

Trabajo Fin de Grado

Simulación de la red eléctrica de las Islas Baleares con
el programa Power World

Simulation of the electrical network of the Balearic
Islands with the program Power World

Autor

Alejandro Vallejo Mateo

Director

José Luis Bernal Agustín

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2023/2024

Simulación de la red eléctrica de las Islas Baleares con el programa Power World

RESUMEN

En este trabajo fin de grado (TFG) se realizó un análisis de la red eléctrica existente en las Islas Baleares mediante la simulación en el programa Power World, para comprobar el correcto funcionamiento de dicha red eléctrica y a su vez proponer una serie de mejoras tanto técnicas como medioambientales.

Para la realización de dicho análisis se empezó por la búsqueda de información acerca de la red eléctrica que presenta actualmente las Islas Baleares, principalmente por la información que publica Red Eléctrica de España y Endesa, que es la distribuidora que opera en las Islas Baleares. Así como también se consultaron otras fuentes de información que se detallaran a lo largo del trabajo.

Con esta información se realizaron cuatro simulaciones diferentes en el programa Power World, las cuales corresponden a dos días diferentes del año 2023, un día en verano, el cual se buscó que fuese el día de mayor demanda y un día en invierno, en cada día se buscó por el momento del día de mayor consumo y el momento donde más generación renovable se daba.

Después se analizaron los resultados obtenidos en el programa, de las cuatro simulaciones, fijándose en la diferencia que hay entre simulaciones, al igual que asegurándose que el comportamiento del sistema es el correcto.

Finalmente se van a proponer una serie de mejoras a implementar en las simulaciones con el fin de mejorar el sistema tanto técnica como medioambientalmente.



Índice

1. Antecedentes	5
2. Objetivo.....	5
3. Introducción	6
3.1. Las Islas baleares	6
3.2. El sistema eléctrico Balear	8
4. Definición de la red de partida	9
4.1. Investigación y recopilación de datos	9
4.2. Procesado de datos	9
4.3. Nudos eléctricos.....	10
4.4. Líneas eléctricas.....	11
4.5. Centrales de generación	12
4.6. Consumos.....	14
4.7. Centros de transformación.....	18
4.8. Interconexiones marítimas.....	19
5. Simulaciones.....	21
5.1. 19 de Julio 2023	28
5.1.1. 19:40	28
5.1.2. 14:00	29
5.2. 3 de diciembre 2023.....	29
5.2.1. 20:35	29
5.2.2. 12:30	30
6. Mejoras al sistema	31
6.1. Baterías de condensadores	31
6.2. Eliminación de generación no renovable.....	34
7. Conclusión	36
8. Bibliografía	37
9. Anexos	40
9.1. Anexo I: Mapas.....	40
9.2. Anexo II: Nudos eléctricos	43
9.3. Anexo III: Líneas eléctricas	45
9.4. Anexo IV: Centrales de generación.....	49
9.5. Anexo V: Consumos	53
9.6. Anexo VI: Centros de transformación.....	55
9.7. Anexo VII: Resultados de simulaciones	57



9.7.1.	19 de julio	57
9.7.1.1.	19:40	57
9.7.1.2.	14:00	59
9.7.2.	3 de diciembre	61
9.7.2.1.	20:35	61
9.7.2.2.	12:30	63
9.8.	Anexo VIII: Resultados mejoras.....	65
9.8.1.	Baterías de condensadores	65
9.8.2.	Eliminación de generación no renovable	67

1. Antecedentes

En el año 2003, el Real Decreto 1747/2003 designó a Red Eléctrica de España (REE) como operador de los sistemas eléctricos insulares y extra peninsulares. Dos años después, en 2005, una resolución del director general de Energía del Gobierno de las Islas Baleares fijó los criterios que determinan la red de transporte, aceptando la propuesta presentada por REE. Esta resolución incluyó una lista de las líneas eléctricas, los transformadores, las subestaciones y las reactancias que quedaron bajo el control del operador del sistema. Con esta resolución nació la red de transporte de las Islas Baleares.

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es la simulación de la red eléctrica de las Islas Baleares utilizando el software Power World, la información necesaria para dicha simulación es al que hace publica tanto Red Eléctrica de España como Endesa, que es la empresa distribuidora de energía eléctrica que opera la red eléctrica balear, al igual que también se consultaran distintas fuentes para complementar la información necesaria para este trabajo fin de grado.

Para este trabajo se van a realizar cuatro simulaciones. Para el día con mayor demanda del año 2023, que resulto ser el 19 de julio se cogió dos momentos de ese día; primero, para la hora en la que se produjo mayor consumo de electricidad que resulto ser las 19:40 de la tarde y segundo se cogió la hora de este día en el que más generación renovable hubo, para poder ver el comportamiento del sistema ante una alta generación renovable, lo cual se produjo a las 14 h de la tarde.

Después también se estudió una día en invierno para poder ver las diferencias que pueda haber con respecto a un día en verano en cuanto al comportamiento de la red eléctrica balear. El día que se ha estudiado fue el 3 de diciembre de 2023. Para este día se procedió de igual manera a la simulación para el 19 de julio de 2023, una simulación para la hora de mayor consumo y otra para la hora de mayor generación renovable. Las cuales fueron a las 20:35 y a las 12:30, respectivamente.

Una vez estén en funcionamiento dichas simulaciones, se comprobará si el funcionamiento de estas simulaciones es el correcto o si por el contrario haría falta implementar acciones que mejoren dicho funcionamiento. También se llevará a cabo un estudio del comportamiento de la red eléctrica bajo distintas situaciones de generación y consumo de la distintos momentos del año 2023 que son objeto de

este trabajo. Analizando también la integración de generación renovable en las Islas Baleares y como estas afectan a la red eléctrica, al igual que analizar la distintas conexiones marítimas que se dan en las islas baleares y su influencia en el comportamiento del sistema.

Para cumplimentar este trabajo se van a implementar algunas medidas de distinto ámbito para mejorar el sistema eléctrico balear, para ello se van a realizar dos nuevas simulaciones en el programa.

Finalmente con todo lo anterior se presentarán algunas conclusiones que se han recogido en la elaboración de este trabajo.

3. Introducción

3.1. Las Islas baleares

Las Islas Baleares es un archipiélago situado en la mar mediterráneo, al este de la Península Ibérica. Está formado por cinco islas, las cuales son; Mallorca, Ibiza, Menorca, Formentera y Cabrera.[1]

Las Islas Baleares cuentan con una población de 1,17 millones de habitantes (2020) [2], siendo la isla de Mallorca la más poblada y el motor económico y por tanto la isla de mayor consumo de las Islas Baleares. La distribución de habitantes de las islas se puede ver en la tabla 1.

Isla	Habitantes
Menorca	95641
Mallorca	911102
Ibiza	151827
Formentera	11904
Total	1170474

Tabla 1. Distribución de habitantes en las Islas Baleares.[2]



Imagen 1. Situación de las islas Baleares.[3]



Imagen 2. Situación de las diferentes islas.[1]

La isla de Cabrera se trata de un archipiélago formado por varias islas, el cual en el 1991 se declaró Parque Nacional Marítimo Terrestre, es por esto por lo que el archipiélago no cuenta con habitantes viviendo en él, solo cuenta con un centro de vistas para personas que quieran visitar este parque nacional, el cual es autosuficiente eléctricamente y no está conectado a la red eléctrica de las Islas Baleares, por lo cual no se va a estudiar este archipiélago en este trabajo.[4]

3.2. El sistema eléctrico Balear

A principios de este siglo el sistema eléctrico balear estaba compuesto por dos subsistemas completamente aislados entre sí y del resto de sistema eléctrico español: Mallorca-Menorca e Ibiza-Formentera. No fue hasta 2007 con la ley 17/2007, de 4 de julio, cuando Red Eléctrica asumió la responsabilidad del sistema eléctrico Balear y comenzó a desarrollar varias interconexiones marítimas; entre la península y Baleares y entre las islas de Mallorca y Ibiza y así nació el sistema eléctrico Balear completamente homogéneo que hay en la actualidad.[5]

4. Definición de la red de partida

4.1. Investigación y recopilación de datos

El primer paso para la realización de este trabajo ha sido la recopilación de datos sobre el sistema eléctrico balear. Esta fase del trabajo ha consistido en un ardua tarea de búsqueda en internet, sobre todo centrándome en la información que hace publica Red Eléctrica de España, el cual es el operador de la red eléctrica de las Islas Baleares y Endesa Distribución, la cual es la comercializadora de energía eléctrica de la Islas Baleares.

También se han buscado otras fuentes de información que contienen la información que no hace pública ni Red Eléctrica ni Endesa, para para poder recopilar toda la información necesaria para este trabajo.

4.2. Procesado de datos

Una vez realizado la búsqueda de información y datos necesarios para la realización de este trabajo, se va a proceder a la valoración de esta información.

Uno de los grandes problemas en la búsqueda de información ha sido la cambiante situación en cuanto a la generación renovable que hay no solo en el sistema eléctrico español, del cual el balear forma parte, sino también a nivel mundial, esto ha propiciado que no se haya podido encontrar información de la totalidad de parques fotovoltaicos que hay instalados en las islas balares, prueba de ello es que en las Islas Balares hay una potencia instalada en parques fotovoltaicos de 333 MW [6], pero solo se ha encontrado información de un numero de parque fotovoltaicos que en su conjunto dan una potencia máxima de 204,76 MW, en el Anexo IV se podrán ver la totalidad de centrales de generación que se han encontrado.

A pesar de este inconveniente se ha podido hacer frente a la generación fotovoltaica que presentan las cuatro simulaciones objeto de este trabajo.

Otro de los problemas que me he topado al realizar este trabajo tiene que ver con los nudos y subestaciones que hay en el sistema eléctrico balear y las limitaciones que presenta la licencia educativa y gratuita que presenta el programa Power World, la cual solo permite un máximo de 50 nudos y el número de nudos que presenta el sistema eléctrico balar, el cual se puede ver en el anexo I, supera con

creces dicho número, lo cual me llevo a un proceso de simplificación de nudos y en consecuencia de líneas eléctricas, más adelante se expondrá dicha simplificación.

Dejando aparte estos dos problemas se ha conseguido encontrar la información necesaria para este trabajo y plasmarla en el programa para realizar las distintas simulaciones.

4.3. Nudos eléctricos

Los nudos eléctricos son cada una de las subestaciones que presenta el sistema eléctrico balear y sirven para conectar líneas eléctricas, centrales de generación y consumos eléctricos. En este trabajo se van a estudiar el sistema eléctrico de las Islas Baleares pero solo aquel que sea de alta tensión, es decir, red de transporte, lo cual todas las tensiones que se manejen serán iguales o superiores a 66 kV. Con lo cual habrá nudos de 66 kV, 132 kV y 220 KV.

Si se suman todos los nudos eléctricos que tengan alguna de estas tensiones, hace un total de 62 nudos [7], que sumado a los 12 transformadores, que harían falta en algunos nudos, se explicarían estos transformadores más adelante en este trabajo, pues hacen un total de 74 nudos. La licencia del programa Power World que se ha utilizado para la realización de este trabajo admite hasta un máximo de 50 nudos, los cual hace imposible plasmar los 74 nudos en el programa. Entonces, es preciso realizar una simplificación de nudos para poder realizar satisfactoriamente las distintas simulaciones que son objeto de este trabajo.

Este proceso de simplificación de nudos se ha llevado a cabo bajo dos premisas; la primera, se eliminarán aquellos nudos que estén relativamente próximos a otros, debido a que es de poca utilidad para el objetivo de este trabajo, tener nudos que sean limítrofes. La segunda premisa es que los nudos queden geográficamente separados, es decir repartidos por todo el espacio que comprenden cada una de las islas.

Las redes de 220 kV y 132 kV casi no han sufrido modificaciones con respecto a la red que se presenta en el folleto del sistema eléctrico balear proporcionado por Red eléctrica de España [7]. El sistema que sufre más modificaciones es el sistema de 66 kV, debido a que es el sistema que más nudos integra y más juntos están. Cabe destacar que donde más nudos se han simplificado es en la ciudad de Palma, que es la capital de la isla de Mallorca, ya que aparte de las dos premisas que se han considerado, era imposible implementar todos los nudos que hay en dicha ciudad en el programa y que hubiese una visión clara del sistema en el programa. Los nudos que componían la ciudad de palma se han fusionado con los cuatro nudos a 220 kV que circunvalan la ciudad de Palma, que son: Valldurgent, Son Reus, Cas Tesorer y Son Orlandis.

El resultado de todo este proceso se puede ver en el Anexo I, tanto en el sistema eléctrico que aparece el folleto de Red Eléctrica como el sistema final plasmado en el programa. En el Anexo II, se podrá ver los nudos que han sido eliminados y a que nudo se han fusionado.

4.4. Líneas eléctricas

Las líneas eléctricas son aquellos conductores eléctricos que se encargan de transportar la energía eléctrica entre los nudos que se han descrito anteriormente. Entonces cualquier simplificación de nudos que se vaya a hacer afecta directamente a las líneas eléctricas, por eso se han plasmado en el programa todas las líneas posibles siempre y cuando se hayan introducido los dos nudos que hay en los externos de cada línea. Cabe mencionar que la línea marítima que une la isla de Mallorca con la Península Ibérica, en el municipio de Morvedre en Valencia, es una conexión marítima de corriente continua, se ha eliminado dicha línea debido a que este tipo de línea, en el programa, daba algunos problemas y se decidió eliminarla por una generación conectada al nudo de Santa Ponsa (Mallorca).

Para calcular los parámetros eléctricos que poseen estas líneas se ha usado una herramienta que lleva incorporado el programa, la cual consiste en que le introduces la distancia que recorre la línea eléctrica y el programa te calcula los parámetros de dicha línea. Las distancias se han calculado con una página web que se encontró por internet, parecida al Google Maps, pero que pinchando en un punto del mapa y a continuación en otro, te dice la distancia que hay entre los dos puntos [8] y así se ha procedido para calcular las distancias de las líneas que después serán introducidas en el programa para calcular los parámetros eléctricos de las líneas.

Los parámetros que hay en las líneas de alta tensión son; resistencia (R), reactancia inductiva (X) y la susceptancia (S). Las resistencias y las susceptancias de todas las líneas se han despreciado ya que en alta tensión y con estas longitudes de líneas presentan valores muy pequeños en comparación con la inductancia. También cabe destacar que cuando introducíamos las distancias en el programa, el único parámetro que nos calculaba era la inductancia.

La inductancia que nos calculaba el programa estaba en por unidad, entonces para poder calcularla en ohmios era preciso calcular la impedancia base como el cuadrado de la tensión partido por la potencia base que en este caso se ha considerado de 100 MVA y es la que venía por defecto en el programa, debido a que la tensión no es la misma para todas las líneas pues obtendremos impedancias base

distintas según el nivel de tensión. Una vez tengamos la impedancias base las multiplicamos por la reactancia en por unidad, que nos calcula el programa, y obtenemos las reactancias en ohmios.

Todos los parámetros de las líneas eléctricas se encuentran en el Anexo III.

4.5. Centrales de generación

Las centrales de generación, junto con la conexión marítima con la península, son las encargadas de abastecer de energía eléctrica a las Islas Baleares. Se ha creado una lista detallada con todas las centrales de generación que hay en las islas especificando el nudo a la que van conectadas, la potencia máxima que pueden suministrar, la tecnología que implementan y el combustible que utilizan, la cual se puede ver en el Anexo IV. A continuación se van a presentar de manera breve estas centrales de generación presentes en cada una de las islas:

- Menorca
 - **Central térmica de Mahón** [9]: Cuenta con tres motores Diesel de 15,8 MW cada uno, que utilizan fuel como combustible y cinco turbinas de gas que tienen de potencia nominal 38,50 MW, 37,50 MW, 45 MW y dos de 51,60 MW, que usan como combustible gasóleo. En conjunto puede entregar una potencia máxima de 271,6 MW.
 - **Parque eólico de Es Mila** [10]: Cuenta con tres aerogeneradores de 800 kW cada uno, lo cual da una potencia de 2,4 MW.
 - **Parque fotovoltaico de San Salomo** [11]: Generación por placas fotovoltaicas con una potencia pico de 52 MW.
 - **Parque fotovoltaico de Binisafuller** [12]: Generación por placas fotovoltaicas con una potencia pico de 1,3 MW.
- Ibiza
 - **Central térmica de Ibiza** [13]: Cuenta con seis motores Diesel, cuatro de ellos de 18,4 MW cada uno y dos de 15,5 MW cada uno. También cuenta con ocho turbinas de gas de 25 MW cada una y una turbina de 14 MW para garantizar el suministro. Todos estos equipos utilizan gas natural como combustible principal y gasóleo como auxiliar. La central cuenta con una potencia máxima de 320 MW.
 - **Parque fotovoltaico de Bosc d'en Lleó** [14]: Generación por placas fotovoltaicas con una potencia pico de 3,5 MW.
 - **Parque fotovoltaico de Can Mariano Lluquí** [14]: Generación por placas fotovoltaicas con una potencia pico de 3,1 MW.

- Formentera
 - **Central térmica de Formentera** [13]: Compuesta por una única turbina de gas de 14 MW que emplea gas natural como combustible.
 - **Parque fotovoltaico de Cala Saona** [14]: Generación por placas fotovoltaicas con una potencia pico de 2,1 MW.

- Mallorca
 - **Central térmica de Son Reus** [15]: Compuesta por dos ciclos combinados de gas natural de 217,55 y 211,4 MW y cuatro turbinas de gas de gasóleo de 33,7 MW cada uno. En total tiene una potencia máxima de 563,85 MW.
 - **Central térmica de Cas Tessorer** [15]: Compuesta por dos ciclo combinados de gas natural de 214,5 MW cada uno. La potencia máxima que puede entregar es de 429 MW.
 - **Central térmica Es Murterar** [15]: Compuesta por cuatro ciclos de vapor de carbón, dos de 113,6 MW y dos de 120,6 MW. También cuenta con dos turbinas de gas de gasoil de 32,7 MW cada una. La potencia máxima de esta central es de 533,8 MW.
 - **Planta de valorización de residuos de Tirme** [16]: Formada por una incineradora de residuos urbanos sólidos. La potencia que entrega esta planta dependerá de la cantidad de residuos que se generen.
 - **Planta de cogeneración de Bit** [17]: Planta de cogeneración de 14 MW, que utiliza gas natural como combustible.
 - **Parques fotovoltaicos en Mallorca** [18][19][20][21][22][23]: Se han agrupado los distintos parques fotovoltaicos que hay presentes en Mallorca en función del nudo al que están conectados dando como resultado una única generación fotovoltaica en dicho nudo. Se ha realizado esto debido a la gran cantidad de parques fotovoltaicos que hay en Mallorca.

