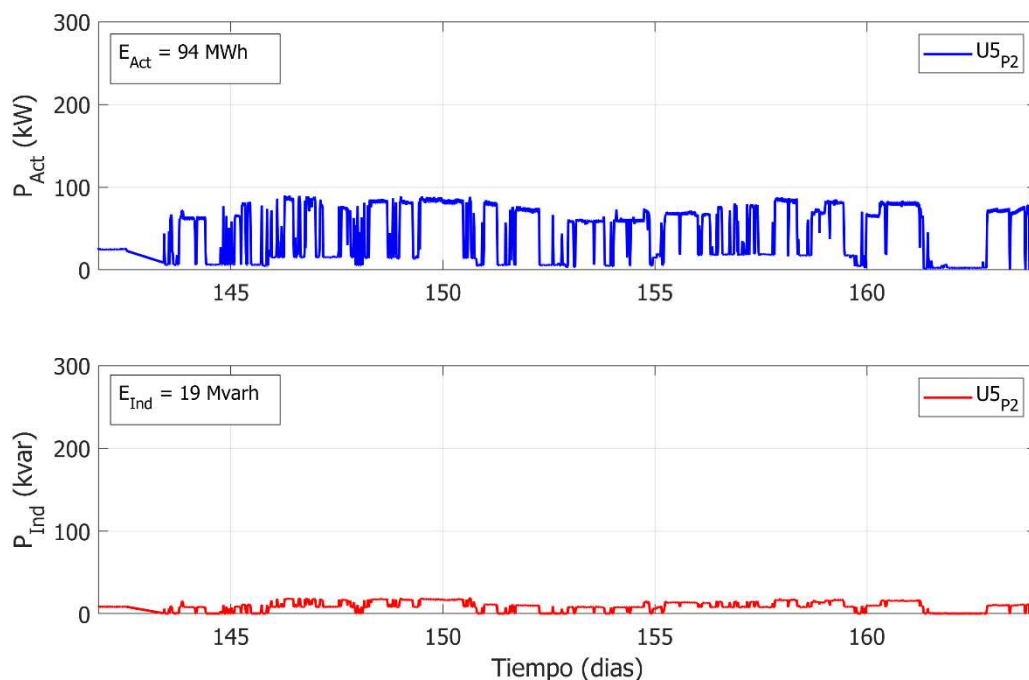


Figura 1.21. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U5 en P2.

En este caso, al analizar U5 durante un periodo de tiempo más corto (P2) en el que si se tienen valores reales de consumo, se puede ver que su perfil se mantiene estable durante todo el periodo, haciendo que sea relevante el estudio de esta unidad productiva.

Es por ello que, para los posteriores análisis que sean llevados a cabo acerca de esta unidad, tendrán que ser realizados en el periodo P2, para tener valores lo más reales posibles.

Si se observa el total de las energías consumidas durante P2 en la Tabla 1.21, el consumo de U5 resulta significativo en comparación con las unidades productivas analizadas anteriormente durante dicho periodo.

Tabla 1.21. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U5 en P2.

Energía total consumida en P2	U5
Activa (MWh)	94,179
Reactiva (Mvarh)	19,463

6. Unidad productiva U6

Al igual que U5, U6 es otra de las unidades cuyo análisis durante el periodo P2 es interesante. En la Figura 1.22 se encuentra su perfil de consumo y en la Tabla 1.22 las energías totales consumidas durante dicho periodo.

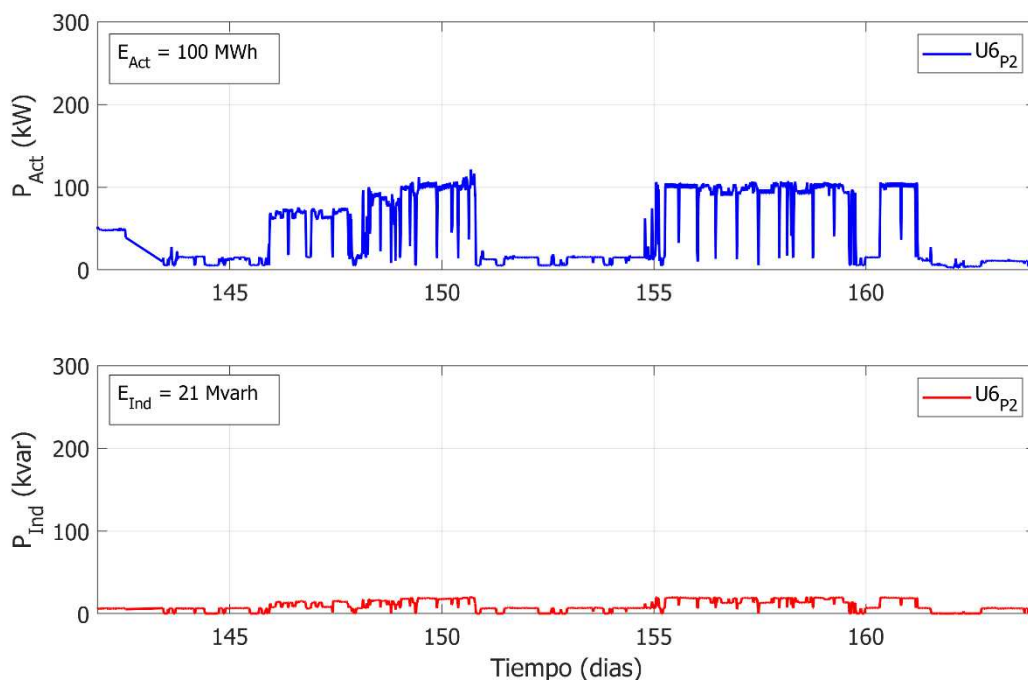


Figura 1.22. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U6 en P2.

En U6, a diferencia de lo evaluado en la unidad U5, el perfil de consumo de la Figura 1.22 sí que se mantiene estable en cuanto al valor de la energía activa consumida, pero en ciertos periodos la unidad no consume. Esto puede deberse a la planificación de la producción en dicha unidad o a la falta de personal para poner en marcha U6.

Sin embargo, la energía activa total consumida de la Tabla 1.22 sí que representa un consumo significativo frente al resto de las unidades productivas analizadas anteriormente en el presente apartado, por lo que es necesario analizar esta unidad U6 durante este periodo P2 para obtener valores lo más cercanos a la realidad posibles.

Tabla 1.22. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U6 en P2.

Energía total consumida en P2	U6
Activa (MWh)	100,222
Reactiva (Mvarh)	21,269

7. Unidad productiva U7

En este caso, para la unidad productiva U7, es interesante analizar el periodo P2 debido a los picos de consumo existentes durante este periodo, donde en la Figura 1.23 se encuentra su perfil de consumo y en la Tabla 1.23 las energías totales consumidas durante dicho periodo P2.

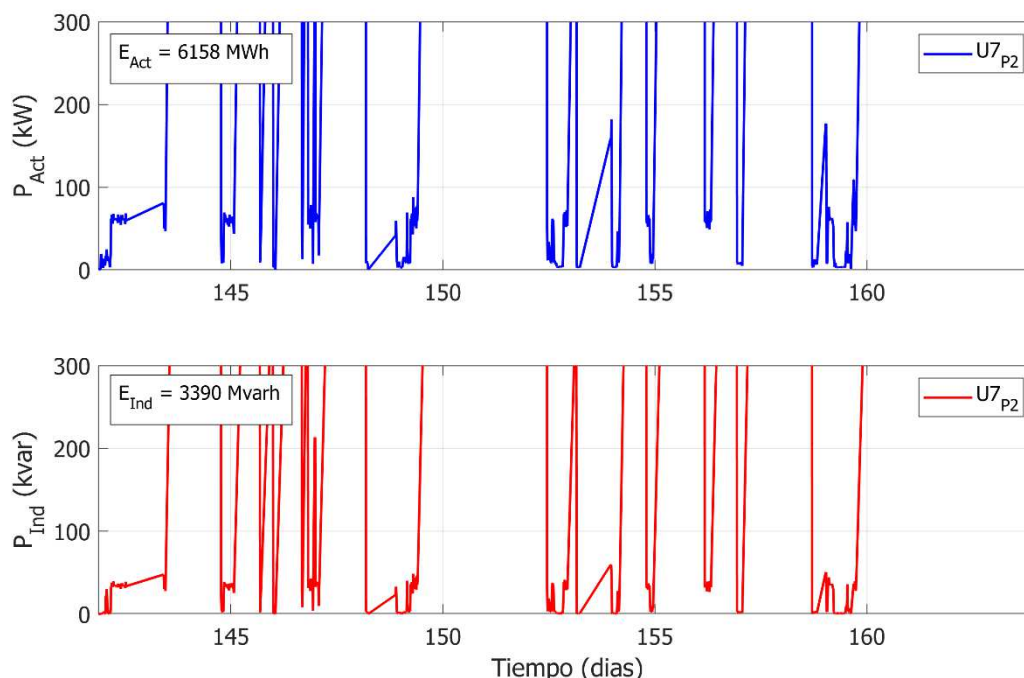


Figura 1.23. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U7 en P2.

Como se observa en la Figura 1.23, el perfil de consumo presenta unos picos que no son representativos de un perfil de consumo con estas características. Además, los valores totales de energías consumidas durante este periodo de la Tabla 1.23 son muy elevadas en comparación con el resto de las unidades productivas similares a U7.

Tabla 1.23. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U7 en P2.

Energía total consumida en P2	U7
Activa (MWh)	6157,825
Reactiva (Mvarh)	3390,219

Si adelantamos un poco el estudio pormenorizado y se analiza esta unidad productiva junto con su subunidad S71 en P2 para descartar posibles errores de medición, se obtiene el siguiente perfil de la Figura 1.24:

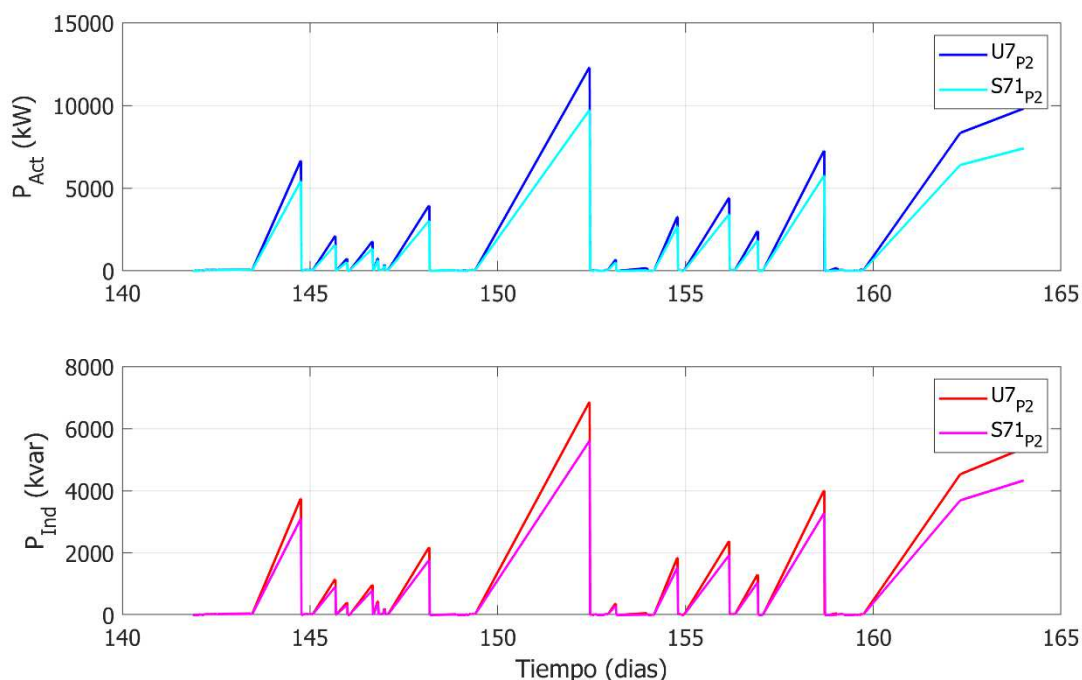


Figura 1.24. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U7 y S71 en P2.

