Universidad Zaragoza
1542

# Trabajo Fin de Grado

## Evaluación de la red de transporte de Mallorca y nuevas instalaciones renovables

## Analysis of the transport electrical grid of Mallorca and new renewable generators


Autor

Javier Funes Salas

Director

Rodolfo Dufo López

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA


2016/2017

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

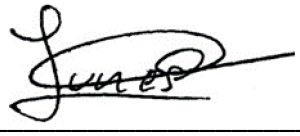
D./Dª. Javier Funes Salas,

con nº de DNI 72982827D en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado, (Título del Trabajo) Evaluación de la red de transporte de Mallorca y nuevas instalaciones renovables,

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, a día 23 de noviembre de 2017

Fdo: 

# Evaluación de la red de transporte de Mallorca y nuevas instalaciones renovables

# RESUMEN

En este Trabajo Fin de Grado (TFG) se ha realizado una simulación en el programa Powerworld con el fin de evaluar si la red eléctrica de transporte de la isla de Mallorca es capaz de admitir la implementación a gran escala de instalaciones de generación fotovoltaica, especificando bajo qué condiciones esto sería posible.

El propósito es realizar una valoración técnica de la viabilidad de transitar hacia una estructura de generación donde primen las energías renovables.

Se ha tomado como red de partida aquélla que estará operativa en el año 2020, según exponen los documentos de planificación energética del gobierno central.

En base a los datos de estos documentos y teniendo en cuenta la resolución por la que se creó la red de transporte balear, se han podido determinar los parámetros suficientes de las líneas eléctricas que componen el sistema de la isla de Mallorca para poder definir detalladamente estas instalaciones, además del resto de componentes de dicho sistema.

Se ha realizado una simulación con la generación y el consumo del día 3 de agosto de 2017 a las 14:00, momento de máximo consumo de este año. Posteriormente, se han realizado otras dos simulaciones del mismo momento, realizando modificaciones en la estructura de generación y en los consumos para recrear dos escenarios de diferente método de implementación de energía fotovoltaica.

Posteriormente, se han analizado los resultados obtenidos, describiendo y comparando la respuesta del sistema a cada escenario.

Finalmente, se han expuesto las conclusiones acerca de las posibilidades de la energía fotovoltaica en la actualidad y en el futuro inmediato del sistema eléctrico mallorquín.

# TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN ..... 6
1.1. Antecedentes del sistema eléctrico balear ..... 6
1.2. Objeto ..... 6
1.3. Alcance ..... 7
2. ENTORNO Y ESTADO DEL SISTEMA ELÉCTRICO BALEAR ..... 8
2.1. La electricidad en el mundo ..... 8
2.2. El desafío del siglo XXI ..... 8
2.3. El sistema eléctrico balear ..... 9
3. DEFINICIÓN DE LA RED DE PARTIDA ..... 10
3.1. Investigación y recopilación de datos ..... 10
3.2. Procesado de datos ..... 11
3.3. Cálculos eléctricos ..... 12
3.4. Simplificación de nudos ..... 14
3.5. Centrales de generación ..... 15
3.6. Distribución de consumos ..... 16
3.7. Interconexiones ..... 16
4. SIMULACIÓN DEL PICO DE CONSUMO ..... 17
4.1. Escenario 0 ..... 18
4.1.1. Generaciones ..... 18
4.1.2. Consumos ..... 18
4.1.3. Resultados ..... 19
4.2. Escenario 1 ..... 19
4.2.1. Generaciones añadidas ..... 19
4.2.2. Resultados ..... 20
4.3. Escenario 2 ..... 21
4.3.1. Generaciones añadidas ..... 21
4.3.2. Modificación de consumos ..... 21
4.3.3. Resultados ..... 21
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 22
5.1. Flujos de carga principales ..... 22
5.1.1. Escenario 0 ..... 22