Estas generaciones conjuntas se han resumido en la siguiente tabla:

Nudo	Numero de parques	Potencia máxima (MW)
Cala Millor	2	5,94
Can Picafort	3	13
Artá	3	7,02
Santanyí	1	3,06
Llucmajor	4	22,85
Inca	2	2,64
Murterar	2	32,19
Sóller	1	34,65
Son Reus	1	12,53
Son Orlandis	1	3,34
Cas Tessorer	1	3,14

Tabla 2. Generación fotovoltaica en Mallorca.

Estas centrales se conectarán a la red de transporte de 220 kV o 132 kV según proceda, excepto aquellos parques fotovoltaicos que tengan acceso a la red de 66 kV, que se conectarán a ese nivel de tensión, debido a que, en la fuentes bibliográficas que se encontraron decían que se conectaban a niveles de tensión inferiores pero esos niveles de tensión no son objeto de este trabajo.

Una vez caracterizados todas la distintas generaciones que hay presente en el sistema eléctrico balear, sería interesante hallar el porcentaje de potencia instalada renovable y no renovable, para darnos una idea del grado de descarbonización que hay en la electricidad de las Islas Baleares. Esto es lo que se ha hecho en la siguiente tabla, la cual se hallan la suma de potencia instalada tanto renovable como no renovable y la potencia instalada total así como lo porcentajes de cada una.

	MW	% Potencia instalada
Potencia instalada no renovable	2146,25	91,29
Potencia instalada renovable	204,76	8,71
Potencia instalada total	2351,01	100,00

Tabla 3. Porcentajes de potencia instalada.

Los cual nos da una idea de la poca descarbonización que hay en las Islas Balares y nos indica que hay mucho camino por recorrer si se quiere llegar a ese objetivo.

4.6. Consumos

Los consumos eléctricos se antojaba como la parte más incierta de este trabajo, es por eso por lo que apenas se encontró información de consumos o demandas del sistema eléctrico balear, la única información que se tuvo fue la demanda en tiempo real que publica a diario Red Eléctrica de España, se trata de consumos totales tanto de las Islas Baleares en su conjunto como de cada isla por separado.

Entonces me tope con una herramienta [2], encontrada por internet, la cual consistía en un mapa con los distintos municipios de la Islas Balares y pinchando en cada uno de ellos te mostraba los habitantes que hay en cada municipio y con eso se podría sacar un porcentaje de habitantes en cada municipio con respecto al

total de habitantes en cada isla, lo cuales son los que se presentan en la tabla 1, y junto con el consumo que proporciona Red Eléctrica en cada isla, multiplicarlo por ese porcentaje y así estimar de una manera aproximada el consumo en cada municipio, el cual se asociara a cada nudo de manera que el consumo se reparta geográficamente por todo el espacio que comprenden las distintas islas.

Los consumos del municipio del cual pertenece la ciudad de Palma, se han distribuido igualitariamente entre los cuatro nudos que circunvalan Palma, los cuales se mencionaron anteriormente.

Estos consumos se van a conectar a la red de 66 kV debido a que es el menor nivel de tensión existente y nos acerca al nivel de tensión domestico de 230 V, aunque con excepción de las islas de Menorca y Formentera que los consumos se han conectado directamente a 132 kV ya que si no se excedería del número máximo de nudos que la licencia del programa nos permite.

En el Anexo V, aparecen los habitantes que se han asociado a cada nudo y su porcentaje, así como el consumo en cada nudo para cada simulación.

En la siguientes imágenes se han plasmado las distribuciones de consumos por municipios, agrupando cada municipio en zonas, que sus consumos se han distribuido en los nudos que hay en esa localización de cada Isla. Se ha limitado cada zona a la cual se le asocia un nudo y se ha representado con una línea delimitadora de color negro y se ha señalado cada zona con un numero para después a continuación en la tabla 4 explicar cómo se ha distribuido los habitantes y por lo tanto el consumo eléctrico.

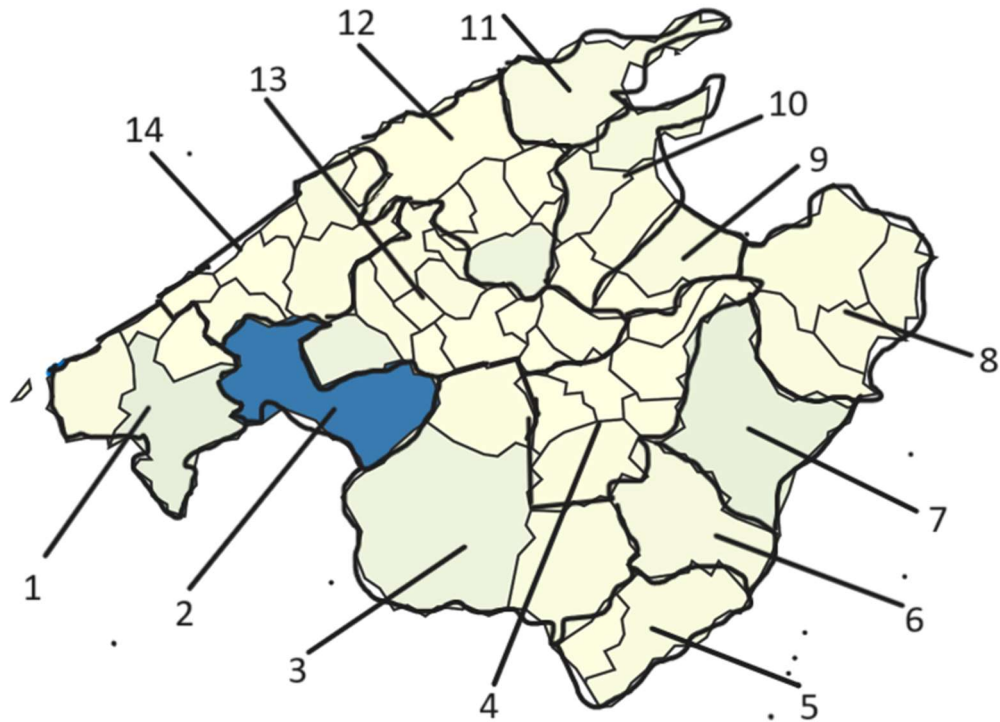


Imagen 3. Repartición de municipios en zonas en Mallorca.

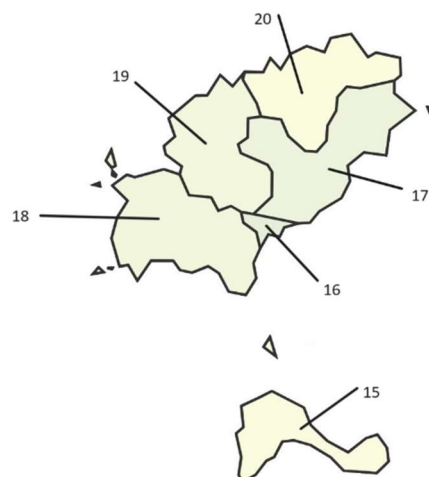


Imagen 4. Repartición de municipios en zonas en Ibiza y Formentera.

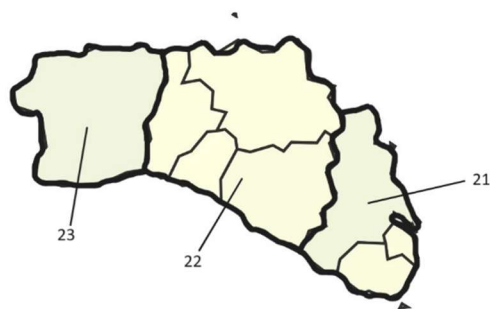


Imagen 5. Repartición de municipios en zonas en Menorca.

Designación	Nudo
1	Santa Ponsa
2	Valldurgent, Son Reus, Cas Tesorer y Son Orlandis
3	1/3 Cala Blava y 2/3 Llucmajor
4	Es Bessons
5	Santanyí
6	Porto Colom
7	1/3 Es Bessons y 2/3 Porto Colom
8	Artá
9	Can Picafort
10	Es Murterar
11	Pollensa
12	Inca
13	Llubí
14	Soller
15	Formentera
16	Ibiza
17	Torrent
18	San Antonio
19	1/3 a San Antonio y 2/3 a Santa Eulalia
20	Santa Eulalia
21	Mahón
22	Mercadal
23	Ciudadela

Tabla 4. Distribución de habitantes a nudos.

4.7. Centros de transformación

Como se ha comentado anteriormente, el sistema eléctrico balear posee distintos niveles de tensión y para que eso sea posible es necesario la existencia de centros de transformación, los cuales elevan o reducen el nivel de tensión de la corriente eléctrica. Se van a representar los centros de transformación, en el programa, como un transformador unido en sus extremos por un nudo en cada extremo, los cuales tendrán las tensiones que se necesiten pasar de una a otra. Esto explica que se haya mencionado, en el apartado 4.3, que haya que contar con 12 nudos extra para implementar estos transformadores en el programa.

Los centros de transformación que se han implementado se recogen en la siguiente tabla:

Isla	Nudo	Relación de Tensiones (kV/kV)
Mallorca	Artá	132/66
	Es Bessons	132/220
		132/66
	Llubi	220/66
	Murterar	220/66
	Son Reus	220/66
	Son Orlandis	220/66
	Cas Tesorer	220/66
	Santa Ponsa	220/132
		132/66
	Valldurgent	220/66
Ibiza	Torrent	132/66

Tabla 5. Centros de transformación.

Esta tabla junto con la potencia aparente de cada transformador en cada simulación se podrá ver en el Anexo VI.

4.8. Interconexiones marítimas

Las interconexiones marítimas hacen que el sistema eléctrico balear sea un sistema homogéneo, no solo entre si sino también con el sistema eléctrico español, del que hace parte. Estas interconexiones son cables submarinos que se tienden sobre el fondo marino para transportar la electricidad de una isla a otra o de la península a las Islas Baleares. Estas interconexiones son una serie de proyectos que ha llevado a cabo Red Eléctrica para conseguir esta homogeneidad del sistema eléctrico balear.

Estas interconexiones marítimas son:

- **Enlace Santa Ponsa (Calviá, Mallorca) – Morvedre (Sagunto, Valencia)** [24] : Llamado proyecto Rómulo, es la interconexión marítima que une la península con las Islas Baleares. Se trata de una línea eléctrica submarina en corriente continua (HVDC), mediante un enlace bipolar con 2 cables de potencia y uno de retorno. Cada línea de potencia puede transportar 200 MW, lo cual le da una capacidad máxima de transporte de 400 MW, se transporta la energía a una tensión de alrededor de 250 kV. Tiene una longitud total de 244 km de los cuales 4 km transcurre en la península, 237 km bajo el mar y 3 km en la isla de Mallorca.
- **Enlace Santa Ponsa (Mallorca) – Torrent (Ibiza)** [25]: Llamado proyecto Rómulo 2, es la interconexión marítima que une las islas de Mallorca con Ibiza. Se trata de una línea eléctrica submarina en corriente alterna, mediante un enlace tripolar con dos circuitos de potencia. Cada cable tiene una capacidad máxima 100 MW, siendo la capacidad máxima de esta interconexión de 200 MW, operando a un nivel de tensión de 132 kV. La longitud total de esta interconexión es de 126 km de los cuales 3 km transcurren por Mallorca, 118 km bajo el mar y 5 km en la isla de Ibiza.
- **Enlace Torrent (Ibiza) – Formentera** [26]: Es la interconexión que conecta las islas de Ibiza y Formentera, el cual se trata un enlace tripolar de corriente alterna en dos circuitos de 132 kV, con capacidad de transporte de 53 MW cada uno, lo cual suma una potencia total de 106 MW. Esta línea tiene una longitud total de 37,1 km, incluye una parte submarina de 27,1 km y una parte terrestre de 5,2 km en Ibiza y de 4,8 km en Formentera.

- **Enlace Mallorca – Menorca:** este enlace cuenta con 2 líneas separadas, las cuales son:
 - **Enlace Cala Mesquida (Mallorca) – Ciudadela (Menorca)** [27][28]: Está formado por un cable tripolar de 132kV en corriente alterna y conecta las subestaciones de Ciudadela y Cala Mesquida, en Menorca y Mallorca, respectivamente. El trazado submarino es de 41,7 km y el terrestre transcurre por 12,5 km en Menorca y 742 metros en Mallorca. Este enlace tiene una potencia máxima de 118 MW.
 - **Enlace Artá (Mallorca) – Ciudadela (Menorca)** [29]: Este enlace de 132 kV entre las islas de Mallorca y Menorca tiene por objeto mejorar el mallado de la red de transporte del sistema eléctrico Balear e incrementar la garantía y la seguridad de suministro de electricidad de las dos islas. Tiene características similares al anterior enlace, lo que cambia es un mayor recorrido terrestre en Mallorca de unos 15 km.

5. Simulaciones

Una vez caracterizado todos los elementos a introducir en el programa se van a particularizar los datos de generación y consumos proporcionados por Red eléctrica para los distintos momentos del año que se han elegido para la realización de este trabajo. Estos momentos del año corresponde a las distintas simulaciones que se van a estudiar, las cuales son:

- **19 de julio de 2023**

Este día corresponde con el día de mayor consumo que se dio en las Islas balares en todo el año 2023, como se puede apreciar en la imagen 6, y es interesante estudiarlo para ver el comportamiento del sistema en momentos de mucha demanda, se va a analizar este día en dos horas del día:

- **19:40**

A esta hora corresponde el momento de mayor consumo, para indagar aún más sobre el concepto de analizar el sistema cuando mayor demanda hay. Esta elección se ver en la imagen 8, así como la generación esta hora en la imagen 12.

- **14:00**

Esta hora se escogía porque era la hora del día donde más generación renovable existía, que en el caso de las Islas Balares es prácticamente a base de parques fotovoltaicos, para ver como afectaba a esta situación a la red eléctrica Balear. Esta elección se ver en la imagen 9, si como la generación en esta hora en la imagen 13.

- **3 de diciembre de 2023**

El segundo momento del año se quería que fuese en la mes de diciembre, en pleno invierno, para ver como eso podría afectar al sistema eléctrico y se elegio el día 3 de diciembre porque era un día de poco consumo dentro de este mes y así ver el comportamiento del sistema cuando no se requiera tanto consumo. La evolución de la demanda en el mes de diciembre se puede ver en la imagen 7. Las horas del día que se analizaron fueron:

- **20:35**

En esta hora del día se produjo el mayor consumo, que sigue con la misma filosofía que para el día en verano. Esta elección se ver en la imagen 10, así como la generación en esta hora en el imagen 14.

○ **12:30**

En esta hora se dio la mayor generación renovable en todo el día, al igual que se hizo para el día que se escogió en verano. Esta elección se ver en la imagen 11, así como la generación a esta hora en la imagen 15.

DEMANDA MÁXIMA DIARIA (MWh) | SISTEMA ELÉCTRICO: Baleares

Del 01/2023 al 12/2023



Imagen 6. Demanda máxima diaria del año 2023.[30]

EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA (B.C.) (MWh) | SISTEMA ELÉCTRICO: Baleares

Del 01/12/2023 al 31/12/2023

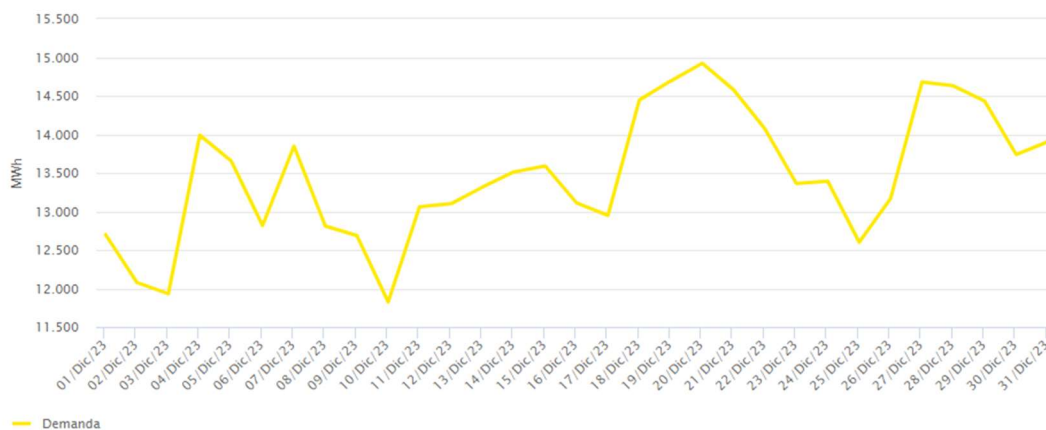


Imagen 7. Evolución de la demanda para diciembre 2023.[31]