Tal y como queda representado en la Figura 1.24, U7 y S71 están provocando unas rampas que no son características de un perfil de consumo. Esto puede deberse a un problema con los analizadores de esta unidad en concreto, haciendo que se falseen los datos reales de consumo, ya que si nos fijamos en la Figura 1.15 del apartado anterior, el resto del perfil de consumo se mantiene constante a excepción de los 25 días del periodo P2.

Es por esta razón por la que para el análisis pormenorizado de esta unidad U7 y su subunidad S71 se establece un nuevo periodo de análisis P3 de 25 días (del día 180 al 205), obteniendo unos datos más reales para estudiar la posibilidad de reducir el consumo eléctrico en dicha unidad productiva.

Si se obtiene el valor total de las energías consumidas por U7 durante el periodo P3, reflejadas en la Tabla 1.24, se puede ver como los valores obtenidos se acercan más a la realidad.

Tabla 1.24. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U7 en P3.

Energía total consumida en P3	U7
Activa (MWh)	89,903
Reactiva (Mvarh)	53,091

8. Unidad productiva U8

Para finalizar con este análisis general de las unidades productivas principales objeto de estudio, para la unidad productiva U8 se dispone del perfil de consumo en la Figura 1.25 siendo el consumo de energía activa prácticamente 0 Mwh como para P1, y los totales de energía consumida en la Tabla 1.25.

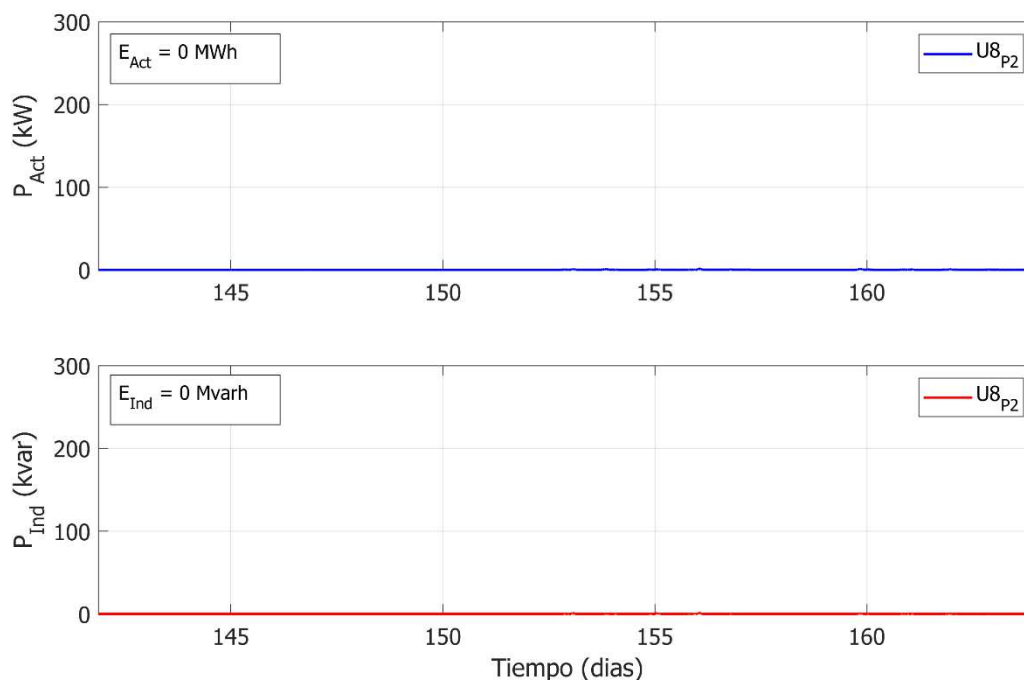


Figura 1.25. Perfil de consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kvarh) de U8 en P2.

Tabla 1.25. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por U8 en P2.

Energía total consumida en P2	U8
Activa (MWh)	0,133
Reactiva (Mvarh)	0,056

A partir de los datos anteriores, y como se puede ver en la Figura 1.3 del apartado 1.7.2.4 se descartan las unidades U3, U4 y U8, y se continua con el análisis pormenorizado del resto de las unidades productivas.

1.8.4 Análisis pormenorizado de las unidades productivas

Para la realización del análisis individual de cada una de las unidades productivas extraídas de las conclusiones del análisis general, compararemos las unidades productivas que son iguales, es decir, en la realidad, son unidades productivas que tienen los mismos equipos y las mismas cargas instaladas en ellas.

Por ello, se realizará el análisis de las siguientes unidades agrupadas, que además resulta que tienen que ser analizadas en el mismo periodo de tiempo:

- U1 y U2 → P1
- U5 y U6 → P2

En el caso de U7, la se estudiará individualmente debido a que es una unidad que no se puede comparar con ninguna de las anteriores, y será evaluada en P3.

Además, en este apartado se centrarán los cálculos y gráficas en el análisis de la energía activa consumida, ya que es para la que se busca una reducción del consumo.

1.8.4.1 Análisis de las subunidades de U1 y U2 en P1

1. Unidades U1 y U2 en P1

Si se compara el perfil de consumo de energía activa de ambas unidades U1 y U2 que son iguales, se obtiene el gráfico de la Figura 1.26, donde se puede ver que el consumo de U2 es superior al de U1.

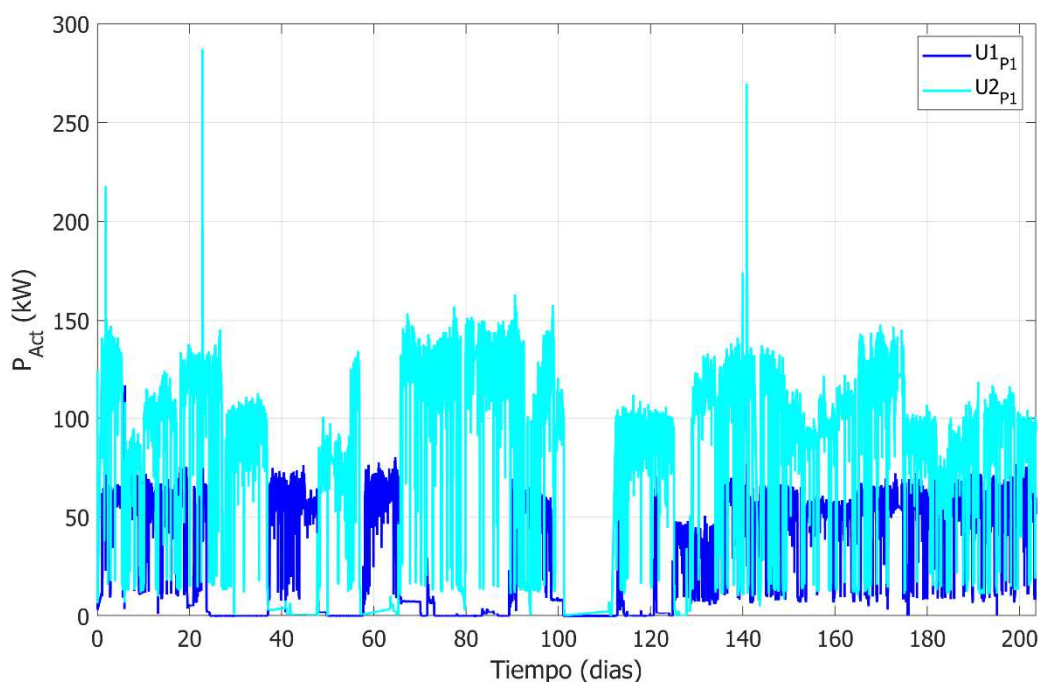


Figura 1.26. Perfil de consumo de energía activa (kWh) de U1 y U2 en P1.

Viendo este perfil de consumo, es necesario evaluar las cargas que se alimentan de estas 2 unidades productivas, para evaluar cuáles son aquellas que tienen una mayor potencia instalada y poder evaluar su consumo de energía activa.

En la Tabla 1.26 se disponen de las subunidades productivas de U1, de las cuales tienen instalados analizadores de redes en S11 y S12 para poder ser evaluadas, ya que son las que mayor potencia nominal instalada poseen.

Tabla 1.26. Potencia instalada (kW) frente a energía activa consumida (kWh) de las subunidades de U1.

Subunidades U1	Potencia Nominal Instalada (kW)	Potencia Nominal Instalada (%)	Energía Activa Consumida (kWh)	Energía Activa Consumida (%)
S11	315	45%	580.131	88%
S12	200	29%	7.055	1%
S13	61	9%	69.442	11%
S14	112	16%		
S15	7	1%		
Total	695	100%	656.628	100%

Del mismo modo que para U1, se obtienen los datos de las subunidades productivas de U2 en la Tabla 1.27.

Tabla 1.27. Potencia instalada (kW) frente a energía activa consumida (kWh) de las subunidades de U2.

Subunidades U2	Potencia Nominal Instalada (kW)	Potencia Nominal Instalada (%)	Energía Activa Consumida (kWh)	Energía Activa Consumida (%)
S21	315	45%	949.751	63%
S22	200	29%	265.167	18%
S23	61	9%	287.866	19%
S24	112	16%		
S25	7	1%		
Total	695	100%	1.502.784	100%

Por lo tanto, viendo que las subunidades productivas que mayor consumo de energía activa representan frente al total de las unidades U1 y U2, y además son las que mayor potencia instalada poseen, se analizarán las subunidades S11 y S21 para el periodo P1.

2. Subunidades S11 y S21 en P1

Como se disponen de los datos consumo debido a que ambas subunidades poseen analizadores de redes, se obtiene el perfil de consumo de energía activa en la Figura 1.27, y los datos de energías totales consumidas en la Tabla 1.28.

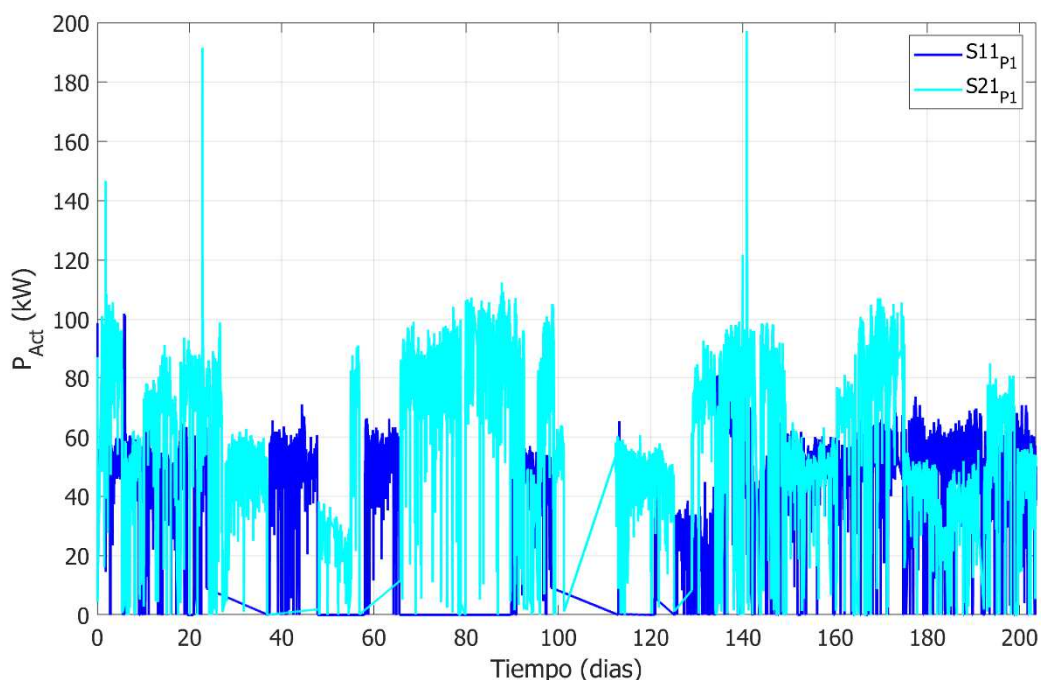


Figura 1.27. Perfil de consumo de energía activa (kWh) de S11 y S21 en P1.