5.1.2. Escenario 1 ..... 23
5.1.3. Escenario 2 ..... 24
5.2. Análisis global ..... 25
6. CONCLUSIONES ..... 26
6.1. Valoraciones ..... 26
6.2. Posibilidades de continuación ..... 28
6.3. Incidencias ..... 28
6.4. Experiencia personal ..... 29
7. AGRADECIMIENTOS ..... 29
REFERENCIAS ..... 30
ÍNDICE DE TABLAS ..... 34
ANEXO I: MAPAS ..... 35
ANEXO II: NUDOS ..... 37
ANEXO III: LÍNEAS ..... 39
ANEXO IV: CONFIGURACIONES DE LÍNEAS ..... 44
ANEXO V: CENTRALES ..... 47
ANEXO VI: CONSUMOS ..... 49
ANEXO VII: RESULTADOS ..... 52

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes del sistema eléctrico balear

En el año 2003, el Real Decreto 1747/2003 designó a Red Eléctrica de España (REE) como operador de los sistemas eléctricos insulares y extrapeninsulares. 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.

## 1.2. Objeto

La idea de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es la evaluación de la configuración actual de la red eléctrica de transporte de la isla de Mallorca y el análisis de la respuesta de dicha red a la implantación de nuevas fuentes de energía renovable.

Para ello, se ha representado la red de transporte en el programa de simulación Powerworld, realizando las modificaciones pertinentes asociadas a las posibles nuevas instalaciones de generación que se han propuesto.

Se ha analizado el flujo de cargas del sistema durante las horas de máxima demanda. Después se ha procedido a añadir las instalaciones propuestas y se han evaluado los cambios en los flujos de cargas, además de las implicaciones que estas variaciones puedan tener sobre el conjunto del sistema eléctrico de alta tensión de la isla.

Las mayores restricciones de este estudio están relacionadas con la dificultad que presenta la obtención de los datos necesarios para la correcta realización del trabajo. Esta dificultad ha supuesto un gran reto que ha sido superado mediante el estudio a fondo de diversos documentos oficiales. Otra restricción importante ha sido la propia de la versión académica del programa empleado, lo que ha forzado a realizar determinadas aproximaciones que han sido explicadas en el desarrollo del trabajo.

Antes de comenzar con la investigación, se ha realizado una búsqueda de posibles estudios del mismo ámbito, no encontrando nada que pudiera servir de base para este trabajo. Dicho esto, se ha podido determinar que este Trabajo Fin de Grado se trata de un estudio novedoso.

## 1.3. Alcance

El alcance de este trabajo consiste en la simulación en el programa Powerworld del pico de consumo eléctrico en Mallorca del 3 de agosto de 2017 a las 14:00, considerando la estructura de generación real y sugiriendo posibles escenarios de mayor generación renovable.

Se ha empezado con la búsqueda y recopilación de documentos que incluyan datos sobre las infraestructuras de alta tensión de la isla de Mallorca. Para ello, se ha indagado en la página web de Red Eléctrica de España (REE), en el Boletín Oficial del Estado (BOE) y en los documentos de planificación energética de la Secretaría de Estado de Energía, dependiente del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (MINETAD).

Posteriormente, realizando cálculos tras el procesado de los datos obtenidos y tomando algunas suposiciones que serán explicadas y justificadas más adelante, se ha definido la red de partida, formada por las subestaciones (nudos del sistema), los transformadores y las líneas. Esta red, junto a las centrales de generación, forma la infraestructura de alta tensión de la isla.

A continuación, se ha representado en el programa de simulación el sistema eléctrico mallorquín y se han asignado las generaciones y los consumos a los nudos correspondientes.

Después, se han realizado las simulaciones pertinentes, primero tomando los valores estimados de producción de las centrales y, posteriormente, aplicando las modificaciones propuestas.

Estas modificaciones consisten en la instalación de parques fotovoltaicos tanto de pequeño como de gran tamaño a lo largo de la geografía de la isla, con los que conseguir elevar la proporción de generación renovable del sistema balear, que en el año 2016 se situó en un exiguo 5,6 % de la generación total (1).

Por último, se han analizado las implicaciones sobre el sistema eléctrico mallorquín de las propuestas de generación renovable, sugiriendo actuaciones para que la implementación de estas tecnologías sea lo más favorable posible para el sistema.