Islas Baleares - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica

Demanda (MW) a las 19:40 - 19/07/2023

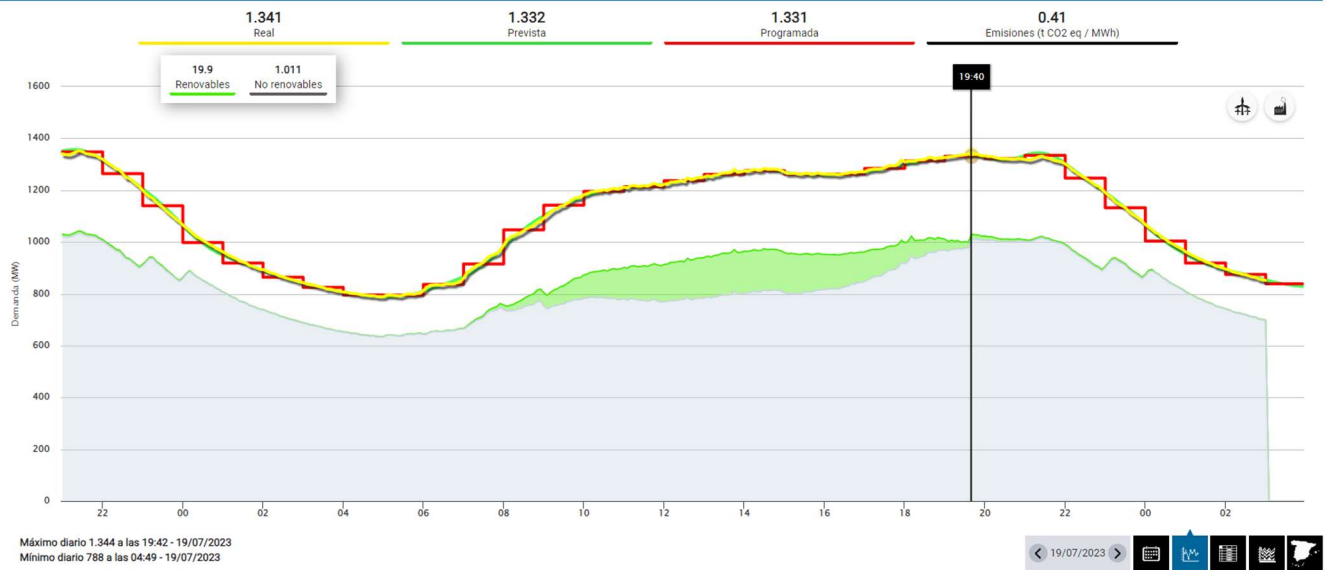


Imagen 8. Consumo en el 19 de julio 2023 a las 19:40.[32]

Islas Baleares - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica

Demanda (MW) a las 14:00 - 19/07/2023

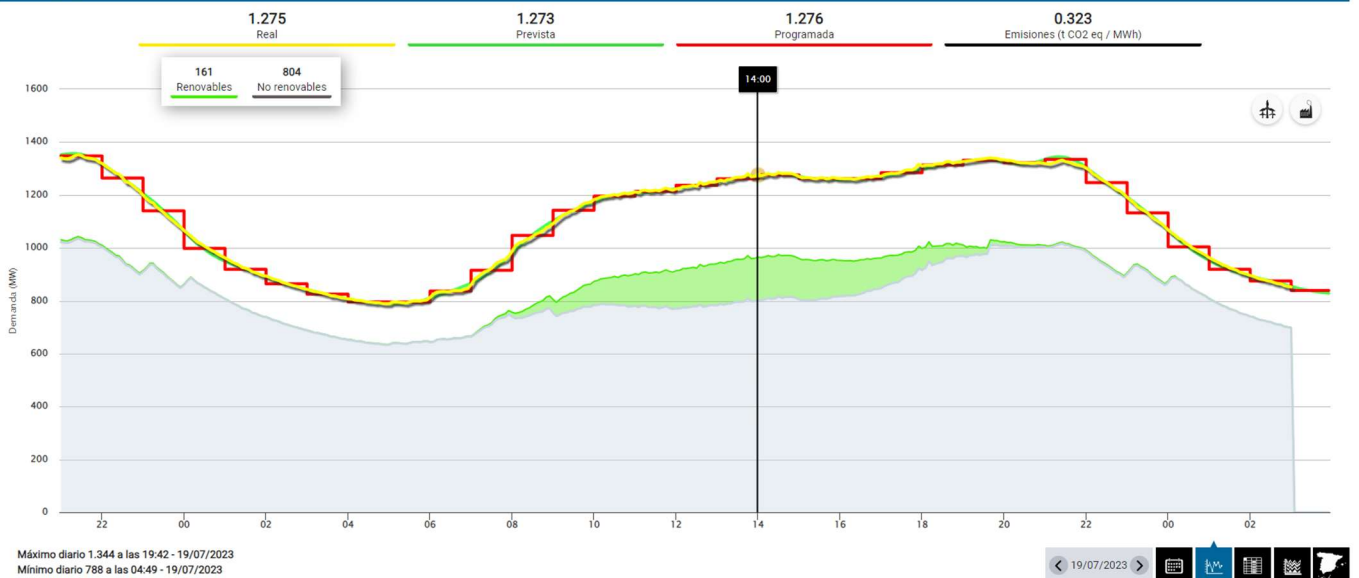


Imagen 9. Consumo en el 19 de julio 2023 a las 14:00.[32]

Islas Baleares - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica

Demanda (MW) a las 20:35 - 03/12/2023

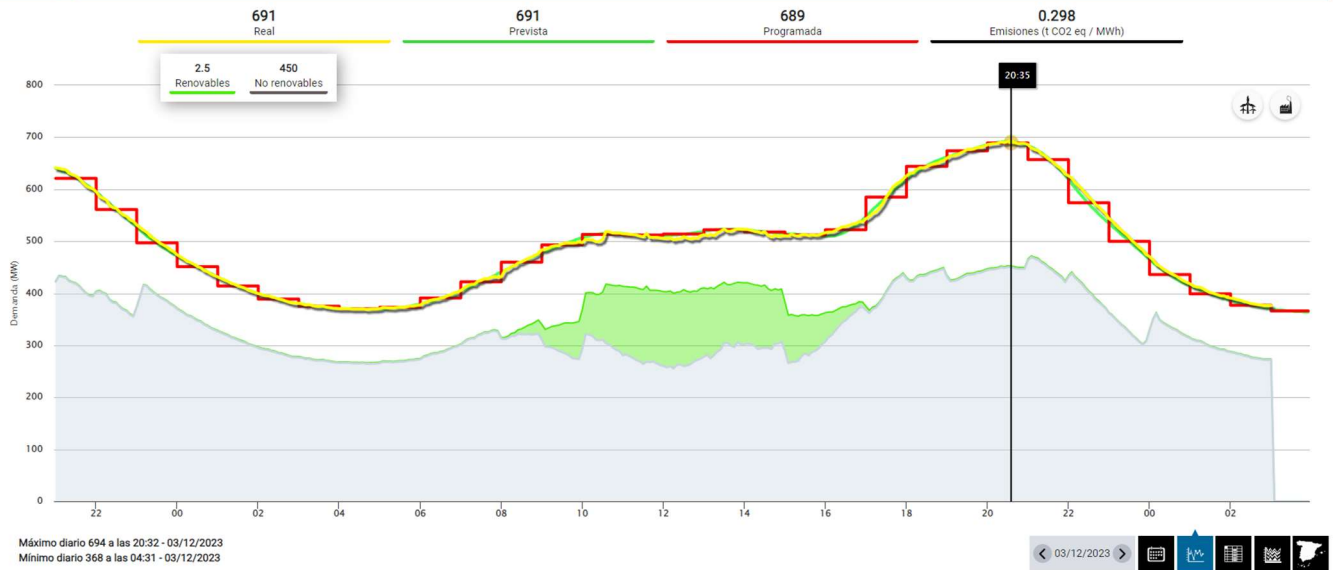


Imagen 10. Consumo en el 3 de diciembre 2023 a las 20:35.[33]

Islas Baleares - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica

Demanda (MW) a las 12:30 - 03/12/2023

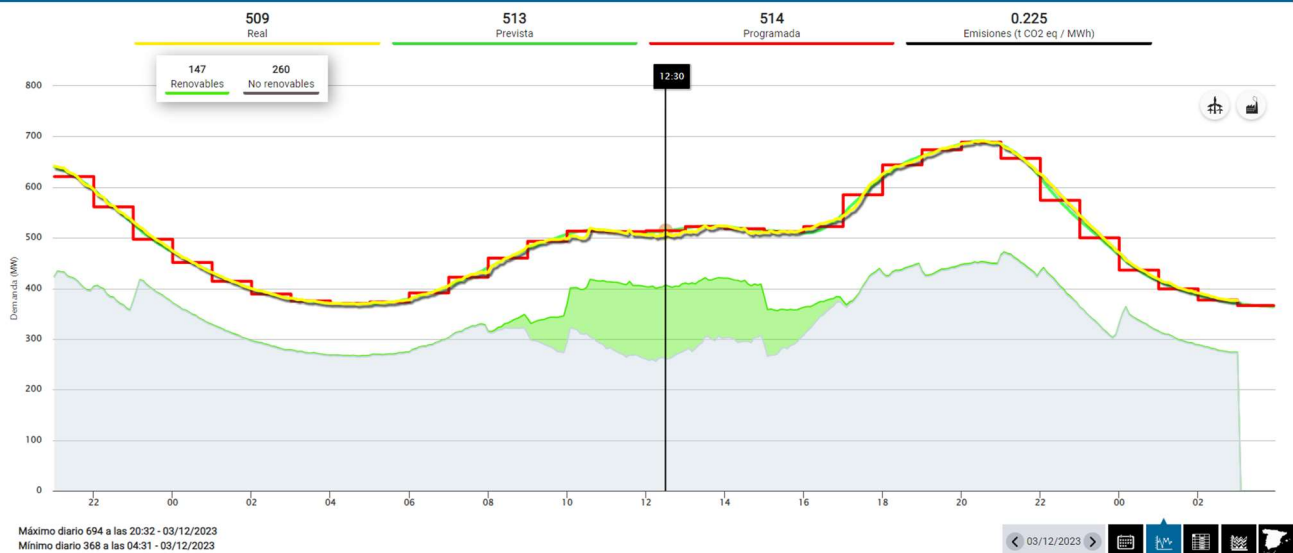


Imagen 11. Consumo en el 3 de diciembre 2023 a las 12:30.[33]

En las siguientes imágenes se puede ver el mix de generación proporcionado por Red Eléctrica para los distintos casos:

Islas Baleares - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica

< 19/07/2023 >

Estructura de generación acumulado progresivo (MW) a las 19:40 - 19/07/2023

Cogeneración	5	0,37(%)
Residuos	25,9	1,93(%)
Otras renovables	0,8	0,06(%)
Eólica		(%)
Solar fotovoltaica	19,1	1,42(%)
Enlace peninsular	310,2	23,14(%)
Ciclo combinado	672,5	50,16(%)
Turbina de gas	213,3	15,91(%)
Motores diésel	94	7,01(%)
Carbón		(%)

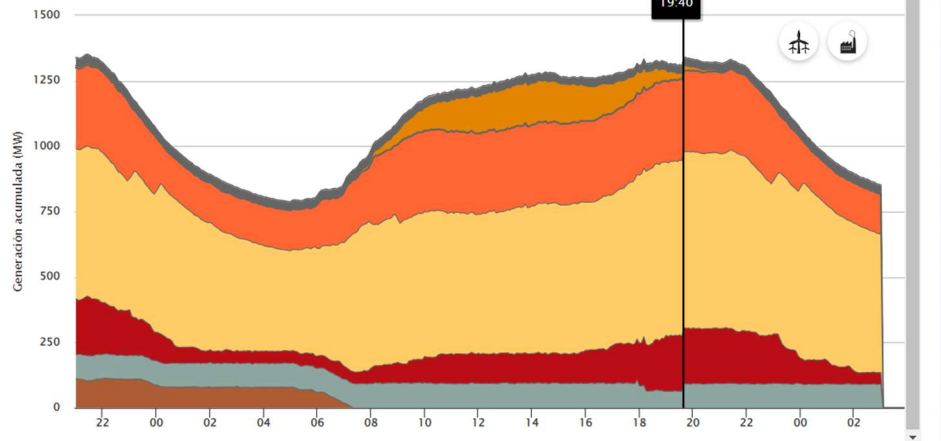


Imagen 12. Generación en el 19 de julio de 2023 a las 19:40. [34]

Islas Baleares - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica

< 19/07/2023 >

Estructura de generación acumulado progresivo (MW) a las 14:00 - 19/07/2023

Cogeneración	4,7	0,37(%)
Residuos	26,4	2,07(%)
Otras renovables	1,6	0,13(%)
Eólica	0,4	0,03(%)
Solar fotovoltaica	159,1	12,48(%)
Enlace peninsular	310,2	24,33(%)
Ciclo combinado	565,3	44,33(%)
Turbina de gas	112,6	8,83(%)
Motores diésel	94,9	7,44(%)
Carbón		(%)

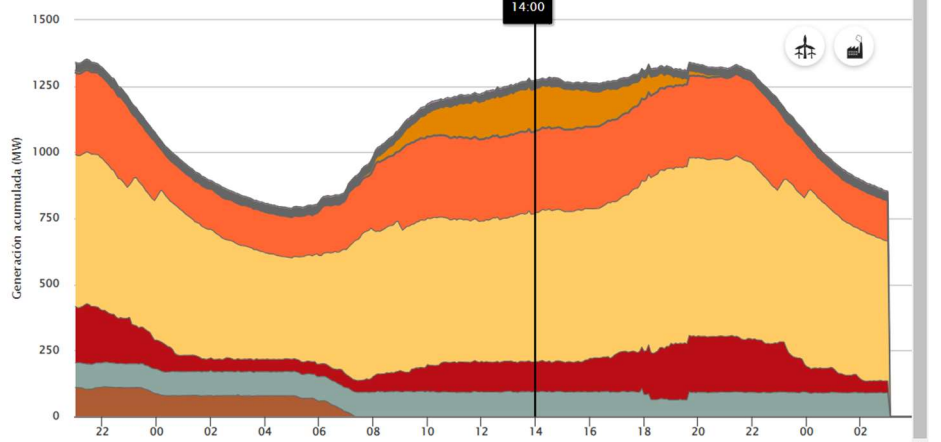


Imagen 13. Generación en el 19 de julio de 2023 a las 14:00. [34]

Islas Baleares - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica

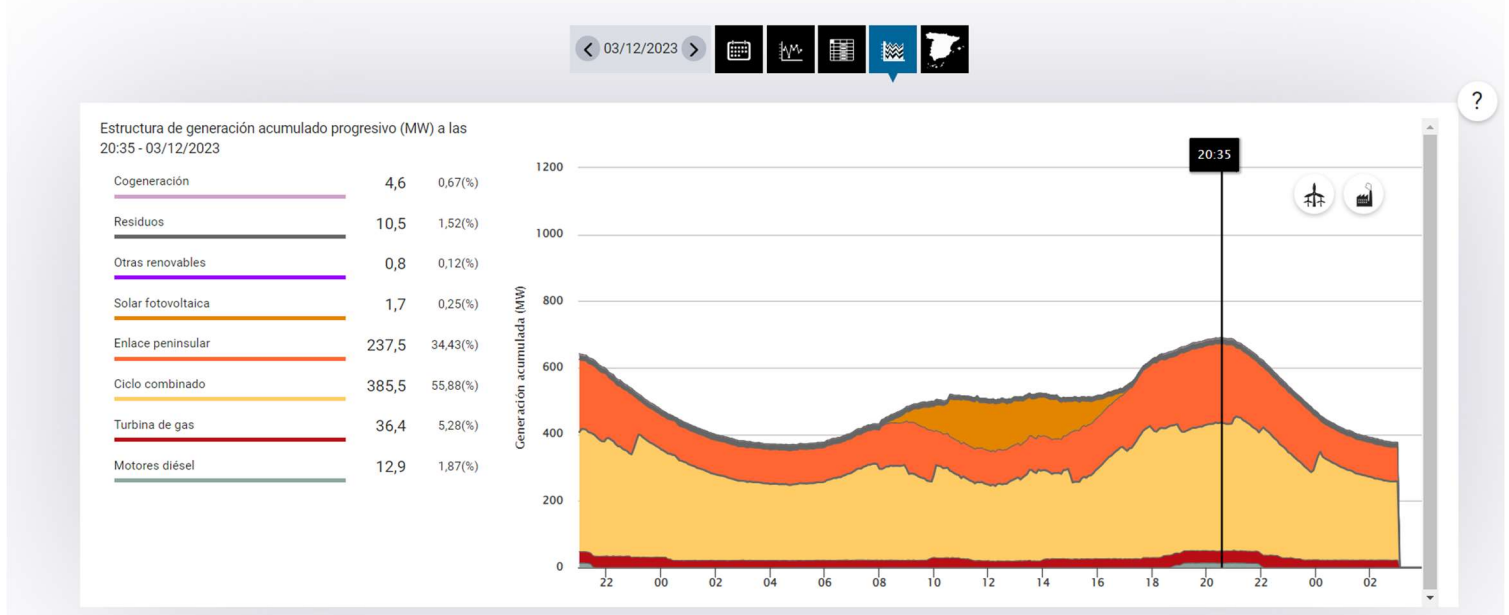


Imagen 14. Generación en el 3 de diciembre de 2023 a las 20:35. [35]

Islas Baleares - Seguimiento de la demanda de energía eléctrica

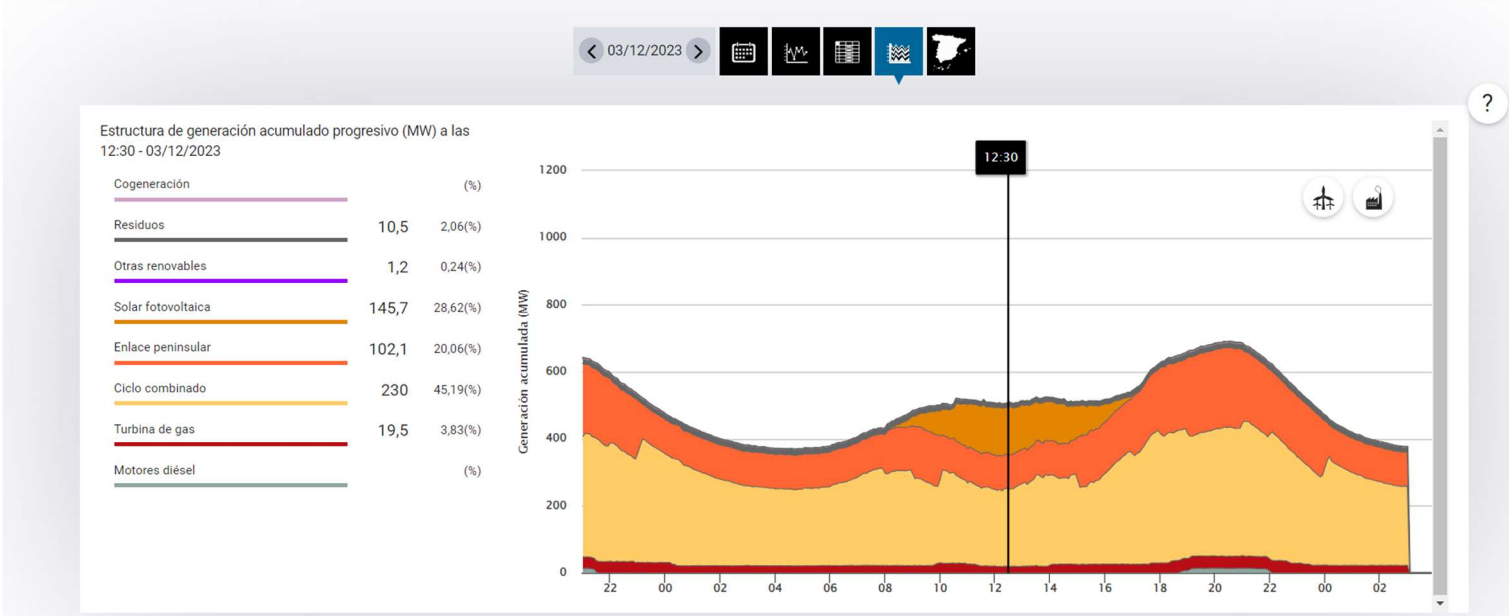


Imagen 15. Generación en el 3 de diciembre de 2023 a las 12:30.[35]

Para la distribución de generación y consumo se buscó información de estos datos tanto para el conjunto de la Islas Baleares, así como de cada isla por separado, para poder llevar a cabo la distribución de potencia generada y consumida de una manera más eficaz.