Tal y como puede verse en la gráfica anterior, el consumo de energía activa de la subunidad S21 es ligeramente superior al de S11. Es cierto que también podemos ver como hay en ciertos periodos en los que ambas subunidades se turnan, es decir, cuando consume una no consume la otra. Esto se debe, igual que para las unidades U1 y U2 a la planificación de la producción y al personal disponible para poner en marcha cada una de las unidades.

En la Tabla 1.28 se puede ver el total de energías consumidas durante P1, viendo que en cuanto a energía activa, consume más S21.

Tabla 1.28. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por S11 y S21 en P1.

Energía total consumida en P1	S11	S21
Activa (MWh)	580,131	949,751
Reactiva (Mvarh)	72,685	11,607

Por lo tanto, viendo en la Figura 1.27 que tanto S11 como S21 no alcanzan 120 kW de potencia media durante el perfil de consumo, se puede deducir como ambas subunidades están sobredimensionadas, ya que la potencia instalada en ambas es de 315 kW.

Entonces, a partir de esta deducción se puede realizar una propuesta de mejora para la reducción del consumo de energía eléctrica de ambas subunidades.

1.8.4.2 Análisis de las subunidades de U5 y U6 en P2

1. Unidades U5 y U6 en P2

Comparando el perfil de consumo de energía activa de ambas unidades U5 y U6 que son iguales, se obtiene el gráfico de la Figura 1.28, donde podemos ver que el consumo de U6 es superior al de U5.

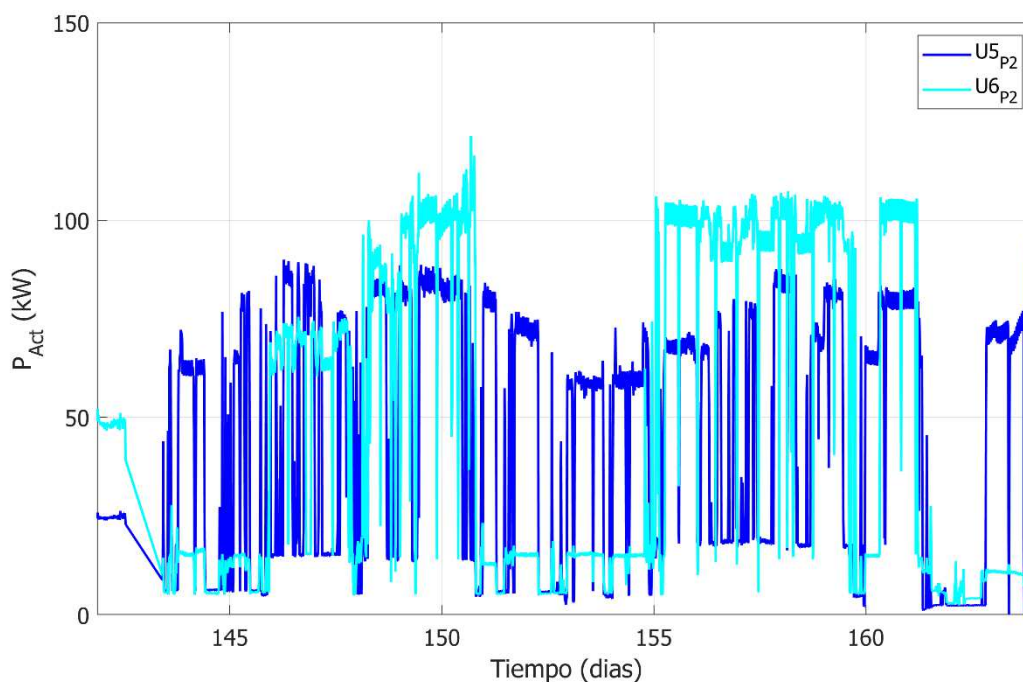


Figura 1.28. Perfil de consumo de energía activa (kWh) de U5 y U6 en P2.

Al igual que en el apartado anterior, viendo este perfil de consumo, es necesario evaluar las cargas que se alimentan de estas 2 unidades productivas para evaluar cuáles son las más significativas a la hora de realizar el estudio pormenorizado.

En la Tabla 1.29 se pueden ver las subunidades productivas de U5, de las cuales S51 y S52 disponen de analizador de redes para poder ser evaluadas.

Tabla 1.29. Potencia instalada (kW) frente a energía activa consumida (kWh) de las subunidades de U5.

Subunidades U5	Potencia Nominal Instalada (kW)	Potencia Nominal Instalada (%)	Energía Activa Consumida (kWh)	Energía Activa Consumida (%)
S51	535	63%	86.757	81%
S52	224	26%	20.573	19%
S53	87	10%	-	-
Total	846	100%	107.331	100%

En este caso, en la tabla anterior se puede ver como el consumo de energía activa de las subunidades es superior a la energía activa consumida por la unidad U5, 94.179 kWh, como puede verse en la Tabla 1.21.

Esta diferencia es debida a que, en las unidades U5 y U6 existen muchas franjas dentro del periodo completo P1 en el que se ha tenido que interpolar para tener unos datos que analizar.

Por lo tanto, no tiene sentido continuar con el análisis de esta unidad y sus subunidades, debido a que los datos que se están adquiriendo de los analizadores de redes instalados no son reales frente a las cargas instaladas existentes.

Al igual que para U5, en la Tabla 1.30 se obtienen las cargas más significativas de las subunidades de U6.

Tabla 1.30. Potencia instalada (kW) frente a energía activa consumida (kWh) de las subunidades de U6.

Subunidades U6	Potencia Nominal Instalada (kW)	Potencia Nominal Instalada (%)	Energía Activa Consumida (kWh)	Energía Activa Consumida (%)
S61	535	67%	97.794	84%
S62	181	23%	19.066	16%
S63	87	11%	-	-
Total	803	100%	116.860	100%

En este caso, ocurre exactamente lo mismo que para U5, ya que el consumo de energía activa de las subunidades de U6 es superior al que tiene dicha unidad por sí sola para el mismo periodo P2, 100.222 kWh (extraído de la Tabla 1.22).

Entonces, realizado el análisis pormenorizado de las subunidades de U5 y U6, se decide descartar estas unidades, ya que la propuesta de mejora para la reducción de consumo de las mismas estará basada en datos no fiables.

1.8.4.3 Análisis de la subunidad de U7 en P3

1. Análisis de U7 en P3

Por último, queda analizar la unidad U7 en P3, para ver el perfil de consumo de energía activa que tiene esta unidad, obteniendo el gráfico de la Figura 1.29, y los valores totales de energía consumida en la Tabla 1.24 expuesta en el apartado 1.8.3.2 del presente trabajo.

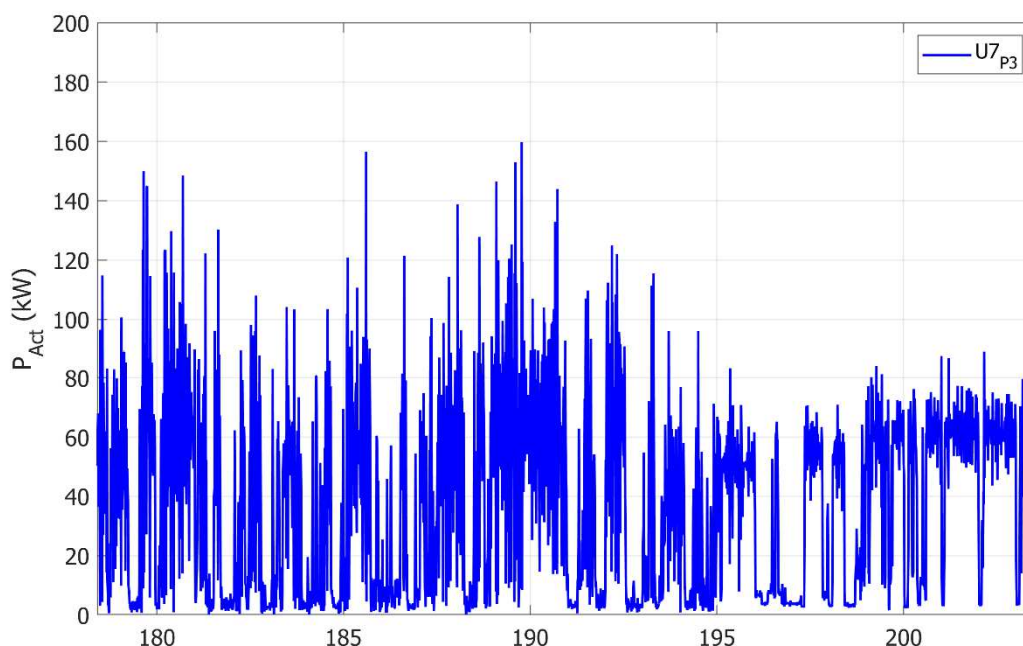


Figura 1.29. Perfil de consumo de energía activa (kWh) de U7 en P3.

Tal y como se puede observar en la Figura 1.29, el perfil de consumo de energía activa en este periodo P3 es mucho más representativo y acorde con la realidad que lo evaluado de esta misma unidad en P2.

Para evaluar de dónde proceden estos picos de consumo, es necesario analizar las cargas o subunidades más significativas de la unidad U7, siendo éstas las contenidas en la Tabla 1.31.

Tabla 1.31. Potencia instalada (kW) frente a energía activa consumida (kWh) de las subunidades de U7.

Subunidades U7	Potencia Nominal Instalada (kW)	Potencia Nominal Instalada (%)	Energía Activa Consumida (kWh)	Energía Activa Consumida (%)
S71	250	57%	78.214	87%
S72	132	30%	11.688	13%
S73	60	14%		
Total	442	100%	89.902	100%

En este caso se puede observar cómo el consumo de energía eléctrica de S71 es el más relevante respecto al resto de subunidades, y además se dispone de valores de consumo reales de dicha subunidad, ya que al tener una potencia nominal instalada de 250 kW, existe un analizador de redes que permite realizar el análisis pormenorizado de la subunidad.

2. Subunidad S71 en P3

A partir de los datos de energía consumida recogidos por el analizador de redes de S71, en la Figura 1.30 se dispone del perfil de consumo de energía activa de dicha subunidad, y en la Tabla 1.32 los valores totales de las energías consumidas por S71.