El análisis se ha realizado en términos de flujo de cargas en condiciones de funcionamiento correcto de la red. El análisis en caso de faltas en líneas o nudos escapa al alcance de este trabajo.

# 2. ENTORNO Y ESTADO DEL SISTEMA ELÉCTRICO BALEAR

## 2.1. La electricidad en el mundo

En el último siglo, la electricidad se ha convertido, gracias a su versatilidad y fácil transporte, en uno de los principales vectores energéticos. La electricidad ya no sólo es indispensable para el funcionamiento de la industria, sino también para el comercio, las comunicaciones y el bienestar de las personas. Como se puede ver en la Tabla 1, esta importancia se refleja en que la generación de electricidad supone una gran parte del consumo de energía primaria en todo el mundo.

| Región | Consumo de energía primaria (TWh) | Generación de electricidad (TWh) | Electricidad/$E_{primaria}$ |
|---|---|---|---|
| **Mundo** | 154 403 | 24 816 | 16,1 % |
| **Unión Europea** | 19 096 | 3247 | 17,0 % |
| **España** | 1570 | 274 | 17,5 % |

*Tabla 1. Consumo de energía primaria y electricidad en 2016 (2)*

## 2.2. El desafío del siglo XXI

La generación de electricidad es responsable de grandes problemas medioambientales y del agotamiento de los combustibles fósiles. Según la Organización Meteorológica Mundial, el calentamiento global que está sufriendo nuestro planeta no tiene precedentes (3). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático señala a los gases de efecto invernadero (entre los que se encuentra el $CO_2$) como responsables de este calentamiento (4).

Las emisiones de $CO_2$ a la atmósfera han llevado al planeta a un calentamiento global sin precedentes. La quema de combustibles fósiles en las centrales térmicas supone la emisión de gases tóxicos como los $NO_x$ y partículas en suspensión responsables de enfermedades como el cáncer. Además, el consumo de combustibles fósiles expone la generación eléctrica a los vaivenes de las cotizaciones de estas materias primas en los mercados.

Ante esta problemática, a finales del siglo XX se concibió la generación renovable como la solución futura a estos problemas. Hoy, la implementación de energía renovable, aunque está lejos de cumplir los acuerdos internacionales contra el cambio climático, es imparable.

Sin embargo, la integración a gran escala de las fuentes de energía renovables supone un reto para el sistema eléctrico, diseñado para operar con grandes y robustas máquinas rotatorias concentradas en pocos puntos de la geografía del sistema.

Por otra parte, el abaratamiento de los componentes de los sistemas de generación renovable, el encarecimiento de los combustibles fósiles y la conciencia ciudadana y gubernamental contra el cambio climático y la contaminación han sido las claves para el ascenso de tecnologías renovables como la eólica, la solar térmica o la fotovoltaica.

## 2.3. El sistema eléctrico balear

Hasta hace poco tiempo, el sistema eléctrico balear se dividía en dos subsistemas (Mallorca-Menorca e Ibiza-Formentera) que funcionaban aislados del resto de la red española. Tras la instalación de la conexión submarina Mallorca-Ibiza en 2015 (5), estos dos subsistemas se han unido en uno solo. Además, gracias a la instalación de un enlace submarino entre Calviá (Mallorca) y Sagunto (Valencia), el sistema eléctrico balear ha quedado interconectado al sistema peninsular.

A pesar de las conexiones entre islas, al no ser malladas, se puede estudiar el flujo de cargas por separado, tomando los intercambios entre islas como consumos y generaciones. La isla de Mallorca concentra aproximadamente tres cuartas partes del consumo y la generación de electricidad del sistema balear.

# 3. DEFINICIÓN DE LA RED DE PARTIDA

## 3.1. 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 ha consistido en una ardua búsqueda en internet, utilizando para ello un buscador generalista (Google) e indagando en las páginas web de Red Eléctrica de España (REE) y el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (MINETAD). Cabe destacar también varios infructuosos intentos de comunicación con REE, que se saldaron con la respuesta de que los únicos datos que la empresa está dispuesta a compartir son aquéllos que se encuentran disponibles en su página web.