El mix de generación que se ha obtenido para el conjunto de las islas baleares en los distintos casos es:

MW	19/07/2023		03/12/2023	
	19:40:00	14:00:00	20:35:00	12:30:00
Cogeneración	5	4,7	4,6	0
Residuos	25,9	26,4	10,5	10,5
Otras renovables	0,8	1,6	0,8	1,2
Eólica	0	0,4	0	0
Solar Fotovoltaica	19,3	159,5	1,7	145,9
Enlace Peninsular	311	310,2	238,1	101,6
Ciclo combinado	672,5	565,3	385,5	230
Turbina de gas	213,3	112,6	36,4	19,5
Motores Diesel	94	94,9	12,9	0
Total	1341,8	1275,6	690,5	508,7

Tabla 6. Mix de generación en las distintas simulaciones.[34][35]

Estas potencias generadas se han distribuido de la siguiente manera: La cogeneración se le ha asignado a la planta de cogeneración de Bit. Las potencias producidas por los residuos se ha asignado a la planta de valorización de residuos de Tirme. La potencia de otras renovables se ha asignado a la eólica y junto con la potencia de la eólica es la potencia que se asigna al parque eólico de Es Mila, Menorca. El enlace peninsular es la potencia que llega a través de la interconexión marítima con la península. La potencia de ciclo combinado se ha asignado en partes iguales a las centrales de Son Reus y Cas Tesorer. La potencia fotovoltaica se ha distribuido de manera aproximada teniendo en cuenta la potencia generada en cada isla y proporcionalmente a la potencia máxima de cada parque fotovoltaico, a excepción del caso del 19 de julio a las 19:40, que en la isla de Mallorca, la generación fotovoltaica se distribuyó de manera uniforme entre los distintos parques fotovoltaicos, ya que así se favorecía el factor de potencia de los generadores. La potencia generada por turbinas de gas y motores Diesel se ha distribuido en función de la información de Red Eléctrica de generación para cada isla por separado.

La distribución final de generaciones se encuentra en el Anexo IV.

Los consumos que se han obtenido para cada caso son:

		Mallorca	Menorca	Ibiza	Formentera	Total
19/07/2023	19:40:00	985	113	226	17,8	1341,8
	14:00:00	939	105	216	15,6	1275,6
03/12/2023	20:35:00	531	51	103	5,5	690,5
	12:30:00	388	38	79	3,7	508,7

Tabla 7. Consumos en cada isla en las diferentes simulaciones.[32][33]

La distribución de consumos, como se ha indicado en el apartado 4.6, se encuentra en el Anexo V.

5.1. 19 de Julio 2023

5.1.1. 19:40

La salida del programa se encuentra en el Anexo VII.

Este caso representa la simulación donde más consumo hubo en el año 2023 y sumado a eso en este momento del día tenemos muy poca generación renovable a excepción de la planta de Tirme, lo cual produce que tengamos prácticamente toda la generación de forma no renovable y la que es suministrada por el enlace peninsular.

En cuanto al flujo de cargas para este caso, se puede apreciar que ninguna línea esta saturadas, ya que ninguna sobrepasa el 70% del límite que tiene asociado, se han modificado estos límites para cada líneas para poder seguir con la simulación, de lo contrario la simulación se paraba. Estos límites se podrán ver en el anexo III.

Para cada simulación se ha calculado con el programa las pérdidas totales que hay en todo el sistema así como la potencia reactiva generada por las centrales eléctricas, este aspecto se va a estudiar en el apartado 6 de posible mejoras al sistema. El resultado de dichos cálculos es de una pérdidas de 0,000288 MW, las cuales son muy pequeñas comparado con los niveles de potencia que se están manejando. En cuanto a la potencia reactiva generada es de 113,76 MVar , el cual es una cifra considerable la cual se va a intentar reducir el apartado de mejoras.

Con la generación que tenemos se da cabida a los diferentes consumos que hay en las islas. El sistema presenta un buen comportamiento y un correcto flujo de cargas, lo cual es normal debido a que el operador del sistema se encarga de que las redes de transporte funcionen correctamente.

5.1.2. 14:00

La salida del programa se encuentra en el Anexo VII.

Este caso representa la simulación donde más generación renovable hay en todo el día, representado alrededor del 15 % de la potencia generada.

En cuanto al flujo de cargas en este caso esta algo mejor que en el caso anterior ya que ninguna línea sobrepasa el 60% de capacidad, lo cual tiene algo de sentido ya que la generación esta más distribuida que el caso anterior debido a que este caso tenemos más generación fotovoltaica y los parques fotovoltaicos que generan esta potencia, están repartidos a lo largo de la superficie de la islas y provoca que se descentralice algo la generación y que algunas redes se descarguen una cierta cantidad, aparte de que se circula menos potencia que el caso anterior.

En cuanto a los dos cálculos globales que se explicaron en el apartado anterior, seguimos con valores parecidos a los que había a las 19:40. Lo cual incentiva más la posibilidad de realizar ese apartado de mejoras.

Al igual que en el caso anterior, con la generación que tenemos se da cabida a los diferentes consumos que hay en las islas. El sistema presenta un buen comportamiento y un correcto flujo de cargas.

5.2. 3 de diciembre 2023

5.2.1. 20:35

La salida del programa se encuentra en el Anexo VII.

Este caso representa el momento de mayor consumo del día 3 de diciembre de 2023 y al igual que pasaba en el caso del 19 de julio a las 19:40 la presencia de generación renovable es muy escasa, siendo en este caso aún menor a aquel caso.

El flujo de cargas es incluso mejor que en los casos anteriores ya que las capacidades de las líneas no sobrepasan el 50 % de capacidad de los límites que se introdujeron, lo cual es algo lógico ya que en comparación con los casos anteriores no hay tanto consumo y por tanto, menor potencia a transportar.

Para este caso, los dos cálculos que se están realizando para todos los casos, se reducen en cierta medida, ya que obtenemos una pérdida del sistema 0,00012 MW y una potencia reactiva generada de 72,37 MW, lo cual el primero nos deja en una mejor situación en cuanto a pérdidas globales, pero el segundo, sigue siendo una cantidad importante con lo cual precisa de una mejora a introducir.

Al igual que en el caso anterior, con la generación que tenemos se da cabida a los diferentes consumos que hay en las islas. El sistema presenta un buen comportamiento y un correcto flujo de cargas.

5.2.2. 12:30

La salida del programa se encuentra en el Anexo VII.

Este caso representa el momento de mayor producción renovable en todo el 3 de diciembre de 2023, representando alrededor del 30% de la energía producida total en las Islas Baleares ese día. Prueba de esto es que a esta hora no hizo falta poner en marcha las centrales térmicas de Ibiza y Murterar.

Las líneas por lo general están a un nivel de capacidad óptimo, pero sin embargo, debido a que no se utiliza la central térmica de Ibiza casi la totalidad de la potencia demandada en esta isla y por consiguiente también la demandada en la isla de Formentera, se la proporciona el enlace con Mallorca quedando la subestación transformadora de Torrent al 80% de su capacidad prefijada, lo cual no es preocupante ya que no excede dicha capacidad.

Los dos cálculos globales que se están calculando, en este caso, se produce una disminución considerable de las pérdidas totales, bajando hasta los 0,000042 MW, bajando un grado de magnitud con respecto al caso de las 20:35 del mismo día. La potencia reactiva generada se sitúa en 31,70 MW, la cual se ha disminuido bastante con respecto a casos anteriores pero sigue haciendo falta la introducción de baterías de condensadores para reducir esta potencia reactiva generada.

Al igual que en el caso anterior, con la generación que tenemos se da cabida a los diferentes consumos que hay en las islas. El sistema presenta un buen comportamiento y un correcto flujo de cargas.

6. Mejoras al sistema

Para complementar este trabajo se va a proponer dos mejoras al sistema de las Islas Baleares. El primero, se va a proceder a la introducción de baterías de condensadores en aquellos nudos donde se genere potencia reactiva, para intentar reducir la potencia reactiva generada en las simulaciones y con ello el factor de potencia de ese nudo. La segunda mejora tiene que ver con el aspecto medioambiental y acercarnos a un escenario futuro de la total descarbonización de los sistemas eléctricos, para ello se van a desconectar centrales térmicas para reubicar la potencia generada por estas centrales en parques fotovoltaicos existentes en las Islas Baleares. Estas mejoras se va a realizar sobre el caso de mayor consumo, el 19 de julio de 2023 a las 19:40, ya que se considero que es donde más se podrían apreciar los cambios introducidos por las distintas mejoras que se van a realizar.

6.1. Baterías de condensadores

El mayor problema que se ha detectado, a la hora de realizar las simulaciones, es la elevada generación de potencia reactiva, llegando a ser en varios casos mayor a 100 MW, lo cual me llevo a realizar esta mejora. Esta reactiva generada es debida a que las reactancias de las líneas la demandan, y como solo se las puede suministrar los generadores, pues es lo que ocurre. Esto no tiene nada que ver con la potencia activa de los generadores, que la van a suministrar igualmente, pero lo que si provoca que la potencia aparente de los generadores sea mayor que la activa con lo cual vamos a tener factores de potencia (relación entre la potencia activa y la potencia aparente, bastante malos) incluso por debajo del 0,5.

En la siguiente imagen se puede ver la distribución de potencias de los generadores así como el factor de potencia que presentan, en el caso que se aplica en este apartado:

	Number of Bus	Name of Bus ▼	Gen MW	Gen Mvar	MVA	Power Factor
1	37	Son Reus 66 kV	0,82	11,37	11,404	0,072
2	16	Son Reus 220 kV	5,00	3,79	6,275	0,797
3	16	Son Reus 220 kV	336,25	3,79	336,271	1,000
4	16	Son Reus 220 kV	25,90	3,79	26,176	0,989
5	30	Son Orlandis 66 kV	0,82	10,02	10,052	0,082
6	36	Soller	0,82	4,28	4,355	0,189
7	26	Santanyi	0,82	2,19	2,344	0,352
8	40	Santa Ponsa 220 kV	310,97	27,08	312,150	0,996
9	7	Santa Eulalia	0,00	3,60	3,604	0,000
10	8	San Antonio	0,70	0,91	1,148	0,610
11	33	Murterar 66 kV	1,65	1,60	2,295	0,719
12	21	Murterar 220 kV	50,70	1,60	50,725	1,000
13	1	Mahón	1,10	0,35	1,154	0,953
14	1	Mahón	95,10	0,35	95,101	1,000
15	1	Mahón	0,80	0,35	0,873	0,916
16	27	Llucmajor	3,30	7,44	8,135	0,406
17	35	Inca	1,65	6,21	6,424	0,257
18	9	Ibiza	161,50	11,60	161,916	0,997
19	4	Formentera	0,20	1,07	1,092	0,183
20	3	Ciudadela	0,00	1,25	1,250	0,000
21	29	Cas tesorer 66 kV	0,82	1,96	2,130	0,387
22	18	Cas Tesorer 220 kV	336,25	1,96	336,256	1,000
23	31	Can Picafort	2,48	3,04	3,925	0,632
24	23	Cala Millor	1,65	2,11	2,679	0,616
25	22	Artá 66 kV	2,48	2,04	3,208	0,773

Tabla 8. Potencias y factor de potencias.

Esta tabla, pero con datos de las otras simulaciones se poder ver en el anexo VII.

Para eliminar este problema se va a instalar baterías de condensadores en cada nudo que tuviese generación, de igual potencia reactiva nominal a las potencias reactivas generadas por los generadores que está conectado a dicho nudo. De esta manera la potencia reactiva que demandan las reactancias de la líneas se las suministrará las baterías de condensadores y no los generadores, aumentando el factor de potencia y disminuyendo la potencia aparente, asemejándola al valor de potencia activa que se demanda.

En la siguiente tabla aparecen los nudos y la potencias nominales de las baterías de condensadores a instalar en cada nudo.

Nudo	Qbat (MVar)
Santa Ponsa 220 kV	27,09
Ibiza	11,6
Son Reus 220 kV	11,38
Son Reus 66 kV	11,38
Son Orlandis 66 kV	10,02
Llucmajor	7,44
Inca	6,21
Sóller	4,28
Santa Eulalia	3,6
Can Picafort	3,04
Santanyi	2,2
Cala Millor	2,11
Artá 66 kV	2,04
Cas Tesorer 220 kV	1,96
Cas Tesorer 66 kV	1,96

Murterar 220 kV	1,6
Murterar 66 kV	1,6
Ciudadela	1,22
Formentera	1,07
Mahón	1,05
San Antonio	0,91

Tabla 9. Potencias nominales de baterías de condensadores.

Y como resultado de esta mejora obtenemos un reducción de la potencia reactiva generada hasta casi una nula generación reactiva, lo cual se puede ver en la siguiente tabla:

Q generada antes(MVAr)	Q generada después(MVAr)
113,76	0,0171323

Tabla 10. Resultados introducción condensadores

Esta mejora se podría hacer extensiva a los distintos casos que se han estudiado mediante la introducción de baterías de condensadores regulables automáticamente para la potencia reactiva que se requiera en cada caso.

La salida del programa a esta mejora se encuentra en el Anexo VIII.

6.2. Eliminación de generación no renovable

Otra de las mejoras que se ha realizado en este trabajo es la desconexión de algunas centrales térmicas cuya generación no es renovable y distribuyendo esa generación entre los parques fotovoltaicos de las Islas Baleares. Es interesante realizar esta mejora por dos razones, la primera y más importante, la desconexión de estas centrales reduce las emisiones de gases nocivos para la atmósfera, lo cual supone efectos positivos para el medioambiente. La segunda razón es plantearnos una situación futura en las redes eléctricas, la cual tiene como principal característica la descarbonización de los sistemas eléctricos y eso tiene que ver directamente con la desconexión de las centrales térmicas.

Se va a proceder a la desconexión de dos centrales térmicas; la central térmica de Es Murterar, en Mallorca, de la cual en algunas de las fuentes de información de las cuales se encontró información acerca de esta central se decía que había planes para desconectar definitivamente esta central para construir al lado de esta, un gran parque fotovoltaico capaz de cubrir las demandas que tiene esta central [21]. La otra central térmica que se va a desconectar es la central térmica de Mahón, en Menorca, debido a que se encontraron páginas donde decían que, gran parte del año 2023, se habían desconectado algunos motores Diesel en esta central [24].

La potencia que suministraban estas centrales se ha distribuido en los parques fotovoltaicos de mayor potencia presentes en las Islas Baleares.

Esta distribución se puede ver en la siguiente tabla:

Central térmica	Potencia de la central térmica (MW)	Nudo	Potencia asignada (MW)	Potencia Total (MW)
Murterar	50,7	Sóller	25,35	26,17381
		Murterar	25,35	27
Mahón	95,1	Ciudadela	52	52
		Llucmajor	19,55	22,85
		Son Reus	11,70619	12,53
		Cala Millor	4,29	5,94
		Can Picafort	7,55381	10,03381

Tabla 11. Distribución de potencias en parques fotovoltaicos.

Una de las preocupaciones de esta mejora era si iban a aumentar las pérdidas del sistema ya que se descentraliza la producción, pero no es así en este caso ya que las pérdidas aumentan pero es un aumento insignificante. Las pérdidas antes y después son:

Pérdidas totales antes (MW)	Pérdidas totales después (MW)
0,000288	0,0002961

Tabla 12. Pérdidas antes y después de la eliminación de centrales térmicas.

El funcionamiento del sistema tras esta mejora es correcto, ninguna línea está sobrecargada, el único problema apreciable es que la generación reactiva aumenta hasta los 25,86 MVAR, lo cual es normal ya se han implantado condensadores fijos y al aumentar la potencia que es generada a algunos nudos pues se necesita más reactiva generada.

La salida del programa a esta mejora se encuentra en el Anexo VIII.

7. Conclusión

En este Trabajo Fin de Grado se ha pretendido simular la red eléctrica de las Islas Baleares utilizando el software Power World, para comprobar su correcto funcionamiento, evaluándolo bajo diferentes escenarios de generación y consumo y analizar como los distintos elementos que componen el sistema eléctrico balear pueden afectar al mismo, como pueden ser la integración de las energías renovables y la interconexión con la península.

La red eléctrica se ha modernizado bastante en los últimos 15 años, prueba de ello es que incorpora tecnología como el HVDC para la conexión con la península, plantas de valorización de residuos o incluso cogeneración. También se ha comprobado que presenta un buen comportamiento en todos los casos estudiados, con garantía de suministro en todas la simulaciones y esto es gracias al papel que desempeñan las distintas interconexiones marítimas, lo cual no es otro que garantizar el suministro de las fuentes de consumo a cualquier hora del día y no solo garantía de suministro sino también la posibilidad de reducir la potencia generada por la centrales térmicas, lo cual conlleva a una disminución de las emisiones contaminantes de la atmosfera.