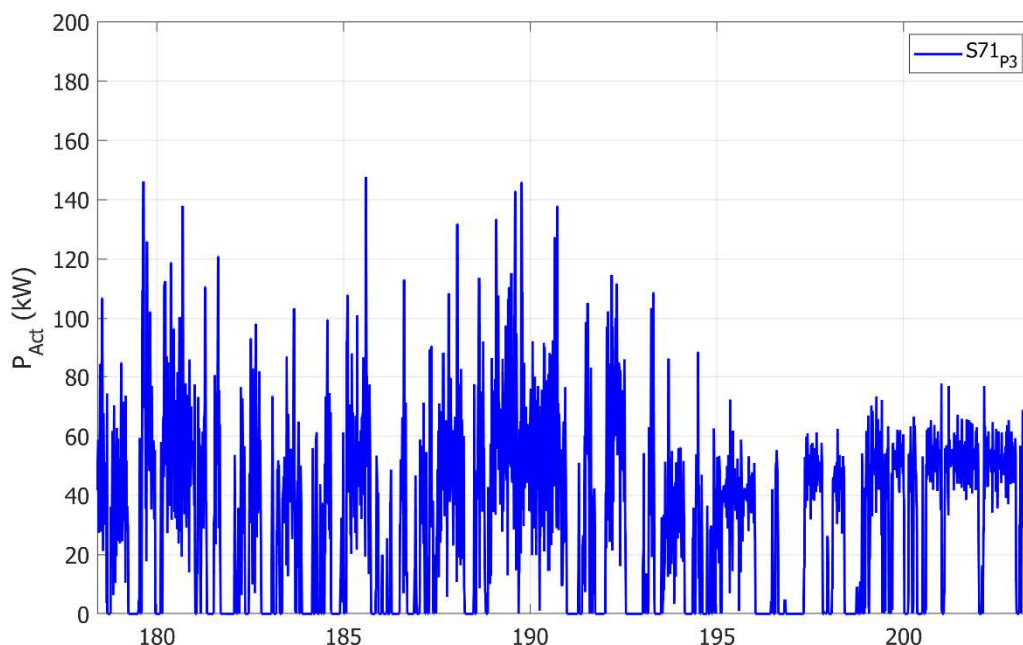


Figura 1.30. Perfil de consumo de energía activa (kWh) de S71 en P3.

De la Figura 1.30 podemos extraer que es la subunidad S71 la que está provocando los picos de consumo que podemos ver en la unidad U7. Esto se debe a las características técnicas de esta subunidad, que como ya se ha avanzado anteriormente, se trata de un motor de corriente continua que provoca estos picos de consumo cuando realiza la maniobra de arranque/paro de la unidad principal U7.

Tabla 1.32. Totales energía activa (MWh) y reactiva (Mvarh) consumidas por S71 en P3.

Energía total consumida en P3	S71
Activa (MWh)	78,214
Reactiva (Mvarh)	48,132

En la Tabla 1.32 se observa como el consumo total de energía activa de S71 se acerca mucho más a la realidad que los valores obtenidos del estudio en P2, que falseaban el consumo total de la unidad aumentándolo muy por encima de la potencia instalada de dicha unidad, y que carecía de sentido.

Igual que para las subunidades estudiadas anteriormente, en la Figura 1.30 referente a S71 se puede ver como durante todo P3, dicha unidad no alcanza un pico de potencia absorbida superior a los 160 kW, siendo bastante inferior a los 250 kW de potencia nominal instalada en dicha subunidad.

Entonces, a partir de esta deducción se puede realizar una propuesta de mejora para la reducción del consumo de energía eléctrica de S71.

1.8.5 Análisis de propuestas para la disminución del consumo eléctrico

Para llevar a cabo dichas propuestas se analizará cada una de las subunidades restantes obteniendo el pico de potencia máxima consumida que se evaluará frente a la potencia nominal de dichas subunidades.

1.8.5.1 Propuesta de mejora para U1 y U2

Tal y como se estudió en los apartados anteriores, en este caso se tendrá que hacer lo mismo para las subunidades que son iguales. En el caso de S11 y S21, se trata de un motor AC cuya potencia nominal instalada en ambos casos es de 315 kW.

Los datos técnicos de dichos motores, los cuales estamos evaluando para disminuir su consumo eléctrico se encuentran en la Tabla 1.33.

Tabla 1.33. Datos técnicos motores actuales de S11 y S21.

Datos técnicos motores S11 - S21	
Potencia nominal (kW)	315
Tensión alimentación (V)	400
Frecuencia (Hz)	50
Velocidad (min-1)	1488
Clase IP	55
Clase IE	-

A partir de los perfiles de consumo analizados anteriormente, se obtiene el pico de potencia activa consumida de cada una de estas 2 subunidades, tal y como se muestra a continuación en la Tabla 1.34.

Tabla 1.34. Potencia nominal vs. Pico potencia activa máxima motores actuales S11 y S21.

Subunidades	Potencia Nominal Instalada (kW)	Energía Activa Consumida (kWh)	Pico Potencia Activa (kW)	Índice Carga Motores (%)
S11	315	580.131	162	51 %
S21	315	949.751	197	63 %

A raíz del valor del pico de potencia activa consumida, y frente a la potencia nominal instalada, se calcula el índice de carga del motor actual, y se presenta a continuación el procedimiento de cálculo para seleccionar un motor adecuado al perfil de consumo de las subunidades S11 y S21.

En este caso, como el pico de potencia más alto entre S11 y S21 (que son iguales) es la obtenida en S21, se realiza una propuesta de sustitución del motor en función de dicho valor, ya que así en un futuro ambas unidades podrán seguir siendo iguales y mantener las mismas características técnicas.

Primero, se realiza una aproximación matemática con los valores del fabricante en Microsoft Excel®, y posteriormente obtendremos los perfiles de consumo tanto para el motor actual como para el nuevo motor y la potencia útil real de ambos mediante Matlab®.

Sabiendo que el motor actual tiene una potencia nominal de 315 kW, se puede calcular su curva de rendimiento en función del índice de carga mediante la expresión (1):

$$C_{S21} = \frac{P_u}{P_N} \times 100 \quad (1)$$

Y la potencia útil del motor, será la potencia máxima absorbida por el motor actual de 315 kW según la ecuación (2):

$$P_u = P_{abs,max} = 197,25 \text{ kW} \quad (2)$$

Por lo tanto, el índice de carga al que está trabajando actualmente el motor S21 es:

$$C_{S21} = \frac{P_u}{P_N} \times 100 = \frac{197,25}{315} \times 100 = 63 \% \quad (3)$$

Si se toma como referencia el valor máximo de la potencia absorbida del motor actual, se debe buscar un motor alternativo cuya potencia nominal cumpla la siguiente condición de la ecuación (4):

$$P_N \geq P_{abs,max} = 197,25 \text{ kW} \quad (4)$$

Buscando en el catálogo de ABB [1] un motor que cumpla con el requisito de tener una potencia nominal inmediatamente superior a la potencia absorbida anterior, se toma el modelo M3BP 315LKB 4 de 200 kW de potencia nominal, cuyas características técnicas se encuentra en el Anexo 2.2 de este trabajo.

En la Tabla 1.35 se disponen los datos más relevantes para el nuevo motor de 200 kW.

Tabla 1.35. Datos técnicos motores nuevos para S11 y S21.

Datos técnicos motores nuevos S11, S21	
Potencia nominal (kW)	200
Tensión alimentación (V)	400
Frecuencia (Hz)	50
Velocidad (min-1)	1490
Clase IP	55
Clase IE	IE4

Si se realiza la gráfica de las curvas de rendimiento, tanto del motor actual de 315 kW como del nuevo motor de 200 kW, se obtiene la Figura 1.31. Por lo tanto, si el motor sigue trabajando a una potencia de 197,25 kW como máximo, con el nuevo motor tendremos un rendimiento superior frente al del motor actual.

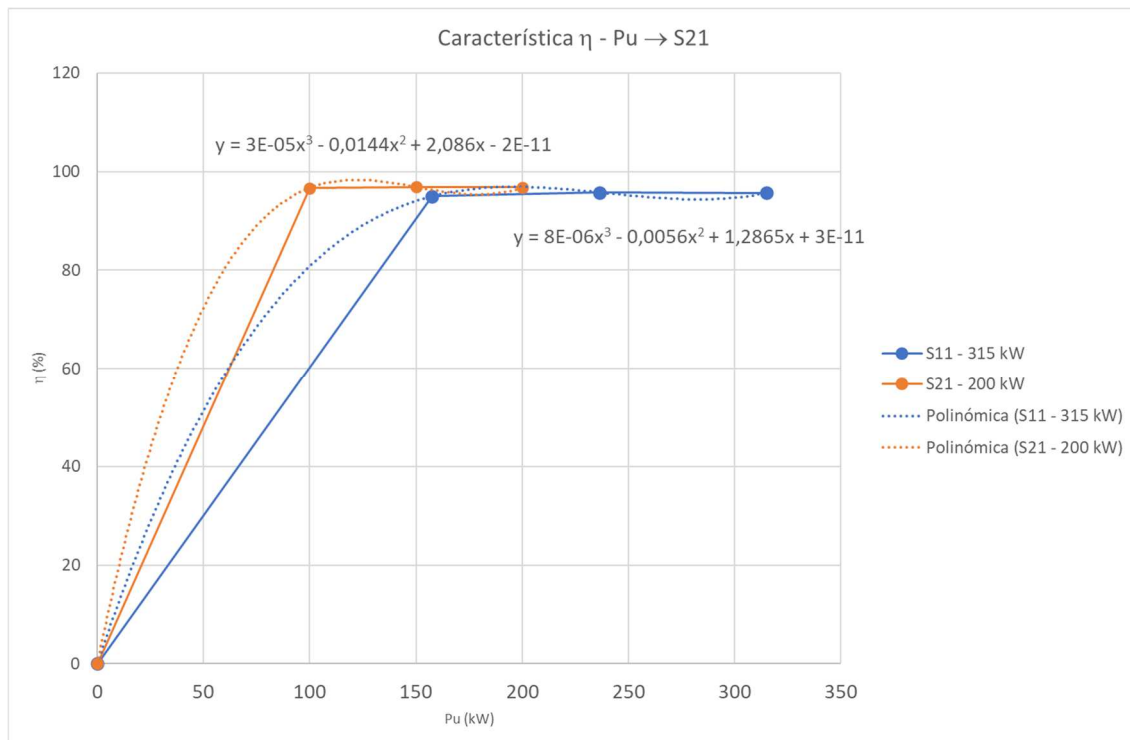


Figura 1.31. Curvas de potencia útil frente al rendimiento de los motores actual y nuevo para S11 y S21.

De ambas curvas de eficiencia de ambos motores cuyos valores son proporcionados por el fabricante, se obtiene una aproximación polinómica cuya expresión servirá para calcular posteriormente el perfil de consumo del nuevo motor y la potencia útil real de ambos motores (tanto el nuevo como el antiguo).

La expresión matemática (5) para calcular el rendimiento del motor actual de 315 kW es:

$$y = 8 \times 10^{-6}x^3 - 0,0056x^2 + 1,2865x + 3 \times 10^{-11} \quad (5)$$

Y la expresión (6) para el cálculo del rendimiento del motor nuevo de 200 kW es:

$$y = 3 \times 10^{-5}x^3 - 0,0144x^2 + 2,086x - 2 \times 10^{-11} \quad (6)$$

Con ambas curvas obtenidas de realizar la aproximación mediante los datos del fabricante de los motores en Microsoft Excel®, se obtienen las siguientes curvas de potencia para cada uno de los motores, representadas en la Figura 1.32:

- Motor actual 315 kW → Potencia útil vs. Potencia absorbida a 315 kW (en azul).
- Motor nuevo 200 kW → Potencia absorbida a 200 kW vs. Potencia útil (en naranja).