Se han encontrado los siguientes documentos:

- Mapas:
  - Mapa del sistema eléctrico balear, actualizado a 1 de enero de 2017 (6)
  - Mapa de planificación 2015-2020 de la red de transporte balear (7)
- Boletín Oficial de las Islas Baleares:
  - Resolución 2584 del 4 de febrero de 2005 (8)
- Documentos de planificación del MINETAD:
  - Revisión 2005-2011 de la Planificación de los sectores de electricidad y gas 2002-2011 (9)
  - Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016 (10)
    Modificación de noviembre de 2010 (11)
    Modificación de noviembre de 2011 (12)
    Modificación de diciembre de 2012 (13)
    Modificación de junio de 2014 (14)
  - Planificación energética 2015-2020 (15)

Gracias a los mapas, se ha podido enunciar las subestaciones y definir su localización geográfica. También se han encontrado los transformadores que se encuentran en ellas, obteniendo además las potencias nominales de éstos.

En la resolución 2584/2005 del BOE y en los documentos de planificación del MINETAD se han encontrado las líneas eléctricas que componen la red de transporte balear, obteniendo los datos de su potencia nominal y su longitud (diferenciando la longitud de los tramos aéreos y los tramos subterráneos).

## 3.2. Procesado de datos

Se han procesado sólo los datos relativos a la isla de Mallorca, que es el alcance de este trabajo.

La primera tarea ha sido numerar los nudos siguiendo una notación que en un futuro facilitara la comprensión de las tablas que recopilasen los datos de las líneas. La numeración se ha realizado sobre el mapa del sistema eléctrico (6). Esta notación ha consistido en asignar el número 1 al nudo Llubí. Seguidamente, se han asignado los números del 2 al 5 a los nudos conectados directamente con Llubí mediante líneas de 220 kV. El orden se ha determinado angularmente en sentido horario, comenzando a las 12 h en la analogía con un reloj, y dando prioridad a los nudos conectados a mayor tensión. Posteriormente se han asignado números a los nudos adyacentes a los ya definidos, añadiendo una cifra a la derecha del número anterior, siguiendo el mismo criterio de orden. Se ha repetido este proceso hasta nombrar todos los nudos de la isla de Mallorca. La asignación de los nudos en el mapa se pude observar en el ANEXO I. Además, debido a que el programa Powerworld exige diferenciar las partes a diferente tensión de una misma generación como nudos diferentes, en estos casos, al introducir los nudos al programa se ha añadido a la notación los números 01 para la tensión más alta y 02 y 03 para las siguientes tensiones.

Sin embargo, el mapa sobre el que se han asignado los nudos no representa exactamente la red de partida del trabajo, ya que en ella se han incluido las actuaciones relativas a la planificación 2015-2020 (15) que ya vienen propuestas y caracterizadas en el documento correspondiente. Por ello, las líneas se han definido empleando el mapa de planificación 2015-2020 (7). Aunque en el mapa se muestra cuántas líneas hacen un mismo recorrido (en los sistemas eléctricos es frecuente que haya líneas repetidas), esta información no es correcta en todos los casos, por lo que se debe prestar especial atención a la repetición de líneas en los documentos de planificación.

Se ha creado un listado de las líneas que unen los nudos del sistema, siguiendo el mapa anteriormente citado, incluyendo las repeticiones de líneas mostradas en él. Posteriormente, se han estudiado los documentos de planificación para extraer de ellos los datos correspondientes de las líneas y corregir los errores del mapa en cuanto a repetición de líneas. Teniendo en cuenta que la red de transporte balear ha sufrido muchos cambios desde su creación en 2005 y que se ha partido del mapa disponible más actualizado, se ha decidido estudiar los documentos de planificación en orden cronológico inverso, esto es, del más reciente al más antiguo, con el fin de facilitar el trabajo. Las líneas se han ordenado por nudo de origen, siendo siempre aquél cuya cifra izquierda es inferior.