Aunque al sistema eléctrico balear aún le queda mucho para ser una red eléctrica moderna, debido a su baja descarbonización, ya que ni en el mejor de los casos, que se han estudiado, la generación renovable llega al 30 por ciento de la generación total en las Islas Baleares, ese porcentaje se reduce al 8 por ciento, si hablamos de potencia instalada renovable, aunque si es cierto que va aumentando progresivamente la potencia renovable instalada, debido a que cada vez se ponen en marcha más proyectos de energía renovable en las Islas Baleares. Por esto sería interesante plantear una posibilidad de continuación este trabajo, la cual sería dentro de unos años poder ver la evolución que ha tenido el sistema eléctrico balear en cuanto a la generación renovable y ver como esta evolución ha afectado a dicho sistema.

Por último, me gustaría que tanto este trabajo fin de grado como los archivos de simulación del programa Power World [37] queden a disposición de los estudiantes de la asignatura de Sistemas eléctricos de potencia, ya que esta simulación tan realista posee un gran valor didáctico.

8. Bibliografía

1. ISLAS BALEARES [Internet]. Nautilusibiza.com. Disponible en:
<https://www.nautilusibiza.com/es/blog/93-islas-baleares>
2. EpData. Islas Baleares - Mapa de población [Internet]. EpData; 2020. Disponible en:
<https://www.epdata.es/mapa-poblacion/51bd2223-2672-464d-b389-fe48562e9495/islas-baleares/315>
3. Islas Baleares [Internet]. Los diccionarios y las enciclopedias sobre el Académico. Disponible en: <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/100716>
4. Archipiélago de Cabrera: Sistema de Gestión Ambiental [Internet]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en:
<https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/red-parques-nacionales/parques-nacionales/cabrera/sistema-gestion-medioambiental.html>
5. Eléctrica R. Singularidades del sistema balear [Internet]. Red Eléctrica. Disponible en:
<https://www.ree.es/es/actividades/sistema-electrico-balear/singularidades-del-sistema>
6. Eléctrica R. REData - Potencia instalada [Internet]. Red Eléctrica. Disponible en:
<https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada>
7. Folleto del Sistema Eléctrico Balear [Internet]. Ree.es. Disponible en:
https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/sistema_electrico_balear_2015_es.pdf
8. Calcular Distancia en el Mapa [Internet]. CalcMaps. Disponible en:
<https://www.calcmaps.com/es/map-distance/>
9. Central térmica de Mahón [Internet]. Caib.es. Disponible en:
<https://www.caib.es/sites/recoregutenergia/f/89672>
10. Parc Eòlic de Milà [Internet]. Web oficial de turismo de Menorca. Disponible en:
<https://cremenorca.org/Contingut.aspx?IdPub=10698>
11. Ini L. Puesta en marcha en Menorca del parque fotovoltaico de Son Salomó, de 52 MWp [Internet]. pv magazine España. 2023. Disponible en: <https://www.pv-magazine.es/2023/10/19/puesta-en-marcha-en-menorca-del-parque-fotovoltaico-de-son-salomo-de-52-mwp/>
12. MontanNito B. Planta solar fotovoltaica de Binisafúller [Internet]. Flickr. Disponible en:
<https://www.flickr.com/photos/montannito/4140373191>

13. Upc.edu. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/352657/tfg-colomar-mari-joan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
14. Torres JA. Eivissa estrena sus dos primeros parques solares [Internet]. UltimaHora.es. 2022. Disponible en: <https://www.ultimahora.es/noticias/economico/2022/10/24/1814719/eivissa-estrena-dos-primeros-parques-solares.html>
15. De N 183 S 1. de A. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO [Internet]. Boe.es. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/08/01/pdfs/BOE-A-2015-8646.pdf>
16. Trabajo Fin de Grado de Javier Funes Salas [Internet]. Google.com. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1ItV-o4ZfXLczqduyW5hTURHI-GSEaa2p/view?usp=drive_link
17. Sampol. Caib.es. Disponible en: <https://www.caib.es/sites/energia/f/113938>
18. Parques Fotovoltaicos [Internet]. Tecnicosconsultores.com. Disponible en: https://www.tecnicosconsultores.com/proyectos/parques_fotovoltaicos
19. Endesa. Endesa, a través de su filial renovable EGPE, pone en servicio la nueva planta solar de Son Reus con una potencia instalada de 12,5 MW [Internet]. Disponible en: <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/renovables/nueva-planta-solar-son-reus-12-mw>
20. Endesa. Endesa, a través de su filial renovable EGPE, pone en servicio la nueva planta solar de Son Orlandis con una potencia instalada de 3,34 MW [Internet]. Disponible en: <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/renovables/nueva-planta-solar-son-orlandis-3,34-mw>
21. Europa Press Islas Baleares. Endesa pone en servicio en Mallorca la planta fotovoltaica de Nou Biniatria, de 15 MW [Internet]. 2021. Disponible en: <https://www.europapress.es/illes-balears/noticia-endesa-pone-servicio-mallorca-planta-fotovoltaica-nou-biniatria-15-mw-20210514123433.html>
22. Estudio de impacto ambiental de la Instalación Solar Fotovoltaica. Proyecto Básico Modificado; Juny, 14 Mwp [Internet]. Caib.es. Disponible en: <https://www.caib.es/sites/energiaicanviclimatic/f/336522>
23. Europa press. Endesa pone en marcha la nueva planta solar de Ca Na Lloreta, en Alcudia (Mallorca) [Internet]. 2022. Disponible en: <https://www.europapress.es/economia/noticia-endesa-pone-marcha-nueva-planta-solar-ca-na-lloreta-alcudia-mallorca-20221230095322.html>
24. Eléctrica R. Proyecto Rómulo [Internet]. Ree.es. Disponible en: https://www.ree.es/sites/default/files/01_ACTIVIDADES/Documentos/folleto_romulo_es.pdf

25. Eléctrica R. Enlace Mallorca-Ibiza [Internet]. Ree.es. Disponible en:
https://www.ree.es/sites/default/files/01_ACTIVIDADES/Documentos/Romulo2_es.pdf
26. Eléctrica R. Red Eléctrica finaliza el tendido submarino del nuevo enlace eléctrico entre Eivissa y Formentera [Internet]. Red Eléctrica. Disponible en: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2023/01/red-electrica-finaliza-el-tendido-submarino-del-nuevo-enlace-electrico-entre-Eivissa-y-Formentera>
27. Eléctrica R. La interconexión de todas las islas baleares, un impulso a la transición energética en el archipiélago [Internet]. Red Eléctrica. Disponible en:
<https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2020/07/la-interconexion-de-todas-las-islas-baleares-un-impulso-transicion-energetica-archipelago>
28. Velatia. Mallorca y Menorca unidas gracias a un nuevo cable eléctrico submarino [Internet]. Velatia. 2020. Disponible en: <https://www.velatia.com/es/blog/mallorca-y-menorca-se-unen-por-un-nuevo-cable-electrico-submarino/>
29. Roca R. Red Eléctrica propone conectar Mallorca con Menorca con un cable submarino por 34 millones de euros [Internet]. El Periódico de la Energía. 2017. Disponible en:
<https://elperiodicodelaenergia.com/red-electrica-propone-conectar-mallorca-con-menorca-con-un-cable-submarino-por-34-millones-de-euros/>
30. Eléctrica R. REData - Demanda máxima diaria [Internet]. Red Eléctrica. Disponible en:
<https://www.ree.es/es/datos/demanda/demanda-maxima-diaria>
31. Eléctrica R. REData - Evolución [Internet]. Red Eléctrica. Disponible en:
<https://www.ree.es/es/datos/demanda/evolucion>
32. Eléctrica R. Seguimiento de la demanda de energía eléctrica [Internet]. Ree.es. Disponible en: <https://demanda.ree.es/visiona/baleares/baleares5m/total/2023-07-19>
33. Eléctrica R. Seguimiento de la demanda de energía eléctrica [Internet]. Ree.es. Disponible en: <https://demanda.ree.es/visiona/baleares/baleares5m/total/2023-12-03>
34. Eléctrica R. Seguimiento de la demanda de energía eléctrica [Internet]. Ree.es. Disponible en: <https://demanda.ree.es/visiona/baleares/baleares5m/acumulada/2023-07-19>
35. Eléctrica R. Seguimiento de la demanda de energía eléctrica [Internet]. Ree.es. Disponible en: <https://demanda.ree.es/visiona/baleares/baleares5m/acumulada/2023-12-03>
36. Gilabert J. Los motores más contaminantes de la central de Maó vuelven a funcionar por el repunte del consumo [Internet]. Menorca.info. 2023. Disponible en:
<https://www.menorca.info/menorca/local/2023/08/18/1996407/motores-mas-contaminantes-central-mao-vuelven-funcionar-por-repunte-del-consumo.html>
37. Archivos Power World [Internet]. Google.com. Disponible en:
https://drive.google.com/file/d/1Kle8ZuZ8ul-aQyS140NjyYj8zitdNxVB/view?usp=drive_link

9. Anexos

9.1. Anexo I: Mapas

Mapa del sistema eléctrico de las Islas Baleares proporcionado por Red Eléctrica de España.

Red de transporte balear

Red Eléctrica, además de transportar la electricidad en alta tensión, tiene la función de construir, mantener y maniobrar las instalaciones de la red de transporte de energía eléctrica. Una red de transporte que presenta unos elevados índices de calidad de servicio y está formada por los siguientes elementos:

- Líneas y subestaciones de tensión igual o superior a 66 kV.
- Enlaces eléctricos entre las islas y del archipiélago con la Península, independientemente del nivel de tensión.
- Transformadores de 220/132/66 kV.

Líneas	Circuitos		Cable subterráneo / submarino	Tensiones
	previstos	instalados		
En servicio	2	1	1 1	220 kV
	2	2	2 2	132-110 kV
En construcción y programadas	1	1	1 1	66 kV
	2	1	2 2	<66 kV
	2	2		

Cable subterráneo / submarino

En servicio

En construcción y programadas

Subestaciones

En servicio

En construcción, programadas y planificación 2015-2020

Tensiones

220 kV

132-110 kV

66 kV

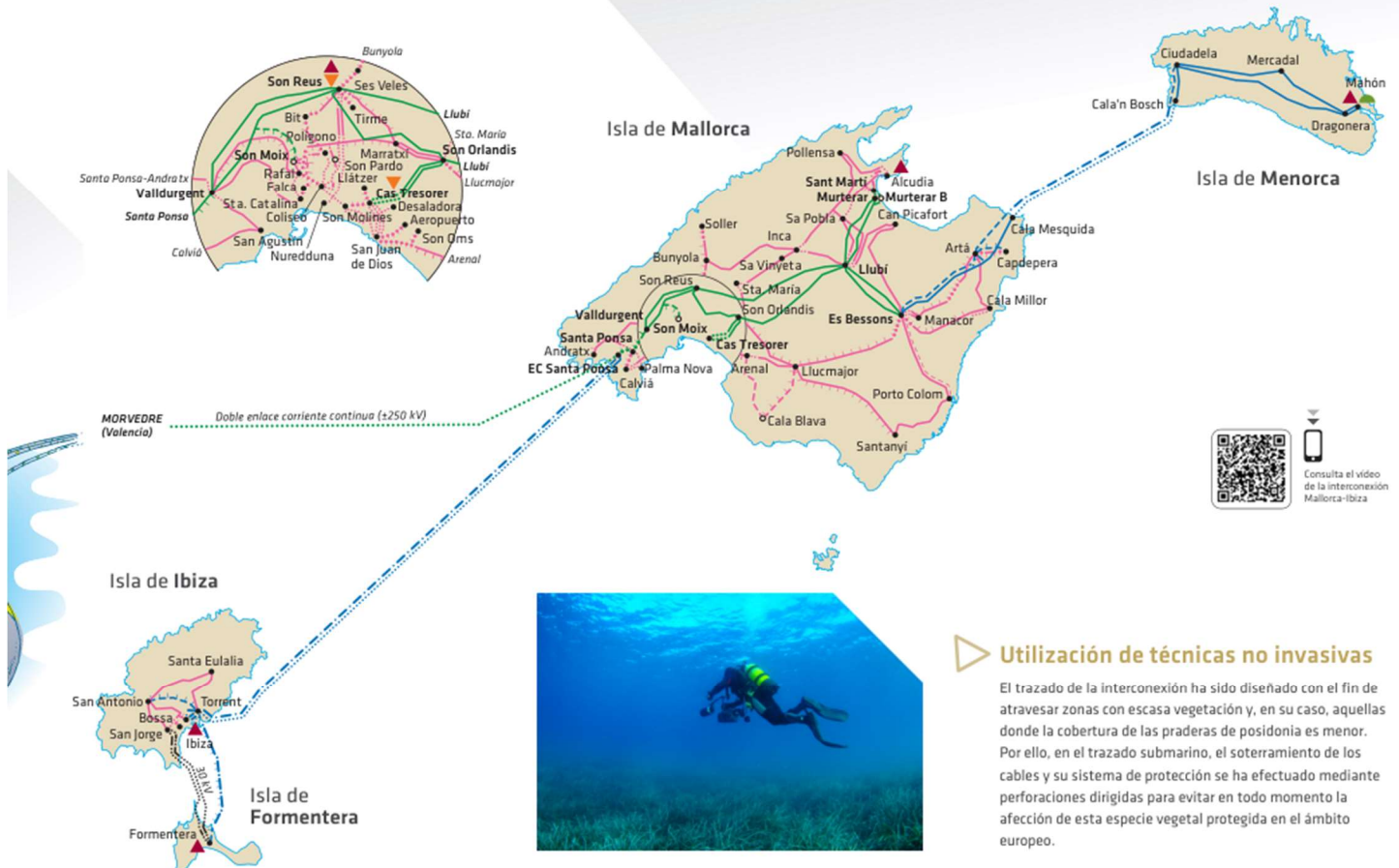
<66 kV

Principales centrales

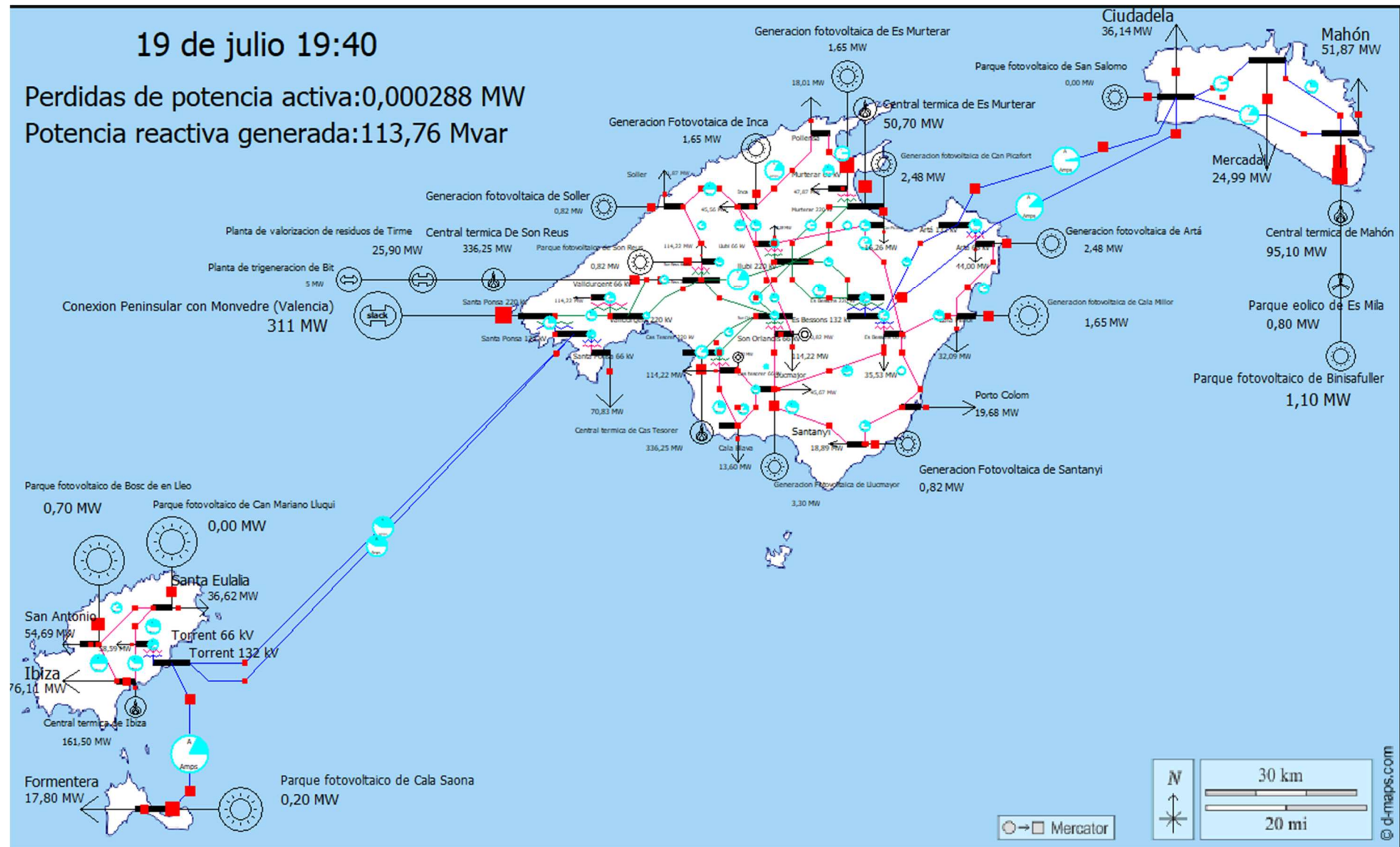
Trélica clásica

Eólica

Ciclo Combinado



En la siguiente imagen se encuentra el sistema eléctrico balear simplificado.