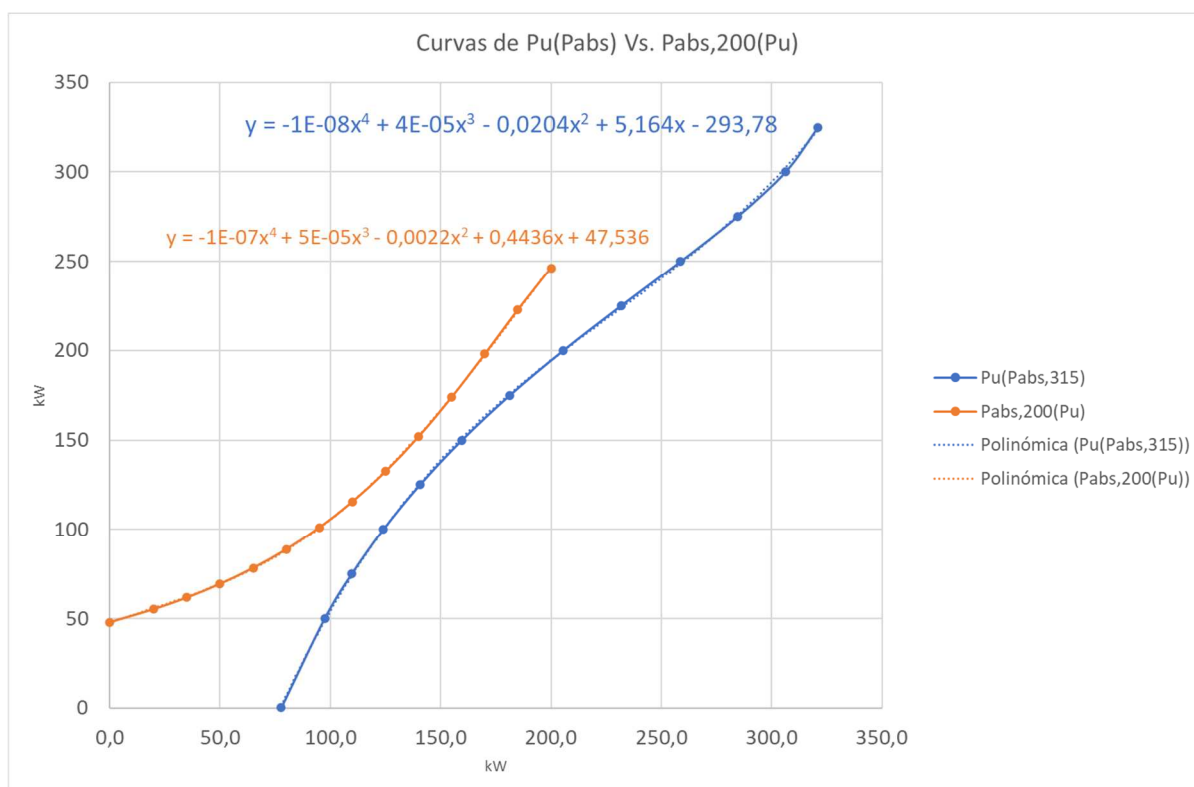


Figura 1.32. Curvas de potencia de los motores actual y nuevo para S11 y S21.

Con ambas curvas, se obtiene la potencia mínima consumida por cada uno de los motores en los puntos que cortan con los ejes, siendo estos valores de (7) y (8):

$$P_{abs,min}(315) = 77,8 \text{ kW} \quad (7)$$

$$P_{abs,min}(200) = 48,0 \text{ kW} \quad (8)$$

Pasando esta información a Matlab®, se puede realizar el cálculo del ahorro energético con la sustitución de S11 y S21.

1. Sustitución S11

Teniendo el perfil de potencia absorbida por el motor actual instalado en S11 de 315 kW, y con las aproximaciones matemáticas anteriores, se obtiene el perfil de potencia útil de dicho motor.

Posteriormente se calcula el perfil de potencia absorbida para el nuevo motor propuesto de 200 kW, teniendo en cuenta los consumos mínimos de potencia de cada uno de ellos obtenidos anteriormente, tal y como se puede ver en la Figura 1.33.

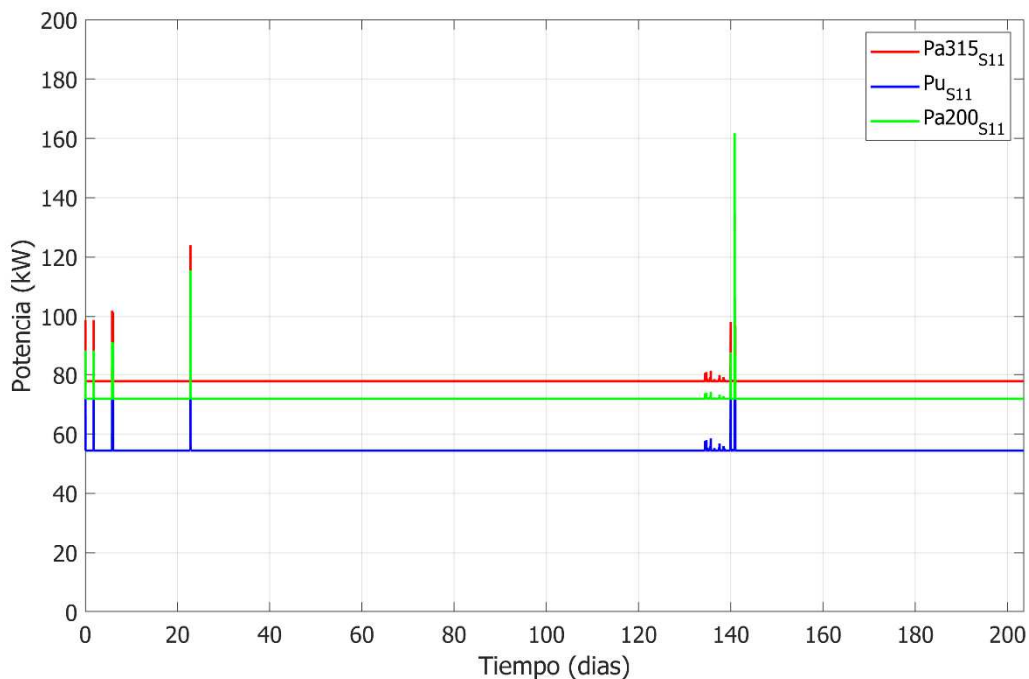


Figura 1.33. Perfiles de potencia útil y absorbida de los motores de 315 kW y 200 kW para S11.

En la Figura 1.33 se puede ver cómo el nuevo motor de 200 kW mantiene su consumo de energía eléctrica por debajo del motor actual de 315 kW, permitiendo así un ahorro energético en este punto, que se calculará en el siguiente apartado.

2. Sustitución S21

En este caso, y del mismo modo que para S11, los perfiles de consumo de energía eléctrica de los motores de 315 kW y de 200 kW están en la Figura 1.34.

Por lo tanto, también se obtendrá un ahorro energético para esta subunidad, ya que el nuevo motor de 200 kW consumirá menos energía que el motor instalado actualmente, supliendo la potencia demandada por la subunidad productiva (potencia útil) en todo momento.

Para cuantificar el ahorro energético de esta subunidad, se calculará en el siguiente apartado de este trabajo, al igual que para la subunidad S11.

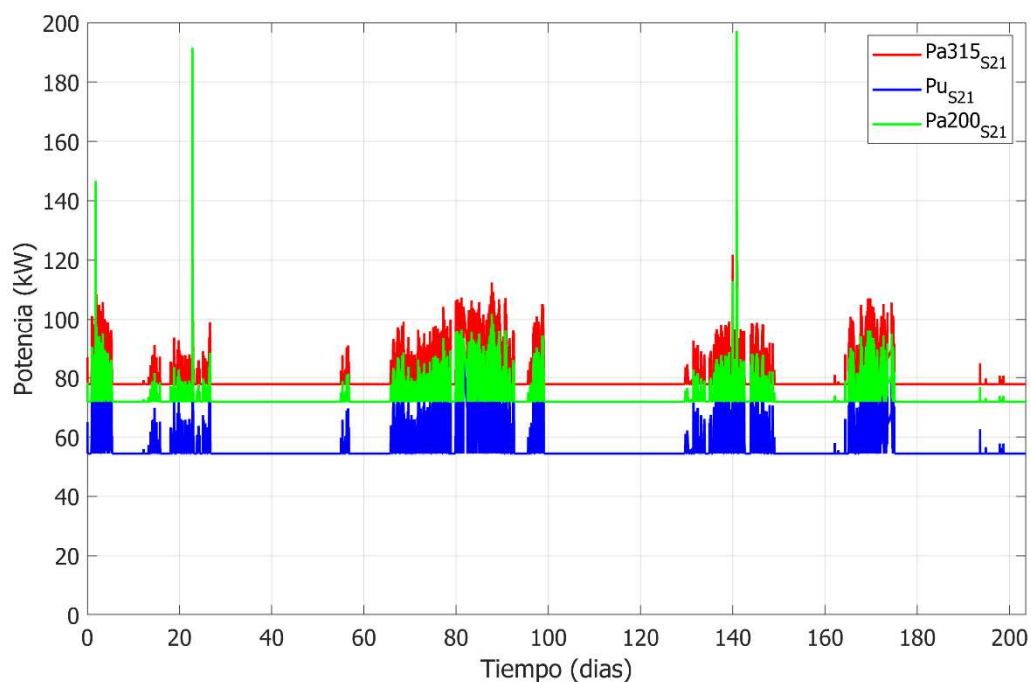


Figura 1.34. Perfiles de potencia útil y absorbida de los motores de 315 kW y 200 kW para S21.

1.8.5.2 Propuesta de mejora para U7

Para disminuir el consumo de energía eléctrica en el caso de la unidad U7, se debe realizar la sustitución de S71, como se ha comentado anteriormente.

En el caso de S71 se trata de un motor DC cuya potencia nominal instalada es de 250 kW. Los datos técnicos de dicho motor, el cual se está evaluando para disminuir su consumo eléctrico se encuentran en la Tabla 1.36.

Tabla 1.36. Datos técnicos motores actuales de S71.

<i>Datos técnicos motor S71</i>	
Potencia nominal (kW)	200
Tensión alimentación (V)	400
Frecuencia (Hz)	50
Velocidad (min-1)	1500
Clase IP	-
Clase IE	-

A partir del perfil de consumo de energía eléctrica analizado anteriormente, se puede obtener el pico de potencia activa consumida de S71, tal y como se muestra a continuación en la Tabla 1.37.

Tabla 1.37. Potencia nominal vs. Pico potencia activa máxima motor actual S71.

Subunidades	Potencia Nominal Instalada (kW)	Energía Activa Consumida (kWh)	Pico Potencia Activa (kW)	Índice Carga Motor (%)
S71	250	78.214	148	59 %

A raíz del valor del pico de potencia activa consumida, y frente a la potencia nominal instalada, se calcula el índice de carga del motor actual, y se presenta a continuación el procedimiento de cálculo para seleccionar un motor adecuado al perfil de consumo de energía eléctrica de la subunidad S71.

Primero, se realiza una aproximación matemática con los valores del fabricante en Microsoft Excel®, y posteriormente se obtienen los perfiles de consumo tanto para el motor actual como para el nuevo motor y la potencia útil real de ambos mediante Matlab®.