## 3.3. Cálculos eléctricos

El siguiente paso es calcular las características eléctricas de las líneas, esto es, la resistencia, la reactancia inductiva y la susceptancia. Dado que el listado se compone de más de cien líneas, se ha hecho una simplificación consistente en suponer que aquellas líneas con la misma tensión y potencia nominal tienen también las mismas características eléctricas.

Esta simplificación ha tenido como resultado un total de ocho configuraciones para líneas aéreas y diez configuraciones para líneas subterráneas. Estas configuraciones se encuentran en el ANEXO IV.

Se han calculado las características eléctricas (por kilómetro de línea) mencionadas anteriormente para cada configuración.

Para ello, el primer paso es elegir el conductor adecuado en función de la intensidad soportada por cada hilo de la línea. La intensidad admisible en un conductor desnudo para línea aérea de aluminio con alma de acero está fijada por la instrucción técnica correspondiente (16) y depende de la sección y del número de alambres de cada material. Estos datos se han ordenado en la Tabla 2, de elaboración propia.

| Sección nominal (mm2) | Densidad de corriente (A/mm$^2$) | | | | | Intensidad de corriente (A) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6+1 | 26+7 | 30+7 | 45+7 | 54+7 | 6+1 | 26+7 | 30+7 | 45+7 | 54+7 |
| **15** | 5,62 | 5,62 | 5,50 | 5,82 | 5,70 | 84,33 | 84,33 | 82,44 | 87,30 | 85,50 |
| **25** | 4,69 | 4,69 | 4,58 | 4,85 | 4,75 | 117,13 | 117,13 | 114,50 | 121,25 | 118,75 |
| **35** | 4,26 | 4,26 | 4,17 | 4,41 | 4,32 | 149,22 | 149,22 | 145,87 | 154,47 | 151,29 |
| **50** | 3,75 | 3,75 | 3,66 | 3,88 | 3,80 | 187,40 | 187,40 | 183,20 | 194,00 | 190,00 |
| **70** | 3,33 | 3,33 | 3,25 | 3,44 | 3,37 | 232,84 | 232,84 | 227,63 | 241,05 | 236,08 |
| **95** | 3,00 | 3,00 | 2,93 | 3,10 | 3,04 | 284,85 | 284,85 | 278,46 | 294,88 | 288,80 |
| **125** | 2,72 | 2,72 | 2,66 | 2,81 | 2,76 | 339,66 | 339,66 | 332,05 | 351,63 | 344,38 |
| **160** | 2,53 | 2,53 | 2,47 | 2,62 | 2,57 | 404,78 | 404,78 | 395,71 | 419,04 | 410,40 |
| **200** | 2,34 | 2,34 | 2,29 | 2,43 | 2,38 | 468,50 | 468,50 | 458,00 | 485,00 | 475,00 |
| **250** | 2,16 | 2,16 | 2,11 | 2,23 | 2,19 | 538,78 | 538,78 | 526,70 | 557,75 | 546,25 |
| **300** | 2,01 | 2,01 | 1,97 | 2,09 | 2,04 | 604,37 | 604,37 | 590,82 | 625,65 | 612,75 |
| **400** | 1,83 | 1,83 | 1,79 | 1,89 | 1,85 | 730,86 | 730,86 | 714,48 | 756,60 | 741,00 |
| **500** | 1,69 | 1,69 | 1,65 | 1,75 | 1,71 | 843,30 | 843,30 | 824,40 | 873,00 | 855,00 |
| **600** | 1,55 | 1,55 | 1,51 | 1,60 | 1,57 | 927,63 | 927,63 | 906,84 | 960,30 | 940,50 |

*Tabla 2. Intensidades admisibles para cables desnudos en líneas aéreas*

Los conductores normalizados (17) empleados en las líneas aéreas de la red de transporte de Mallorca son los recogidos en la Tabla 3, de elaboración propia.