Se ha seguido la misma línea de colores que aparecen en el folleto de Red Eléctrica de España para introducir en el programa, los diferentes tipos de líneas eléctricas dependiendo de su nivel de tensión. Los rectángulos de color negro son los distintos nudos. Cada una de las flechas que se pueden ver en el programa son la representación de los consumos en cada nudo. Los círculos con diferente simbología que están unidos a los distintos nudos, representan los distintos generadores, los que tiene el símbolo de una llama son las distintas centrales térmicas, los que tiene un sol son las generaciones fotovoltaicas y las generaciones con un dibujo de unas aspas son la generación de forma eólica. El símbolo que representan dos bobinas enfrentadas son las centrales de transformación. Por último, los círculos que aparecen con una parte en azul representan el tanto por ciento de la capacidad máxima de la línea que se le ha prefijado y los rectángulos rojos son para tener la posibilidad de desconectar cualquier elemento de la simulación.

9.2. Anexo II: Nudos eléctricos

La simplificación de nudo que se ha realizado y el nudo al que se han fusionado se expone a continuación.

Región	Nudo	Nudo definitivo
Menorca	Mahón	Mahón
	Dragonera	Mahón
	Mercadal	Mercadal
	Ciudadela	Ciudadela
	Cala òn Bosch	Ciudadela
Mallorca	Cala Mesquida	Artá
	Artá	Artá
	Capdepera	Artá
	Cala Millor	Cala Millor
	Manacor	Es Bessons
	Es Bessons	Es Bessons
	Llubí	Llubí
	Can Picafort	Can Picafort
	Murterar	Murterar
	Sant Marti	Murterar
	Alcudia	Murterar
	Pollensa	Pollensa
	Sa Pobla	Inca
	Inca	Inca
	Sa Vinyeta	Inca
	Sóller	Sóller
	Bunyola	Sóller
	Santa María	Son Orlandis
	Son Orlandis	Son Orlandis
	Porto Colom	Porto Colom
	Santanyí	Santanyí
	Cala Blava	Cala Blava
	Llucmajor	Llucmajor
	Arenal	Cas Tesorer
	Son Oms	Cas Tesorer
	Aeropuerto	Cas Tesorer

	San Juan de Dios	Cas Tesorer
	Desaladora	Cas Tesorer
	Son Molines	Cas Tesorer
	Cas Tesorer	Cas Tesorer
	Llatzer	Son Reus
	Son Pardo	Son Reus
	Marratxí	Son Reus
	Tirme	Son Reus
	Ses Veles	Son Reus
	Son Reus	Son Reus
	Bit	Son Reus
	Polígono	Son Reus
	Son Moix	Valldurgent
	Rafal	Valldurgent
	Falca	Valldurgent
	Santa Catalina	Valldurgent
	Coliseo	Valldurgent
	Nuredduna	Valldurgent
	San Agustín	Valldurgent
	Valldurgent	Valldurgent
	Calviá	Santa Ponsa
	Santa Ponsa	Santa Ponsa
	Andratx	Santa Ponsa
	Palma Nova	Santa Ponsa
Ibiza	Torrent	Torrent
	Santa Eulalia	Santa Eulalia
	San Antonio	San Antonio
	Bossa	Ibiza
	Ibiza	Ibiza
	San Jorge	Ibiza
Formentera	Formentera	Formentera

9.3. Anexo III: Líneas eléctricas

En esta tabla se presentan todos los datos referidos a las líneas eléctricas introducidas en el sistema.

						19/07/2023				03/12/2023						
						19:40:00		14:00:00		20:35:00		12:30:00				
						Potencia (MW)	Intensidad por fase (A)	Potencia (MW)	Intensidad por fase (A)	Potencia (MW)	Intensidad por fase (A)	Potencia (MW)	Intensidad por fase (A)			
Menorca	Ciudadela	Mercadal	132	1	22,38	4	17,50	1,1	4,81	1,4	6,12	4,4	19,25	174,24	0,13906	24,23
	Ciudadela	Mahón	132	1	38,14	16,1	70,42	12,1	52,92	3,9	17,06	0,7	3,06	174,24	0,23699	41,29
	Mercadal	Mahón	132	1	18,06	29	126,84	24,3	106,28	9,9	43,30	4	17,50	174,24	0,11222	19,55
Menorca-Mallorca	Ciudadela	Artá	132	1	67,711	3,9	17,06	1,5	6,56	4,3	18,81	3,3	14,43	174,24	0,42074	73,31
	Ciudadela	Es Bessons	132	1	84,332	12,1	52,92	8,5	37,18	8,9	38,93	5,5	24,06	174,24	0,52402	91,31
Mallorca	Artá	Es Bessons	132	1	20,46	37,3	163,15	30	131,22	22,5	98,41	11,7	51,17	174,24	0,12713	22,15
	Artá	Cala Millor	66	1	9,74	8,1	70,86	6,4	55,99	5,5	48,11	3,4	29,74	43,56	0,06052	2,64
	Cala Millor	Es Bessons	66	2	17,8	38,5	336,79	31	271,18	22,8	199,45	11,6	101,47	43,56	0,1106	4,82
	Es Bessons	Porto Colom	66	2	19,04	1,2	10,50	0,4	3,50	2,8	24,49	0,1	0,87	43,56	0,11831	5,15
	Es Bessons	Llucmajor	66	2	24,29	53,4	467,13	46,8	409,39	34,4	300,92	17,4	152,21	43,56	0,15093	6,57
	Es Bessons	Can Picafort	66	1	20,04	7,9	69,11	9,4	82,23	3,6	31,49	6,9	60,36	43,56	0,12452	5,42
	Es Bessons	Llubí	220	1	15,28	30,5	80,04	23,4	61,41	16,3	42,78	9,2	24,14	484	0,09495	45,96
	Es Bessons	Llubí	220	1	15,28	30,5	80,04	23,4	61,41	16,3	42,78	9,2	24,14	484	0,09495	45,96
	Llubí	Can Picafort	66	1	14,22	21,7	189,83	11,9	104,10	12,4	108,47	0,3	2,62	43,56	0,08836	3,85

	Llubí	Inca	66	1	7,86	35,6	311,42	36,6	320,17	24,9	217,82	13,3	116,34	43,56	0,04884	2,13
	Llubí	Son Orlandis	220	1	28,68	46,3	121,51	40,1	105,24	31,2	81,88	11,7	30,70	484	0,17821	86,25
	Llubí	Son Reus	220	1	26,84	86,7	227,53	77,3	202,86	56,8	149,06	18,5	48,55	484	0,16678	80,72
	Llubí	Murterar	220	1	15,29	1,2	3,15	5,7	14,96	10,2	26,77	5	13,12	484	0,09501	45,98
	Llubí	Murterar	220	1	15,29	1,2	3,15	5,7	14,96	10,2	26,77	5	13,12	484	0,09501	45,98
	Son Orlandis	Llucmajor	66	2	14,3	33,5	293,05	25,1	219,57	20,8	181,95	3,7	32,37	43,56	0,09215	4,01
	Son Orlandis	Cas Tessorer	220	1	5,57	54	141,71	43,7	114,68	31,1	81,62	23	60,36	484	0,03461	16,75
	Son Orlandis	Cas Tessorer	220	1	5,57	54	141,71	43,7	114,68	31,1	81,62	23	60,36	484	0,03461	16,75
	Son Orlandis	Son Reus	220	1	7,56	133,4	350,08	123	322,79	83,6	219,39	21,5	56,42	484	0,04698	22,74
	Son Reus	Valldurgent	220	1	9,51	22,3	58,52	17,9	46,98	21,4	56,16	25,9	67,97	484	0,05909	28,60
	Son Reus	Valldurgent	220	1	9,51	22,3	58,52	17,9	46,98	21,4	56,16	25,9	67,97	484	0,05909	28,60
	Valldurgent	Santa Ponsa	220	2	13,23	158,8	416,74	144,7	379,74	104,3	273,72	6,8	17,85	484	0,08221	39,79
	Cala Blava	Llucmajor	66	2	12,57	15,1	132,09	10,1	88,35	9,7	84,85	2	17,50	43,56	0,07811	3,40
	Cala Blava	Cas Tessorer	66	1	21,2	28,7	251,06	23	201,20	17	148,71	7,4	64,73	43,56	0,13173	5,74
	Llucmajor	Santanyí	66	2	25,6	39	341,16	34,1	298,30	23,6	206,45	12,3	107,60	43,56	0,15907	6,93
	Santanyí	Porto Colom	66	1	13,37	20,9	182,83	19,2	167,96	13,4	117,22	7,9	69,11	43,56	0,08308	3,62
	Llucmajor	Cas Tessorer	66	1	12,2	86,2	754,05	66,5	581,72	52,1	455,76	19,7	172,33	43,56	0,05747	2,50
	Pollensa	Murterar	66	1	13,3	2,2	19,25	2	17,50	5,5	48,11	3,3	28,87	43,56	0,08264	3,60
	Pollensa	Inca	66	1	18,36	15,9	139,09	19,1	167,08	15,2	132,97	3,8	33,24	43,56	0,11408	4,97
	Inca	Sóller	66	2	15,98	47,2	412,89	57,1	499,50	32,6	285,18	23,3	203,82	43,56	0,09929	4,33
	Sóller	Son Reus	66	2	16,67	78,2	684,07	52,8	461,88	48,6	425,14	1,2	10,50	43,56	0,10358	4,51
	Inca	Son Orlandis	66	1	21,78	48,2	421,64	39,6	346,41	32,1	280,80	10,6	92,73	43,56	0,13533	5,89
Mallorca-Ibiza	Santa Ponsa	Torrent	132	1	126	40,7	178,02	49	214,32	47,8	209,07	40,3	176,27	174,24	0,78293	136,42

	Santa Ponsa	Torrent	132	1	126	40,7	178,02	49	214,32	47,8	209,07	40,3	176,27	174,24	0,78293	136,42
Ibiza	Santa Eulalia	San Antonio	66	1	14,66	5,5	48,11	7,1	62,11	7	61,23	6,2	54,24	43,56	0,09109	3,97
	Torrent	Santa Eulalia	66	1	9,71	42,1	368,28	39,1	342,04	23,6	206,45	18,2	159,21	43,56	0,06033	2,63
	Torrent	Ibiza	66	1	2,8	36,9	322,79	11,2	97,97	39,8	348,16	39,5	345,54	43,56	0,0174	0,76
	Ibiza	San Antonio	66	1	12,27	48,5	424,26	42,1	368,28	18	157,46	12,9	112,85	43,56	0,07624	3,32
Ibiza-Formentera	Torrent	Formentera	132	2	37,2	17,6	76,98	14,1	61,67	5,5	24,06	2,3	10,06	174,24	0,372	64,82

En la siguiente tabla se muestran los límites de potencia, que se han prefijado, para cada línea.

	From Numbe	From Name	To Number	To Name	Branch Devi Type ▲	Lim MVA A
1	35	Inca	36	Soller	Line	100,0
2	27	Llucmajor	30	Son Orlandis 66 kV	Line	100,0
3	17	Son Orlandis 220 kV	18	Cas Tesorer 220 kV	Line	500,0
4	36	Soller	37	Son Reus 66 kV	Line	500,0
5	33	Murterar 66 kV	34	Pollensa	Line	100,0
6	28	Cala Blava	29	Cas tesorer 66 kV	Line	100,0
7	5	Torrent 132 kV	4	Formentera	Line	100,0
8	39	Santa Ponsa 132 kV	5	Torrent 132 kV	Line	100,0
9	6	Torrent 66 kV	7	Santa Eulalia	Line	100,0
10	3	Ciudadela	12	Es Bessons 132 kV	Line	100,0
11	7	Santa Eulalia	8	San Antonio	Line	100,0
12	34	Pollensa	35	Inca	Line	100,0
13	11	Artá 132 kV	12	Es Bessons 132 kV	Line	100,0
14	35	Inca	30	Son Orlandis 66 kV	Line	100,0
15	39	Santa Ponsa 132 kV	5	Torrent 132 kV	Line	100,0
16	2	Mercadal	1	Mahón	Line	100,0
17	14	Es Bessons 220 kV	20	Ilubi 220 kV	Line	100,0
18	14	Es Bessons 220 kV	20	Ilubi 220 kV	Line	100,0
19	15	Valldurgent 220 kV	16	Son Reus 220 kV	Line	500,0
20	16	Son Reus 220 kV	15	Valldurgent 220 kV	Line	500,0
21	40	Santa Ponsa 220 kV	15	Valldurgent 220 kV	Line	500,0
22	9	Ibiza	6	Torrent 66 kV	Line	100,0
23	16	Son Reus 220 kV	17	Son Orlandis 220 kV	Line	500,0
24	16	Son Reus 220 kV	20	Ilubi 220 kV	Line	500,0
25	8	San Antonio	9	Ibiza	Line	100,0
26	3	Ciudadela	2	Mercadal	Line	100,0
27	17	Son Orlandis 220 kV	18	Cas Tesorer 220 kV	Line	500,0
28	17	Son Orlandis 220 kV	20	Ilubi 220 kV	Line	100,0
29	32	Llubi 66 kV	35	Inca	Line	100,0
30	31	Can Picafort	32	Llubi 66 kV	Line	100,0
31	20	Ilubi 220 kV	21	Murterar 220 kV	Line	100,0
32	20	Ilubi 220 kV	21	Murterar 220 kV	Line	100,0
33	3	Ciudadela	11	Artá 132 kV	Line	100,0
34	3	Ciudadela	1	Mahón	Line	100,0
35	22	Artá 66 kV	23	Cala Millor	Line	100,0
36	23	Cala Millor	24	Es Bessons 66 kV	Line	100,0
37	24	Es Bessons 66 kV	25	Porto Colom	Line	100,0
38	24	Es Bessons 66 kV	27	Llucmajor	Line	100,0
39	24	Es Bessons 66 kV	31	Can Picafort	Line	100,0
40	25	Porto Colom	26	Santanyi	Line	100,0
41	26	Santanyi	27	Llucmajor	Line	100,0
42	27	Llucmajor	28	Cala Blava	Line	100,0
43	27	Llucmajor	29	Cas tesorer 66 kV	Line	200,0

9.4. Anexo IV: Centrales de generación

En esta tabla aparece toda la información de las centrales de generación que se han encontrado.

Isla	Nombre	Nudo	P_{\max} (MW)	Tipo de generación	Combustible	Potencia asignada(MW)			
						19/07/2023		03/12/2023	
						19:40	14:00	20:35	12:30
Menorca	Central térmica de Mahón	Mahón	271,6	Turbina de gas y motores Diesel	Gasóleo y fuel	95,1	81,5	36,4	19,5
	Parque solar de San Salomo	Ciudadela	52	Solar fotovoltaica	Sol	0	10,44	0,6	8,5
	Parque eólico de Es Mila	Mahón	2,4	Eólica	Viento	0,8	2	0,8	1,2
	Parque solar de Binisafuller	Mahón	1,3	Solar fotovoltaica	Sol	1,1	1,1	0	0
Ibiza	Central térmica de Ibiza	Ibiza	320	Turbina de gas y motores Diesel	Gas Natural y gasóleo	161,5	126	12,9	0
	Parque fotovoltaico de Bosc d'en Lleó	San Antonio	3,5	Solar fotovoltaica	Sol	0,7	3,05	0	0
	Parque fotovoltaico de Can Mariano Lluqui	Santa Eulalia	3,1	Solar fotovoltaica	Sol	0	3,05	0	0,8
Formentera	Central térmica de Formentera	Formentera	14	Turbina de gas	Gas Natural	0	0	0	0
	Parque fotovoltaico de Cala Saona	Formentera	2,1	Solar fotovoltaica	Sol	0,2	1,5	0	1,4

Mallorca	Central térmica de Son Reus	Son Reus	563,85	Ciclo combinado y turbina de gas	Gasóleo y gas natural	336,25	282,65	192,75	115
	Central térmica de Cas Tessorer	Cas Tessorer	429	Ciclo combinado	Gas natural	336,25	282,65	192,75	115
	Central térmica de Es Murterar	Es Murterar	533,8	Ciclo de vapor y turbina de gas	Carbón y gasóleo	50,7	0	0	0
	Planta de valorización de residuos Tirme	Son Reus	–	Ciclo de vapor	Residuos	25,9	26,4	10,5	10,5
	Planta de cogeneración de Bit	Son Reus	14	Cogeneración	Gas Natural	5	4,7	4,6	0
	Parque Fotovoltaico Gea	Cala Millor	4,44	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	4,44	0	4,44
	Parque fotovoltaico Parrilla, Cortijo y Gaviota	Can Picafort	9	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	9	0	9
	Parque fotovoltaico Regana Blava	Artá	2,52	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	2,52	0	2,52
	Parque fotovoltaico Camp D'En Bover	Santanyí	3,06	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	3,06	0	3,06
	Parque fotovoltaico Alcoraia	Lluchmajor	1	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	1	0	1
	Parque fotovoltaico Bellpuig	Artá	3	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	3	0	3
	Parque fotovoltaico Guiamaret	Lluchmajor	1,5	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	1,5	0	0,84
	Parque fotovoltaico S'Estelrica	Artá	1,5	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	1,5	0	0

	Parque fotovoltaico Siquier	Inca	1,5	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	1,5	0	0
	Parque fotovoltaico Son Jordi	Cala Millor	1,5	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	1,5	0	0
	Parque fotovoltaico Son Quartera	Llucmajor	2,35	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	2,35	0	2,35
	Parque fotovoltaico Vernissa Nou	Can Picafort	2	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	2	0	2
	Parque fotovoltaico S'Ermitori	Can Picafort	2	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	2	0	2
	Parque fotovoltaico Son Bordils	Inca	1,14	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	1,14	0	1,14
	Parque fotovoltaico Sa Caseta	Llucmajor	18	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	18	0	18
	Parque fotovoltaico Biniatria	Murterar	28,29	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	28,29	0	28,29
	Parque fotovoltaico de Mallorca Sostenible	Sóller	34,65	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	34,65	1,1	34,65
	Parque fotovoltaico de Son Reus	Son Reus	12,53	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	12,53	0	12,53
	Parque fotovoltaico de Son Orlandis	Son Orlandis	3,34	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	3,34	0	3,34
	Parque fotovoltaico de San Juny	Cas Tesorer	3,14	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	3,14	0	3,14
	Parque fotovoltaico Can Na Lloreta	Murterar	3,9	Solar fotovoltaica	Sol	0,82381	3,9	0	3,9

	Conexión Peninsular	Santa Ponsa	400	Conexión submarina	Desconocido	311	310,2	238,1	101,6
					Total	1341,8	1275,6	690,5	508,7

9.5. Anexo V: Consumos

En la siguiente tabla se muestra la distribución de consumos en los distintos casos.