Sabiendo que el motor actual tiene una potencia nominal de 250 kW, se puede obtener su curva de rendimiento en función del índice de carga mediante la expresión (9):

$$C_{S71} = \frac{P_u}{P_N} \quad (9)$$

Y la potencia útil del motor, será la potencia máxima absorbida por el motor actual de 250 kW, según la ecuación (10):

$$P_u = P_{abs,max} = 147,63 \text{ kW} \quad (10)$$

Por lo tanto, el índice de carga al que está trabajando actualmente el motor S71 es:

$$C_{S71} = \frac{P_u}{P_N} = \frac{147,63}{250} \times 100 = 59 \% \quad (11)$$

Si se toma como referencia el valor máximo de la potencia absorbida del motor actual, se debe buscar un motor alternativo cuya potencia nominal cumpla la siguiente condición de la expresión (12):

$$P_N \geq P_{abs,max} = 147,63 \text{ kW} \quad (12)$$

Buscando en el catálogo de ABB [1] un motor que cumpla con el requisito de tener una potencia nominal inmediatamente superior a la potencia absorbida anterior, se toma el modelo M3BP 315MLB 4 de 160 kW de potencia nominal, cuyas características técnicas se encuentra en el Anexo 2.2 de este trabajo.

Tabla 1.36. Datos técnicos motor nuevo para S71.

Datos técnicos motor nuevo S71	
Potencia nominal (kW)	160
Tensión alimentación (V)	400
Frecuencia (Hz)	50
Velocidad (min-1)	1490
Clase IP	55
Clase IE	IE4

Si se realiza la gráfica de las curvas de rendimiento, tanto del motor actual de 250 kW como del nuevo motor de 160 kW, se obtiene la Figura 1.35. Por lo tanto, si el motor sigue trabajando a una potencia de 147,63 kW como máximo, con el nuevo motor tendremos un rendimiento superior frente al del motor actual.

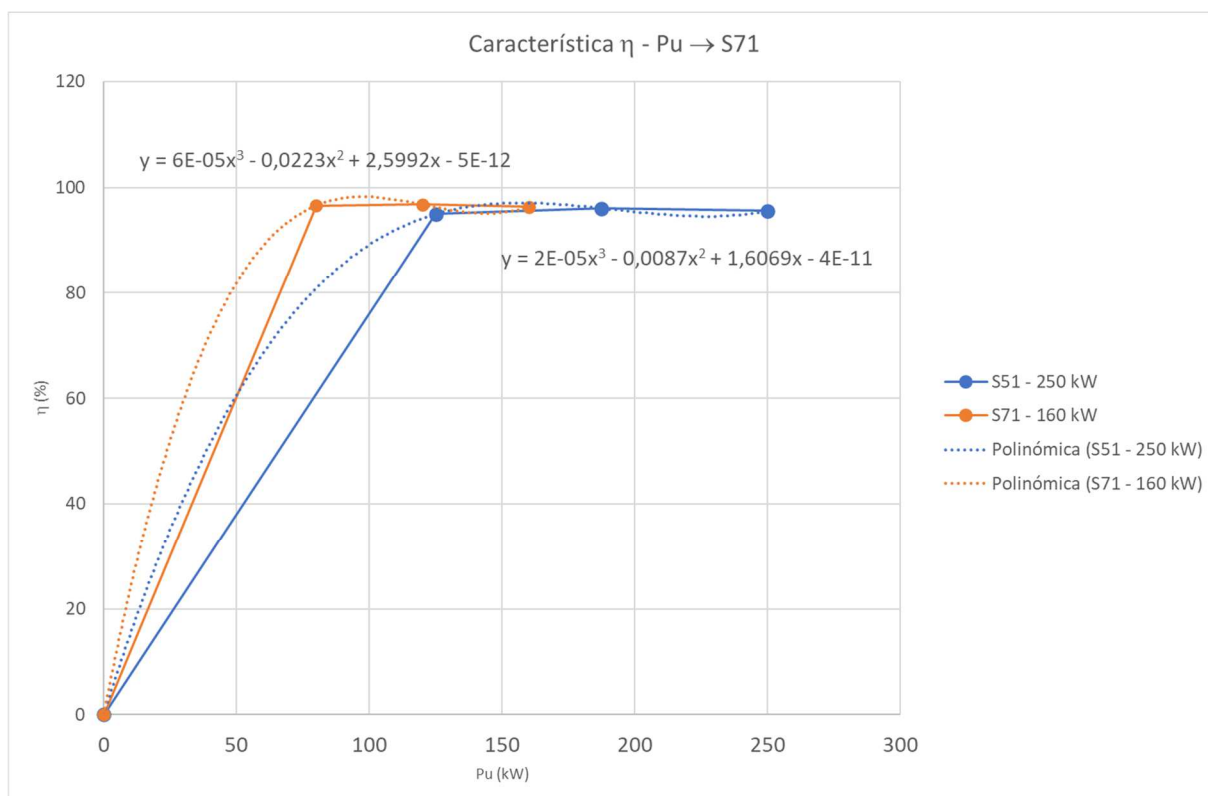


Figura 1.35. Curvas de potencia útil frente al rendimiento de los motores de 250 kW y 160 kW para S71.

Por lo tanto, si el motor sigue trabajando a una potencia de 147,63 kW como máximo, con el nuevo motor se dispone de un rendimiento superior frente al del motor actual. De ambas curvas de eficiencia de ambos motores que proporciona el fabricante, se obtiene una aproximación polinómica, cuya expresión servirá para calcular posteriormente el perfil de consumo del nuevo motor y la potencia útil real de ambos motores (tanto el nuevo como el antiguo).

La expresión matemática (13) para calcular el rendimiento del motor actual de 250 kW es:

$$y = 2 \times 10^{-5}x^3 - 0,0087x^2 + 1,6069x - 4 \times 10^{-11} \quad (13)$$

Y la expresión (14) para el cálculo del rendimiento del motor nuevo de 160 kW es:

$$y = 6 \times 10^{-5}x^3 - 0,0223x^2 + 2,5992x - 5 \times 10^{-12} \quad (14)$$

Con ambas curvas obtenidas de realizar la aproximación mediante los datos del fabricante de los motores en Microsoft Excel®, se obtienen las siguientes curvas de potencia para cada uno de los motores de la Figura 1.36:

- Motor actual 250 kW → Potencia útil vs. Potencia absorbida a 250 kW
- Motor nuevo 160 kW → Potencia absorbida a 160 kW vs. Potencia útil.

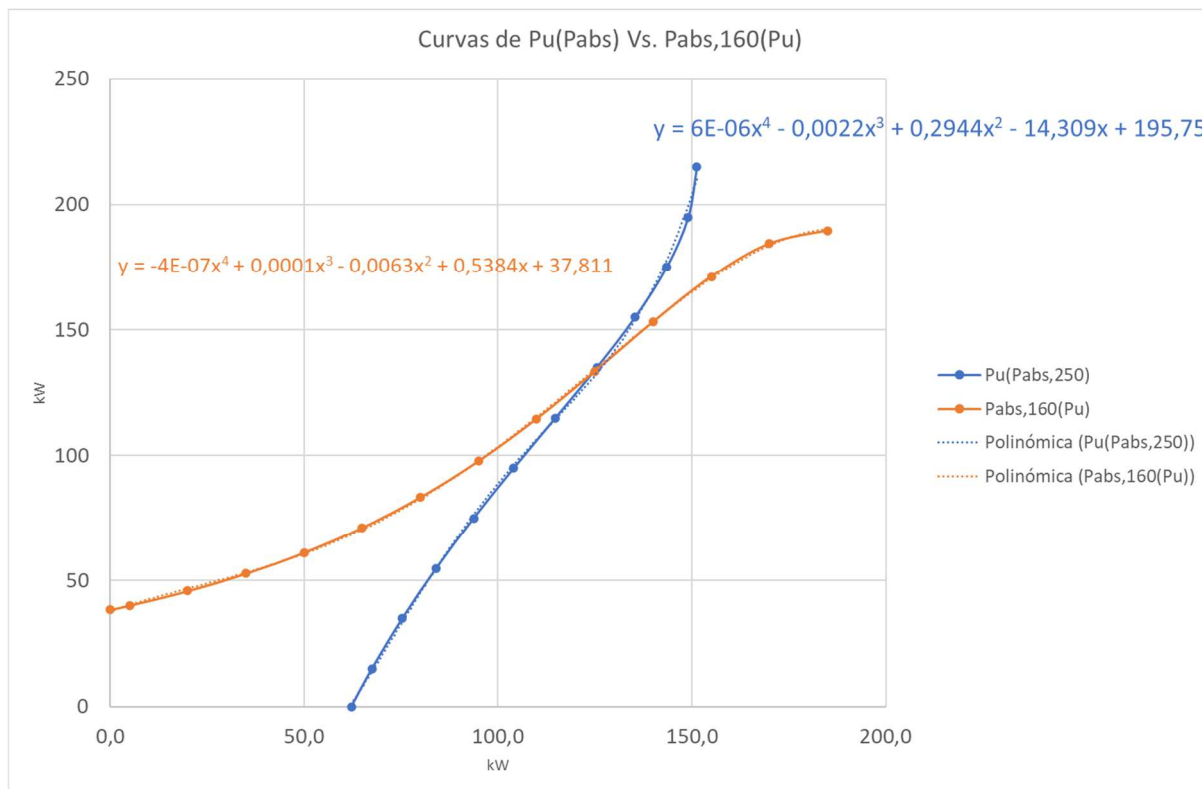


Figura 1.36. Curvas de potencia de los motores actual y nuevo para S71.

Con ambas curvas, podemos obtener la potencia mínima consumida por cada uno de los motores, siendo estos valores de (15) y (16):

$$P_{abs,min}(250) = 62,2 \text{ kW} \quad (15)$$

$$P_{abs,min}(160) = 38,5 \text{ kW} \quad (16)$$

Pasando esta información a Matlab®, se puede realizar el cálculo del ahorro energético con la sustitución de S71.

1. Sustitución S71

Teniendo el perfil de potencia absorbida por el motor actual instalado en S71 de 250 kW, y con las aproximaciones matemáticas anteriores, se obtiene el perfil de potencia útil de dicho motor.

Posteriormente se calcula el perfil de potencia absorbida para el nuevo motor propuesto de 160 kW, teniendo en cuenta los consumos mínimos de potencia de cada uno de ellos obtenidos anteriormente, tal y como se puede ver en la Figura 1.37.

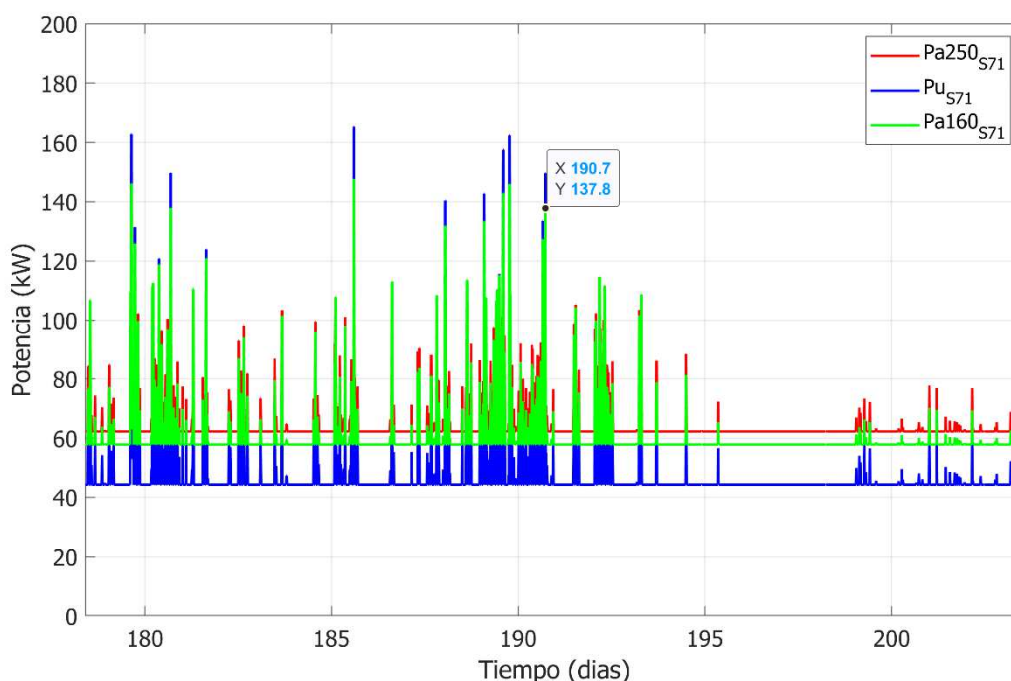


Figura 1.37. Perfiles de potencia útil y absorbida de los motores de 250 kW y 160 kW para S71.

En la Figura 1.37 se puede visualizar cómo el nuevo motor de 160 kW mantiene su consumo de energía eléctrica por debajo del motor actual de 250 kW, permitiendo así un ahorro energético en este punto, que se calculará en el siguiente apartado.

Del mismo modo, se puede observar cómo en ciertos picos puntuales de la potencia útil (en azul), la nueva curva de potencia absorbida del motor de 160 kW (en verde) no alcanza dichos valores. Al producirse este fenómeno en momentos muy concretos, no habría problema con el motor nuevo para que la unidad productiva funcione correctamente.

Además, cabe destacar que ahora se dispone un perfil de consumo de energía eléctrica para un motor actual DC, mientras que al sustituirlo por un motor AC más eficiente, se reducirán estos picos de arranque/paro producidos por el motor DC.

1.8.6 Cuantificación del ahorro de energía eléctrica

Por último, para obtener el ahorro de energía eléctrica para cada una de las subunidades anteriores, una vez se ha realizado la sustitución de la tecnología actual por una más eficiente, se ha calculado mediante la ecuación (17):

$$ahorro (\%) = \frac{\sum(E_{abs,actual} - E_{abs,nuevo})}{\sum E_{abs,actual}} \times 100 \quad (17)$$

De manera que, en la Tabla 1.8 se puede ver el porcentaje de energía eléctrica ahorrada de cada una de las subunidades S11, S21 y S71.

Aplicando este tanto por ciento de energía ahorrada en cada uno de los periodos en los que se han estudiado las diferentes subunidades sobre el valor de energía total consumida en dichos periodos, se obtiene el ahorro energético en kWh.

Si se traduce este valor de consumo de energía eléctrica ahorrada (kWh) a un valor económico, sabiendo que el precio del kWh que tenemos es de 0,11 €/kWh, se obtienen los valores de la Tabla 1.38

Tabla 1.38. Ahorro energético y económico de las subunidades S11, S21 y S71 en cada periodo.

Subunidades	Periodo	Energía Activa Consumida (kWh)	Ahorro energético (%)	Ahorro energético (kWh)	Ahorro económico (€)
S11	P1	580.131	7,60 %	44.090	4.850
S21	P1	949.751	8,07 %	76.645	8.431
S71	P3	78.214	6,88 %	5.381	592

Obteniendo que el coste de la inversión de los nuevos motores de 200 kW y el motor de 160 kW del listado de precios de 2019 de ABB del Anexo 2.3, el retorno de la inversión en cada uno de los casos será:

Tabla 1.39. Ahorro económico y retorno de la inversión de las subunidades S11, S21 y S71.

Subunidades	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Payback (años)
S11	27.441	8.635	3,18
S21	27.441	15.011	1,83
S71	22.273	8.643	2,58
Total	77.155	32.289	2,39

María Valls Gómez

**Análisis del consumo eléctrico de una planta industrial
para su disminución**

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por el Dr. Luis Guasch Pesquer
ANEXOS**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona
2021**

Índice

2	Anexos.....	1
2.1	Ficha técnica analizadores de redes	1
2.2	Ficha técnica motores ABB	3
2.3	Listado de precios 2019 motores ABB.....	5

2 Anexos

2.1 Ficha técnica analizadores de redes

CEM-C31

Contador trifásico de energía eléctrica con medida indirecta para montaje en carril DIN



Descripción

Contador trifásico de energía eléctrica con medida indirecta 5(10)A. Dispone de display LCD (7 dígitos) con sistema de pantallas rotativas. Dispone de comunicaciones RS-485 integradas. Dispone también de 2 botones (1 precintable) para visualizar toda la información medida.

Otras características son:

- Clase 1 en energía activa, Clase 2 en energía reactiva
- Conforme a la **IEC 62052-11** (normativa internacional)
- Tamaño reducido (4 módulos, 72 mm)
- Contador parcial reseteable
- 1 Salida impulsos programable según **DIN 43864**
- Indicación por pantalla de mal conexionado
- Acumulación de energía incluso en caso de mal conexionado

Aplicaciones

- Contador redundante para verificar la energía imputada por la distribuidora de energía.
- Reporte del consumo energético a un sistema remoto (PLC/BMS).
- Control de costes para obtención de ratio consumo/unidad en procesos industriales.
- Visualización de parámetros eléctricos (V, A, kW, kWh, PF, etc.) por fase y trifásicos.

Características técnicas

Circuito de alimentación	Tensión Nominal	230 Vc.a. / 127 Vc.a. según modelo
	Tolerancia	± 20%
	Frecuencia	50...60 Hz
	Consumo	< 2 W / 10 VA
Circuito de medida de tensión	Conexionado	Trifásico
	Tensión de referencia	3 x 57/100...3 x 230/400 Vc.a.
	Frecuencia	50 / 60 Hz
	Autoconsumo	< 2 W / 10 VA
Circuito de medida de corriente	Corriente nominal I_n	5 A
	Corriente máxima	10 A
	Autoconsumo	< 0,1 % de I_n
Precisión	Energía Activa	Clase 1 (IEC 62053-21)
	Energía Reactiva	Clase 2.0 (IEC 62053-23)
Comunicaciones	Hardware	RS-485
	Protocolo	Modbus
	Baud rate	9600, 19200, 38400 bps
Salida de impulsos	Tipo	Optoacoplada
	Características eléctricas	máx. 24 Vc.c. 50 mA
Características ambientales	Temperatura de trabajo	-25...+70 °C
	Humedad relativa	5...95% sin condensación
Características mecánicas	Grado de protección	IP 51 Instalado / IP 40 Bornes
	Dimensiones	70 x 90 x 64 mm
	Peso	230 g
	Material	ABS + Policarbonato V0 Autoextinguible
Normas	IEC 62052-11, IEC 62053-21, IEC 62053-23	

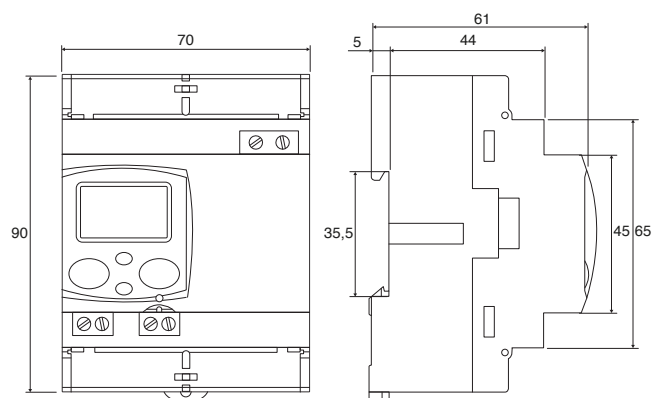
CEM-C31

Contador trifásico de energía eléctrica con medida indirecta para montaje en carril DIN

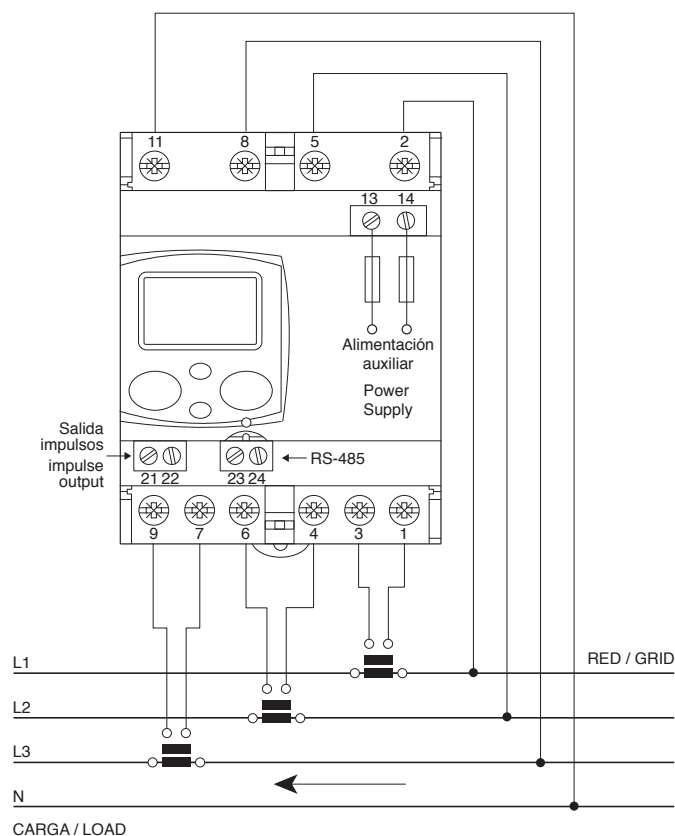
Referencias

Tipo	Código	Parámetros medidos	Activa	Reactiva
CEM-C31	Q23442	V, A, kW, kWh, kvar, kvarh, PF	●	●

Dimensiones



Conexiones

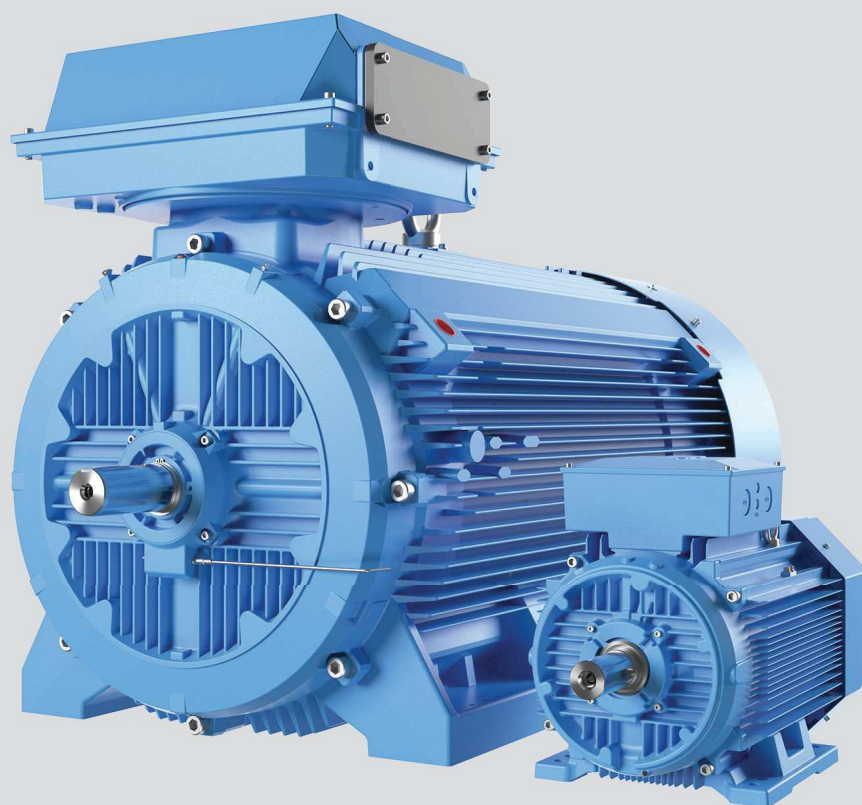


2.2 Ficha técnica motores ABB

CATALOG | DECEMBER 2020

Low voltage

Process performance motors
400 V 50 Hz, 460V 60 Hz



Technical data, 400 V 50 Hz

IE4 cast iron motors

IP 55 - IC 411 - Insulation class F, temperature rise class B
IE4 efficiency class according to IEC 60034-30-1: 2014