Isla	Nudo	Población (habitantes)	% Población	Potencia consumida (MW)			
				19/07/2023		03/12/2023	
				19:40	14:00	20:35	12:30
Menorca	Mahón	43899	45,90	51,87	48,19	23,41	17,44
	Mercadal	21154	22,12	24,99	23,22	11,28	8,40
	Ciudadela	30588	31,98	36,14	33,58	16,31	12,15
Mallorca	Artá	40701	4,47	44,00	41,95	23,72	17,33
	Cala Millor	29685	3,26	32,09	30,59	17,30	12,64
	Es Bessons	32860	3,61	35,53	33,87	19,15	13,99
	Llubí	81655	8,96	88,28	84,16	47,59	34,77
	Can Picafort	15042	1,65	16,26	15,50	8,77	6,41
	Murterar	44275	4,86	47,87	45,63	25,80	18,85
	Pollensa	16658	1,83	18,01	17,17	9,71	7,09
	Inca	42143	4,63	45,56	43,43	24,56	17,95
	Sóller	29483	3,24	31,87	30,39	17,18	12,56
	Son Orlandis	105647	11,60	114,22	108,88	61,57	44,99
	Porto Colom	18202	2,00	19,68	18,76	10,61	7,75
	Santanyí	17469	1,92	18,89	18,00	10,18	7,44
	Cala Blava	12584	1,38	13,60	12,97	7,33	5,36
	Llucmajor	42244	4,64	45,67	43,54	24,62	17,99
	Cas Tessorer	105647	11,60	114,22	108,88	61,57	44,99
	Son Reus	105647	11,60	114,22	108,88	61,57	44,99

	Valldurgent	105647	11,60	114,22	108,88	61,57	44,99
	Santa Ponsa	65514	7,19	70,83	67,52	38,18	27,90
Ibiza	Torrent	39358	25,92	58,59	55,99	26,70	20,48
	Santa Eulalia	24598	16,20	36,62	34,99	16,69	12,80
	San Antonio	36743	24,20	54,69	52,27	24,93	19,12
	Ibiza	51128	33,68	76,11	72,74	34,69	26,60
Formentera	Formentera	11904	100,00	17,80	15,60	5,50	3,70

9.6. Anexo VI: Centros de transformación

En la siguiente tabla se muestra la información relativa a los centros de transformación así como su potencia aparente en cada caso.

Isla	Nudo	Relación de Tensiones (kV)	Potencia(MVA)			
			19/03/2023		03/12/2023	
			19:40	14:00	20:35	12:30
Mallorca	Artá	132/66	33,5	28,6	18,2	8,4
	Es Bessons	132/220	61	46,8	32,6	18,5
		132/66	11,5	8,3	1,2	1,3
	Llubi	220/66	74,5	59,3	35,1	21,8
	Murterar	220/66	48,4	11,5	20,3	10,1
	Son Reus	220/66	191,8	149,4	110,3	33,7
	Son Orlandis	220/66	195,2	170,4	114,5	55,9
	Cas Tesorer	220/66	228,3	195,3	130,6	69
	Santa Ponsa	220/132	152,9	166,7	135,2	109,2
		132/66	70,83	67,5	38,2	27,9
	Valldurgent	220/66	114,22	108,9	61,6	45
Ibiza	Torrent	132/66	65,1	83,9	91,8	79,1

En la siguiente tabla se muestran los limiten prefijados para los transformadores.

44	18 Cas Tesorer 220 kV	29 Cas tesorer 66 kV	Transformer	500,0
45	17 Son Orlandis 220 kV	30 Son Orlandis 66 kV	Transformer	500,0
46	11 Artá 132 kV	22 Artá 66 kV	Transformer	100,0
47	5 Torrent 132 kV	6 Torrent 66 kV	Transformer	100,0
48	39 Santa Ponsa 132 kV	42 Santa Ponsa 66 kV	Transformer	100,0
49	39 Santa Ponsa 132 kV	40 Santa Ponsa 220 kV	Transformer	500,0
50	16 Son Reus 220 kV	37 Son Reus 66 kV	Transformer	500,0
51	15 Valldurgent 220 kV	41 Valldurgent 66 kV	Transformer	500,0
52	21 Murterar 220 kV	33 Murterar 66 kV	Transformer	100,0
53	20 Ilubi 220 kV	32 Llubí 66 kV	Transformer	500,0
54	12 Es Bessons 132 kV	24 Es Bessons 66 kV	Transformer	100,0
55	12 Es Bessons 132 kV	14 Es Bessons 220 kV	Transformer	100,0

9.7. Anexo VII: Resultados de simulaciones

9.7.1. 19 de julio

9.7.1.1. 19:40

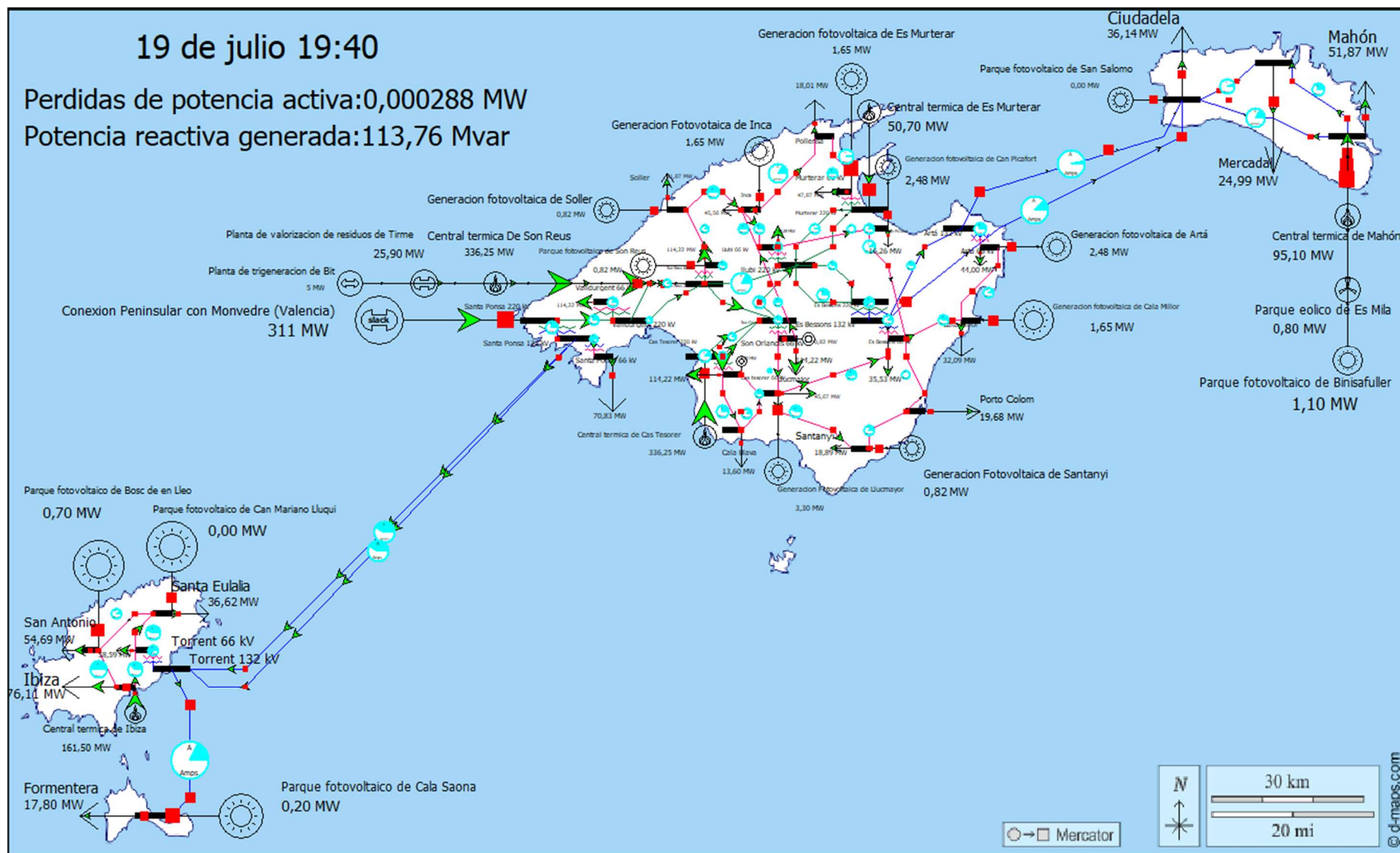
En esta tabla se muestran la distribución de potencia y factor de potencia para los distintos generadores del sistema.

	Number of Bus	Name of Bus ▼	Gen MW	Gen Mvar	MVA	Power Factor
1	37	Son Reus 66 kV	0,82	11,37	11,404	0,072
2	16	Son Reus 220 kV	5,00	3,79	6,275	0,797
3	16	Son Reus 220 kV	336,25	3,79	336,271	1,000
4	16	Son Reus 220 kV	25,90	3,79	26,176	0,989
5	30	Son Orlandis 66 kV	0,82	10,02	10,052	0,082
6	36	Soller	0,82	4,28	4,355	0,189
7	26	Santanyi	0,82	2,19	2,344	0,352
8	40	Santa Ponsa 220 kV	310,97	27,08	312,150	0,996
9	7	Santa Eulalia	0,00	3,60	3,604	0,000
10	8	San Antonio	0,70	0,91	1,148	0,610
11	33	Murterar 66 kV	1,65	1,60	2,295	0,719
12	21	Murterar 220 kV	50,70	1,60	50,725	1,000
13	1	Mahón	1,10	0,35	1,154	0,953
14	1	Mahón	95,10	0,35	95,101	1,000
15	1	Mahón	0,80	0,35	0,873	0,916
16	27	Llucmajor	3,30	7,44	8,135	0,406
17	35	Inca	1,65	6,21	6,424	0,257
18	9	Ibiza	161,50	11,60	161,916	0,997
19	4	Formentera	0,20	1,07	1,092	0,183
20	3	Ciudadela	0,00	1,25	1,250	0,000
21	29	Cas tesorer 66 kV	0,82	1,96	2,130	0,387
22	18	Cas Tesorer 220 kV	336,25	1,96	336,256	1,000
23	31	Can Picafort	2,48	3,04	3,925	0,632
24	23	Cala Millor	1,65	2,11	2,679	0,616
25	22	Artá 66 kV	2,48	2,04	3,208	0,773

19 de julio 19:40

Perdidas de potencia activa: 0,000288 MW

Potencia reactiva generada: 113,76 Mvar



9.7.1.2. 14:00

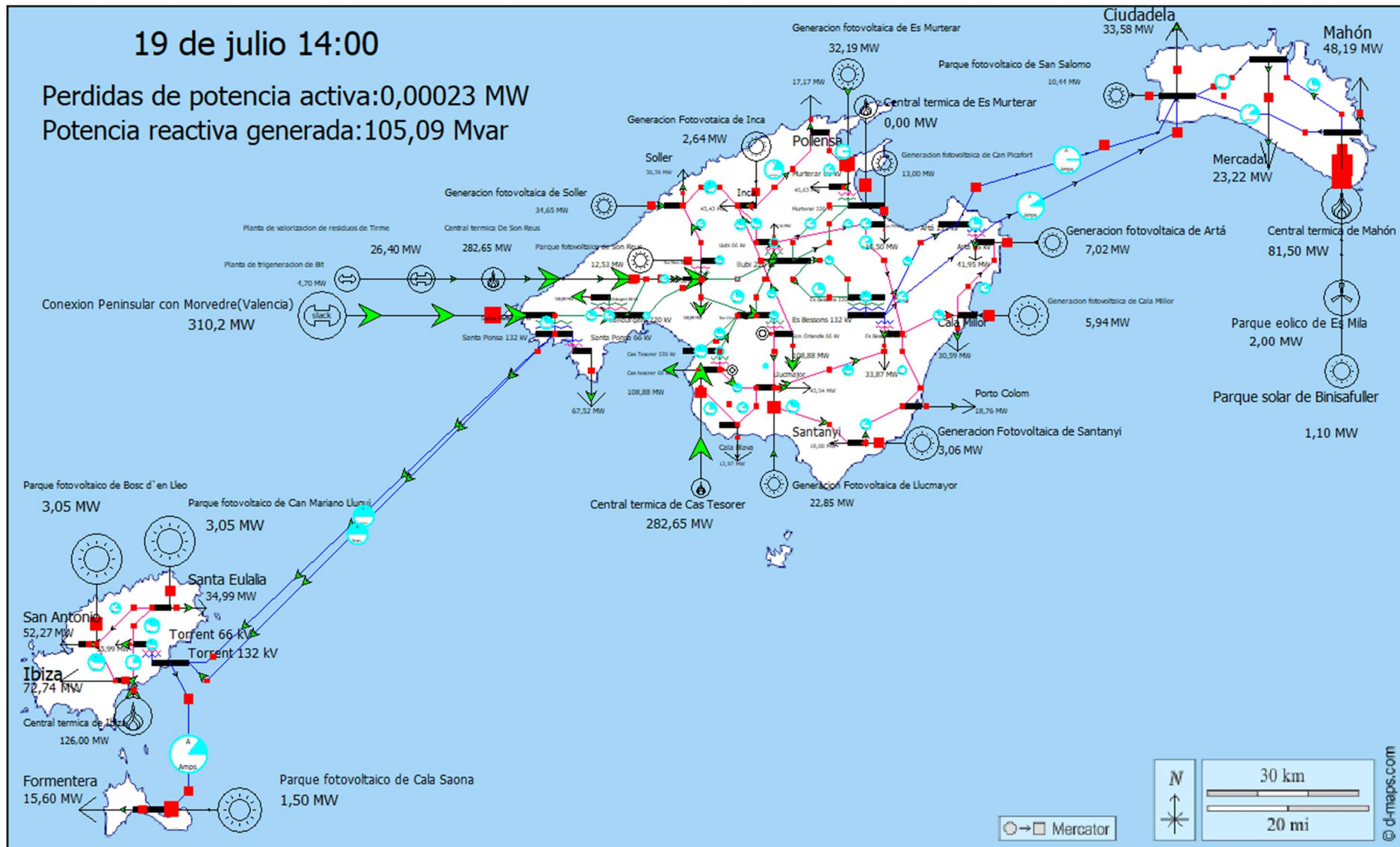
En esta tabla se muestran la distribución de potencia y factor de potencia para los distintos generadores del sistema.

	Number of Bus	Name of Bus ▼	Gen MW	Gen Mvar	MVA	Power Factor
1	37	Son Reus 66 kV	12,53	8,70	15,253	0,821
2	16	Son Reus 220 kV	4,70	2,90	5,522	0,851
3	16	Son Reus 220 kV	282,65	2,90	282,665	1,000
4	16	Son Reus 220 kV	26,40	2,90	26,559	0,994
5	30	Son Orlandis 66 kV	3,34	7,63	8,332	0,401
6	36	Soller	34,65	3,07	34,785	0,996
7	26	Santanyi	3,06	1,67	3,484	0,878
8	40	Santa Ponsa 220 kV	310,18	31,25	311,751	0,995
9	7	Santa Eulalia	3,05	4,77	5,661	0,539
10	8	San Antonio	3,05	0,70	3,129	0,975
11	33	Murterar 66 kV	32,19	1,25	32,214	0,999
12	21	Murterar 220 kV	0,00	1,25	1,248	0,000
13	1	Mahón	1,10	0,23	1,124	0,979
14	1	Mahón	81,50	0,23	81,500	1,000
15	1	Mahón	2,00	0,23	2,013	0,993
16	27	Llucmajor	22,85	5,09	23,411	0,976
17	35	Inca	2,64	5,59	6,181	0,427
18	9	Ibiza	126,00	15,54	126,955	0,992
19	4	Formentera	1,50	1,07	1,840	0,815
20	3	Ciudadela	10,44	0,71	10,464	0,998
21	29	Cas tesorer 66 kV	3,14	1,22	3,367	0,933
22	18	Cas Tesorer 220 kV	282,65	1,22	282,653	1,000
23	31	Can Picafort	13,00	2,18	13,181	0,986
24	23	Cala Millor	5,94	1,45	6,114	0,972
25	22	Artá 66 kV	7,02	1,38	7,154	0,981

19 de julio 14:00

Perdidas de potencia activa:0,00023 MW

Potencia reactiva generada: 105,09 Mvar



9.7.2. 3 de diciembre

9.7.2.1. 20:35

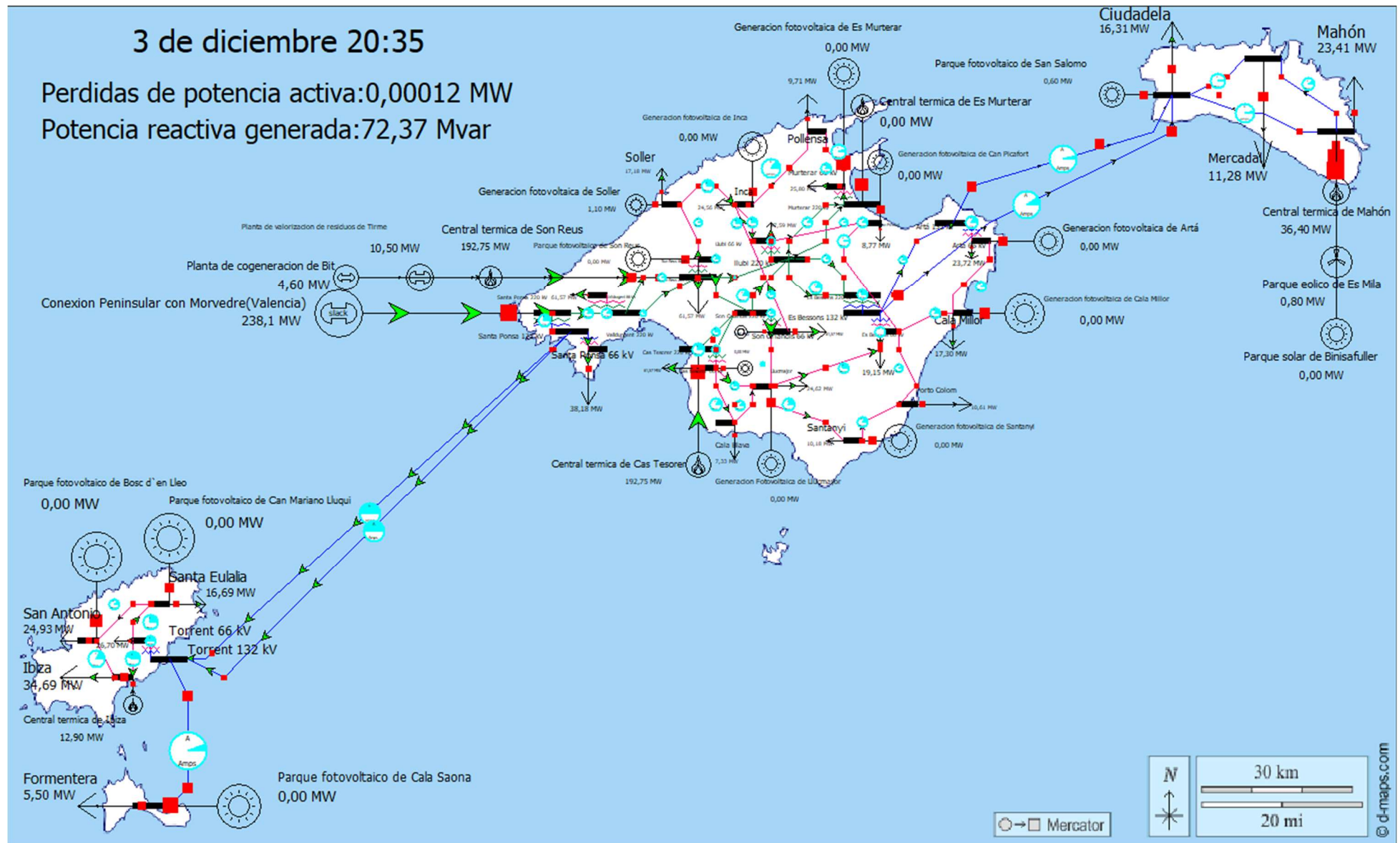
En esta tabla se muestran la distribución de potencia y factor de potencia para los distintos generadores del sistema.

	Number of Bus	Name of Bus ▲	Gen MW	Gen Mvar	MVA	Power Factor
1	22	Artá 66 kV	0,00	0,81	0,809	0,000
2	23	Cala Millor	0,00	0,80	0,802	0,000
3	31	Can Picafort	0,00	1,23	1,227	0,000
4	18	Cas Tesorer 220 kV	192,75	0,70	192,751	1,000
5	29	Cas tesorer 66 kV	0,00	0,70	0,695	0,000
6	3	Ciudadela	0,60	0,40	0,720	0,834
7	4	Formentera	0,00	0,70	0,702	0,000
8	9	Ibiza	12,90	14,05	19,075	0,676
9	35	Inca	0,00	2,84	2,840	0,000
10	27	Llucmajor	0,00	2,86	2,863	0,000
11	1	Mahón	36,40	0,03	36,400	1,000
12	1	Mahón	0,00	0,03	0,035	0,000
13	1	Mahón	0,80	0,03	0,801	0,999
14	21	Murterar 220 kV	0,00	0,75	0,751	0,000
15	33	Murterar 66 kV	0,00	0,75	0,751	0,000
16	8	San Antonio	0,00	0,15	0,145	0,000
17	7	Santa Eulalia	0,00	4,17	4,168	0,000
18	40	Santa Ponsa 220 kV	238,09	24,97	239,396	0,995
19	26	Santanyi	0,00	0,84	0,840	0,000
20	36	Soller	1,10	1,75	2,069	0,532
21	30	Son Orlandis 66 kV	0,00	4,09	4,089	0,000
22	16	Son Reus 220 kV	4,60	1,62	4,876	0,943
23	16	Son Reus 220 kV	10,50	1,62	10,624	0,988
24	16	Son Reus 220 kV	192,75	1,62	192,757	1,000
25	37	Son Reus 66 kV	0,00	4,86	4,855	0,000

3 de diciembre 20:35

Perdidas de potencia activa:0,00012 MW

Potencia reactiva generada: 72,37 Mvar



9.7.2.2. 12:30

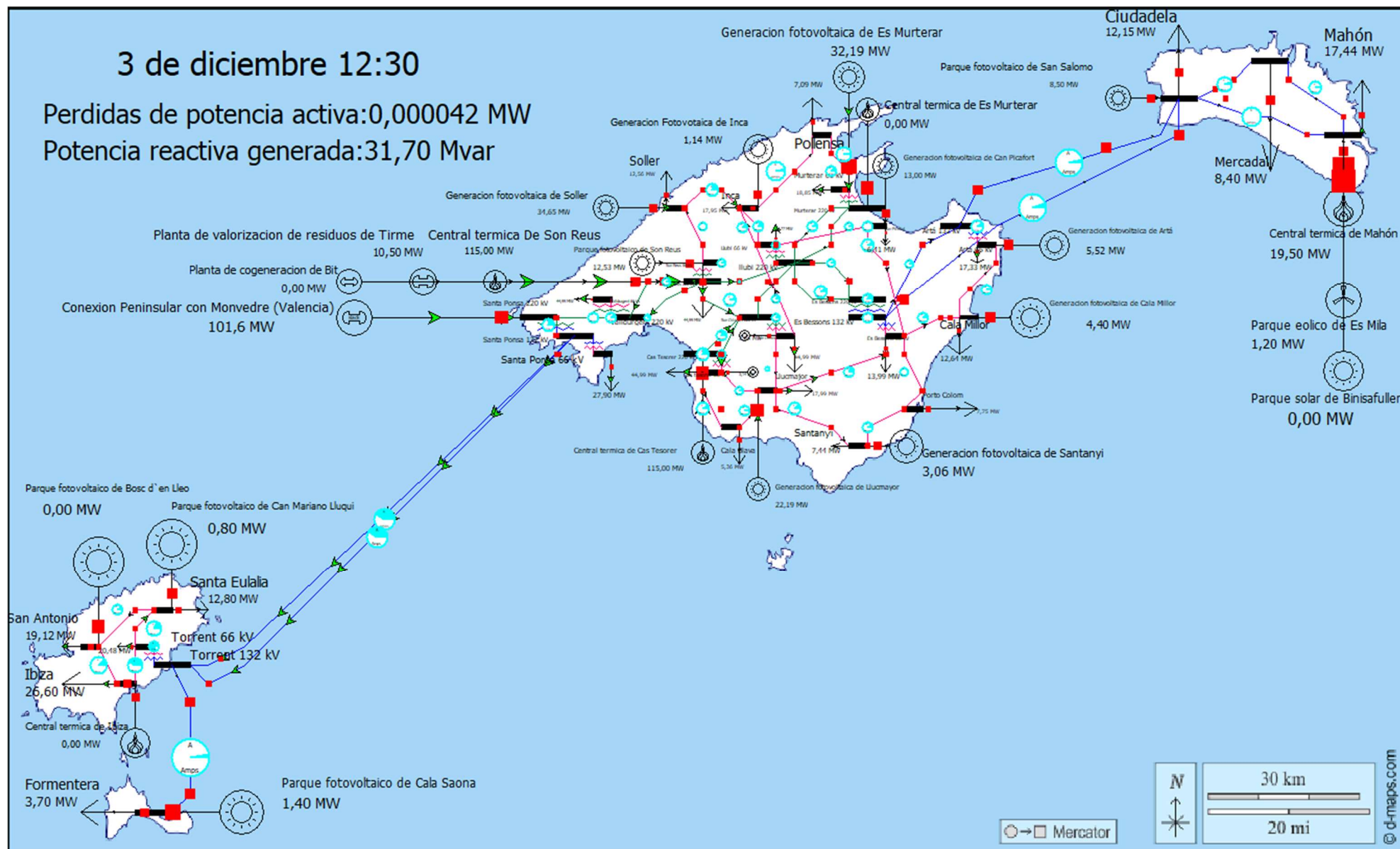
En esta tabla se muestran la distribución de potencia y factor de potencia para los distintos generadores del sistema.

	Number of Bus	Name of Bus ▲	Gen MW	Gen Mvar	MVA	Power Factor
1	22	Artá 66 kV	5,52	0,22	5,524	0,999
2	23	Cala Millor	4,40	0,20	4,404	0,999
3	31	Can Picafort	13,00	0,25	13,002	1,000
4	18	Cas Tesorer 220 kV	115,00	0,17	115,000	1,000
5	29	Cas tesorer 66 kV	3,14	0,17	3,145	0,998
6	3	Ciudadela	8,50	0,15	8,501	1,000
7	4	Formentera	1,40	0,46	1,474	0,950
8	9	Ibiza	0,00	9,85	9,845	0,000
9	35	Inca	1,14	0,60	1,289	0,884
10	27	Llucmajor	22,19	0,58	22,198	1,000
11	1	Mahón	19,50	0,01	19,500	1,000
12	1	Mahón	0,00	0,01	0,009	0,000
13	1	Mahón	1,20	0,01	1,200	1,000
14	21	Murterar 220 kV	0,00	0,12	0,121	0,000
15	33	Murterar 66 kV	32,19	0,12	32,190	1,000
16	8	San Antonio	0,00	0,08	0,081	0,000
17	7	Santa Eulalia	0,80	2,90	3,008	0,266
18	40	Santa Ponsa 220 kV	101,61	13,60	102,518	0,991
19	26	Santanyi	3,06	0,23	3,068	0,997
20	36	Soller	34,65	0,27	34,651	1,000
21	30	Son Orlandis 66 kV	3,34	0,55	3,385	0,987
22	16	Son Reus 220 kV	0,00	0,19	0,193	0,000
23	16	Son Reus 220 kV	10,50	0,19	10,502	1,000
24	16	Son Reus 220 kV	115,00	0,19	115,000	1,000
25	37	Son Reus 66 kV	12,53	0,58	12,543	0,999

3 de diciembre 12:30

Perdidas de potencia activa: 0,000042 MW

Potencia reactiva generada: 31,70 Mvar

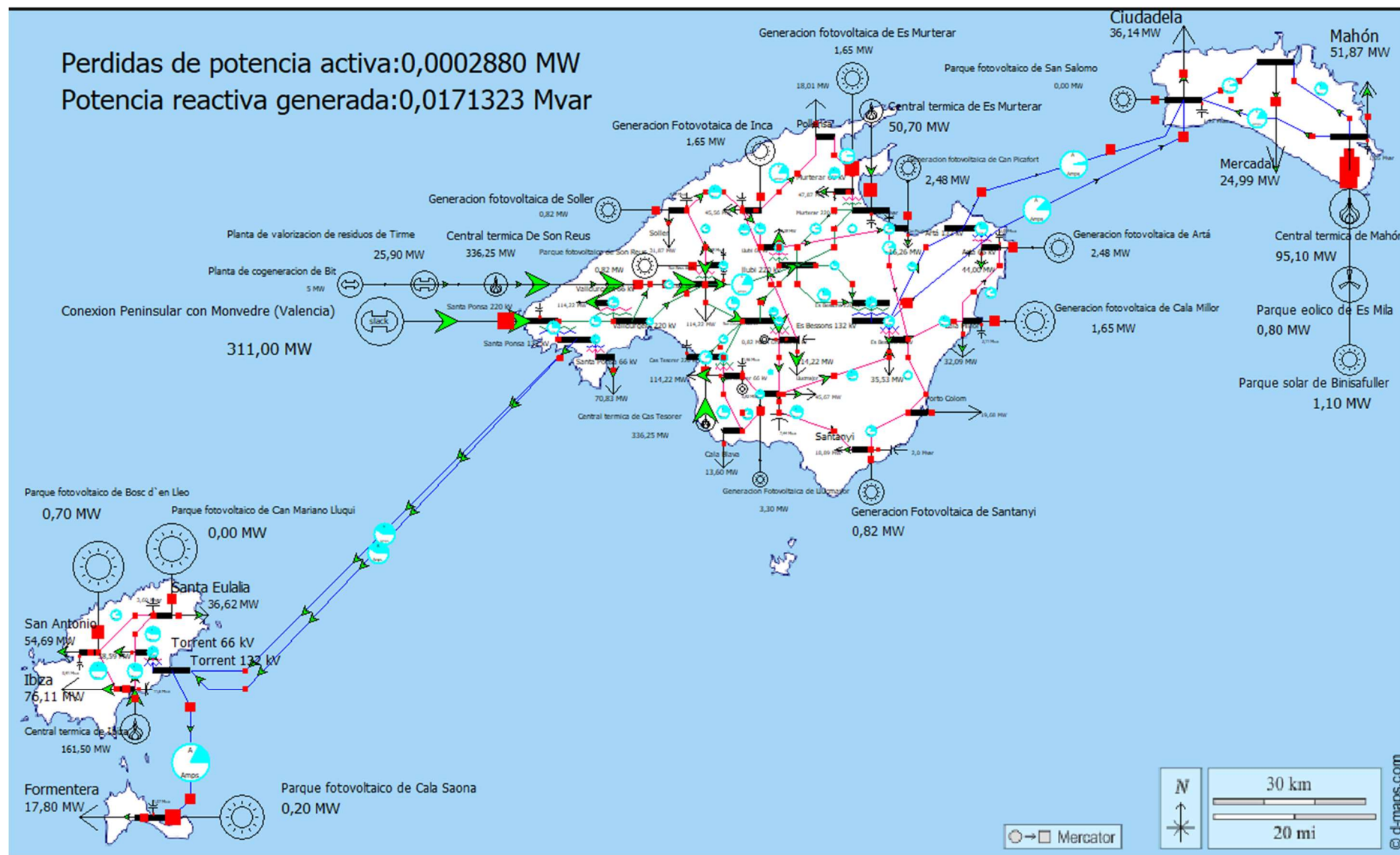


9.8. Anexo VIII: Resultados mejoras

9.8.1. Baterías de condensadores

En esta tabla se muestran la distribución de potencia y factor de potencia para los distintos generadores del sistema después de haberle implementado las baterías de condensadores.

	Number of Bus	Name of Bus ▼	Gen MW	Gen Mvar	MVA	Power Factor
1	37	Son Reus 66 kV	0,82	-0,00	0,824	1,000
2	16	Son Reus 220 kV	5,00	-0,00	5,000	1,000
3	16	Son Reus 220 kV	336,25	-0,00	336,250	1,000
4	16	Son Reus 220 kV	25,90	-0,00	25,900	1,000
5	30	Son Orlandis 66 kV	0,82	0,00	0,824	1,000
6	36	Soller	0,82	-0,00	0,824	1,000
7	26	Santanyi	0,82	-0,00	0,824	1,000
8	40	Santa Ponsa 220 kV	311,00	-0,00	311,000	1,000
9	7	Santa Eulalia	0,00	0,00	0,004	0,000
10	8	San Antonio	0,70	-0,00	0,700	1,000
11	33	Murterar 66 kV	1,65	-0,00	1,650	1,000
12	21	Murterar 220 kV	50,70	-0,00	50,700	1,000
13	1	Mahón	1,10	-0,00	1,100	1,000
14	1	Mahón	95,10	-0,00	95,100	1,000
15	1	Mahón	0,80	-0,00	0,800	1,000
16	27	Llucmajor	3,30	-0,00	3,300	1,000
17	35	Inca	1,65	0,00	1,650	1,000
18	9	Ibiza	161,50	0,00	161,500	1,000
19	4	Formentera	0,20	0,00	0,200	1,000
20	3	Ciudadela	0,00	0,00	0,002	0,000
21	29	Cas tesorer 66 kV	0,82	0,00	0,824	1,000
22	18	Cas Tesorer 220 kV	336,25	0,00	336,250	1,000
23	31	Can Picafort	2,48	0,01	2,480	1,000
24	23	Cala Millor	1,65	0,00	1,650	1,000
25	22	Artà 66 kV	2,48	0,00	2,480	1,000



9.8.2. Eliminación de generación no renovable

En esta tabla se muestran la distribución de potencia y factor de potencia para los distintos generadores del sistema después de haberle implementado las baterías de condensadores.

	Number of Bus	Name of Bus ▼	Gen MW	Gen Mvar	MVA	Power Factor
1	37	Son Reus 66 kV	12,53	0,96	12,57	1,00
2	16	Son Reus 220 kV	5,00	0,32	5,01	1,00
3	16	Son Reus 220 kV	336,25	0,32	336,25	1,00
4	16	Son Reus 220 kV	25,90	0,32	25,90	1,00
5	30	Son Orlandis 66 kV	0,82	1,83	2,01	0,41
6	36	Soller	26,17	0,42	26,18	1,00
7	26	Santanyi	0,82	1,08	1,36	0,61
8	40	Santa Ponsa 220 kV	311,00	-0,01	311,00	1,00
9	7	Santa Eulalia	0,00	0,00	0,00	0,00
10	8	San Antonio	0,70	-0,00	0,70	1,00
11	33	Murterar 66 kV	27,00	0,72	27,01	1,00
12	21	Murterar 220 kV	0,00	0,72	0,72	0,00
13	1	Mahón	1,10	0,39	1,17	0,94
14	1	Mahón	0,00	0,39	0,39	0,00
15	1	Mahón	0,80	0,39	0,89	0,90
16	27	Llucmajor	22,85	2,19	22,96	1,00
17	35	Inca	1,65	3,04	3,46	0,48
18	9	Ibiza	161,50	0,00	161,50	1,00
19	4	Formentera	0,20	0,00	0,20	1,00
20	3	Ciudadela	52,00	6,70	52,43	0,99
21	29	Cas tesorer 66 kV	0,82	-0,01	0,82	1,00
22	18	Cas Tesorer 220 kV	336,25	-0,01	336,25	1,00
23	31	Can Picafort	10,03	1,67	10,17	0,99
24	23	Cala Millor	5,94	1,40	6,10	0,97
25	22	Artá 66 kV	2,48	3,01	3,90	0,64