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-30-1: 2014			Power factor Cosφ	Current		Torque		Moment of inertia J = 1/4 GD²kgm²	Weight kg	Sound pressure Level L _{PA} dB	
				Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%		I _N A	I _s /I _N	T _N Nm	T _i /T _N				T _b /T _N
1500 r/min = 4 poles				400 V 50 Hz			CENELEC-design								
11	M3BP 160MLA 4	3GBP162410---M	1477	93.3	93.4	92.9	0.79	21.6	7.6	71.1	2.7	3.7	0.123	188	62
15	M3BP 160MLB 4	3GBP162420---M	1478	93.9	94.1	93.2	0.76	30.3	8.3	98.4	3.5	3.9	0.127	175	62
18.5	M3BP 180MLA 4	3GBP182410---M	1482	94.2	94.2	93.5	0.83	34.2	8.6	121	3.0	3.8	0.191	226	62
22	M3BP 180MLB 4	3GBP182420---M	1479	94.5	95.0	94.9	0.82	41	6.7	142	2.1	2.7	0.188	232	62
30	M3BP 200MLA 4	3GBP202410---M	1486	94.9	94.9	94.2	0.76	59.8	8.7	194	4.1	4.2	0.369	304	63
37	M3BP 225SMA 4	3GBP222210---M	1480	95.2	95.7	95.6	0.84	66.8	7.5	239	3.1	3.2	0.536	383	66
45	M3BP 225SMB 4	3GBP222220---M	1478	95.4	96.0	96.2	0.85	80.1	7.3	291	2.5	2.9	0.536	403	66
55	M3BP 250SMA 4	3GBP252210---M	1483	95.7	95.8	95.4	0.83	100	7.8	354	3.3	3.5	0.933	467	67
75	M3BP 280SMC 4	3GBP282230---M	1487	96.0	96.4	96.1	0.86	130	7.8	481	2.8	2.9	1.85	725	72
90	M3BP 280MLA 4	3GBP282410---M	1489	96.1	96.5	96.4	0.85	160	8.8	577	3.4	3.2	2.3	840	72
110	M3BP 315SMC 4	3GBP312230---M	1491	96.3	96.5	96.1	0.85	194	7.8	704	2.4	3.1	2.9	1000	68
132	M3BP 315SMD 4	3GBP312240---M	1490	96.4	96.6	96.2	0.85	234	7.9	846	2.6	3.2	3.2	1065	68
160	M3BP 315MLB 4	3GBP312420---M	1490	96.6	96.8	96.4	0.87	278	7.9	1026	2.7	3.0	3.9	1220	68
200	M3BP 315LKB 4	3GBP312820---M	1490	96.7	96.9	96.8	0.87	346	7.6	1282	2.5	2.9	5	1480	74
200	M3BP 355SMA 4	3GBP352210---M	1491	96.7	96.8	96.4	0.87	345	7.3	1282	2.1	2.7	5.9	1610	74
250	M3BP 315LKC 4	3GBP312830---M	1490	96.7	96.9	96.8	0.87	432	7.8	1601	2.3	3.0	5.5	1600	74
250	M3BP 355SMB 4	3GBP352220---M	1491	96.7	96.8	96.5	0.87	433	7.8	1601	2.5	2.9	6.9	1780	74
315	M3BP 355SMC 4	3GBP352230---M	1490	96.7	96.8	96.5	0.86	554	7.4	2017	2.8	2.9	7.2	1820	74
355	M3BP 355MLA 4	3GBP352410---M	1491	96.7	96.9	96.5	0.87	616	7.9	2274	2.7	2.9	8.4	2140	78
400	M3BP 355MLB 4	3GBP352420---M	1490	96.7	96.7	96.3	0.85	700	6.8	2563	2.1	2.8	8.4	2140	78
450	M3BP 355MLC 4	3GBP352430---M	1489	96.7	96.7	96.5	0.86	779	6.8	2886	2.4	2.8	8.4	2140	78
500	M3BP 355LKA 4	3GBP352810---M	1490	96.7	96.7	96.1	0.86	865	6.8	3204	2.0	3.0	10	2500	78
560 ²⁾	M3BP 400LA 4	3GBP402510---M	1491	96.7	96.7	96.3	0.85	982	7.4	3586	2.4	2.8	15	3200	78
630	M3BP 400LB 4	3GBP402520---M	1491	96.7	96.7	96.2	0.86	1091	7.6	4034	2.2	2.9	16	3300	78
710 ²⁾	M3BP 400LC 4	3GBP402530---M	1491	96.7	96.7	96.2	0.84	1227	7.6	4547	2.4	3.0	17	3300	78
800	M3BP 450LA 4	3GBP452510---M	1491	96.7	96.7	96.2	0.86	1388	7.0	5121	1.3	2.8	23	4050	85
900	M3BP 450LB 4	3GBP452520---M	1491	96.7	96.5	96.0	0.85	1575	7.0	5761	1.3	2.8	25	4050	85
1000 ²⁾	M3BP 450LC 4	3GBP452530---M	1491	96.7	96.7	96.1	0.86	1724	6.8	6404	1.3	2.7	30	4350	85

¹⁾ Unidirectional fan construction as standard. Direction of rotation must be stated when ordering, see variant codes 044 and 045.

²⁾ Temperature rise class F

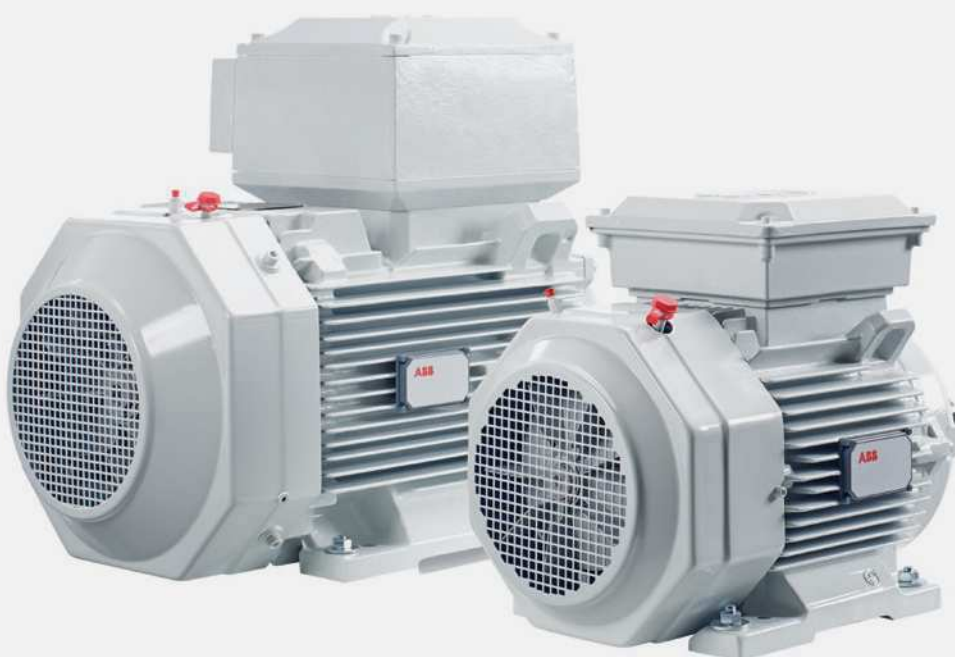
Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-30-1: 2014			Power factor Cosφ	Current		Torque		Moment of inertia J = 1/4 GD²kgm²	Weight kg	Sound pressure Level L _{PA} dB	
				Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%		I _N A	I _s /I _N	T _N Nm	T _i /T _N				T _b /T _N
				High-output design											
1500 r/min = 4 poles				400 V 50 Hz											
110	M3BP 280MLB 4	3GBP282420---M	1489	96.3	96.2	95.8	0.82	203	9.1	705	3.7	3.5	2.5	890	75
132	M3BP 280MLC 4	3GBP282430---M	1489	96.4	95.9	95.6	0.80	247	9.0	846	3.8	3.5	2.5	890	75

2.3 Listado de precios 2019 motores ABB

MOTORS & GENERATORS 2019

Lista de precios - Enero 2019

Motores de baja tensión



Motores de fundición de hierro para la industria de procesos

1 Velocidad IP 55 IC 411

IE4 (Eficiencia superpremium)

Potencia kW	Tipo	Código de producto	B3	B5
3000 r/min = 2 polos		Diseño básico		
75	M3BP	280 SMB 3GBP281220-..M	11.065	11.725
90	M3BP	280 SMC 3GBP281230-..M	13.008	13.667
110	M3BP	315 SMB 3GBP311220-..M	15.841	16.981
132	M3BP	315 SMC 3GBP311230-..M	19.244	20.313
160	M3BP	315 MLA 3GBP311410-..M	23.164	24.233
230	M3BP	315 MLB 3GBP311420-..M	29.045	30.114
200	M3BP	355 SMA 3GBP351210-..M	29.045	30.826
250	M3BP	315 LKB 3GBP311820-..M	36.707	37.776
250	M3BP	355 SMB 3GBP351220-..M	36.707	38.488
315	M3BP	355 SMC 3GBP351230-..M	45.972	48.111
355	M3BP	355 MLA 3GBP351410-..M	51.674	53.634

Potencia kW	Tipo	Código de producto	B3	B5
1500 r/min = 4 polos		Diseño básico		
75	M3BP	280 SMC 3GBP282230-..M	10.976	11.618
90	M3BP	280 MLA 3GBP282410-..M	12.633	13.293
110	M3BP	315 SMC 3GBP312230-..M	15.591	16.750
132	M3BP	315 SMD 3GBP312240-..M	18.531	19.601
160	M3BP	315 MLB 3GBP312420-..M	22.273	23.343
200	M3BP	315 LKB 3GBP312820-..M	27.441	28.510
200	M3BP	355 SMA 3GBP352210-..M	27.441	29.401
250	M3BP	315 LKC 3GBP312830-..M	34.390	35.459
250	M3BP	355 SMB 3GBP352220-..M	34.390	36.172
315	M3BP	355 SMC 3GBP352230-..M	43.121	45.081
355	M3BP	355 MLA 3GBP352410-..M	48.823	50.605

1000 r/min = 6 polos		Diseño básico		
45	M3BP	280 SMB 3GBP283220-..M	10.281	10.941
55	M3BP	280 SMC 3GBP283230-..M	12.259	12.919
75	M3BP	315 SMC 3GBP313230-..M	15.752	16.892
90	M3BP	315 SMD 3GBP313240-..M	18.710	19.779
110	M3BP	315 MLB 3GBP313420-..M	22.630	23.699
132	M3BP	315 LKA 3GBP313810-..M	26.372	27.441
160	M3BP	315 LKC 3GBP313830-..M	32.252	33.677
160	M3BP	355 SMB 3GBP353220-..M	32.252	34.390
200	M3BP	355 SMC 3GBP353230-..M	39.558	41.696
250	M3BP	355 MLB 3GBP353420-..M	50.962	52.922
315	M3BP	355 LKA 3GBP353810-..M	63.078	65.038
355	M3BP	355 LKB 3GBP353820-..M	74.304	76.264

Notas: Los motores por debajo de 0,75kW no están contemplados en la directiva de eficiencia EU MEPS; por lo tanto, no llevarán el marcaje del nivel de eficiencia en placa.