| Conductor | LA 110 | LA 145 | LA 180 | LA 280 Hawk | LA 380 Gull | LA 455 Condor | LA 545 Cardinal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sección total ($mm^2$)** | 116,2 | 147,1 | 181,6 | 281,1 | 381 | 454,5 | 547,3 |
| **N.º de alambres aluminio / acero** | 30 / 7 | 30 / 7 | 30 / 7 | 30 / 7 | 26 / 7 | 54 / 7 | 54 / 7 |
| **Resistencia eléctrica $R_k$ (Ω/km)** | 0,3066 | 0,2422 | 0,1962 | 0,1194 | 0,0857 | 0,0718 | 0,0596 |
| **Radio medio geométrico (m)** | 0,00629 | 0,00708 | 0,00786 | 0,00910 | 0,01169 | 0,01276 | 0,01401 |
| **Reactancia inductiva a 1 m de separación $X'_{Lk}$ (Ω/km)** | 0,3184 | 0,3111 | 0,3044 | 0,2952 | 0,2795 | 0,2740 | 0,2681 |
| **Reactancia capacitiva a 1 m de separación $X'_{Ck}$ (Ω/km)** | 284,0339 | 277,2915 | 271,2603 | 258,6834 | 249,9794 | 244,9309 | 239,6104 |

*Tabla 3. Conductores normalizados para líneas aéreas de alta tensión*

Para realizar los cálculos de reactancia inductiva y susceptancia, es necesario conocer la disposición de los conductores en las líneas, por lo que se ha tenido que definir los apoyos que sustentan estas líneas. Se ha establecido un tipo de apoyo para cada configuración de línea aérea siguiendo el catálogo de IMEDEXA (18). Los apoyos no se han elegido mediante cálculos mecánicos, sino buscando imágenes de las líneas y siguiendo las recomendaciones del fabricante. En las líneas dúplex es necesario también establecer la distancia entre los dos conductores de la misma fase; para ello, se ha utilizado el catálogo de herrajes de MADE (19).

En cuanto a los conductores aislados, para las líneas subterráneas de 220 y 132 kV se ha empleado el catálogo de Nexans (20), mientras que para las líneas de 66 kV se ha utilizado el catálogo de Prysmian (21).

En el caso de las líneas aéreas, el proceso de cálculo se ha llevado a cabo siguiendo las indicaciones del libro *Problemas resueltos de Sistemas de Energía Eléctrica* (22). En el caso de los cables subterráneos, siguiendo las indicaciones de los propios catálogos.

Las propiedades eléctricas calculadas para cada configuración se encuentran en el ANEXO IV.

A los transformadores se les ha asignado los valores típicos de reactancia inductiva indicados en el libro *Análisis de Sistemas de Potencia* (23). Los parámetros de resistencia y susceptancia se han determinado nulos.

El programa Powerworld exige introducir los parámetros eléctricos en el sistema por unidad. Para la conversión de los valores se ha utilizado una Potencia base de 100 MVA, y se ha realizado siguiendo las indicaciones del libro *Problemas resueltos de Sistemas de Energía Eléctrica* (22).

## 3.4. Simplificación de nudos

El programa de cálculo admite un máximo de 50 nudos en su versión educacional. La red de partida que se ha creado originalmente tiene 55 nudos, teniendo algunos de ellos varias tensiones (en el programa un nudo con n tensiones equivale a n nudos). Con este condicionante, ha sido obligatoria la supresión de algunos nudos.

En primer lugar, se ha suprimido la antigua interconexión entre Mallorca y Menorca a través del enlace submarino Cala Mesquida – Cala'n Bosch, cuyo cierre, aunque sin fecha, está previsto, además de tener una potencia poco relevante respecto a la nueva conexión Artá – Ciudadela. Esta simplificación ha supuesto la supresión de los dos nudos del enlace, incluyendo el situado en Mallorca (Cala Mesquida). También se ha suprimido el nudo EC Santa Ponsa, que se ha fusionado con Santa Ponsa.

En segundo lugar, se han suprimido los nudos situados fuera de Mallorca que estaban interconectados con el sistema eléctrico de la isla. Estos nudos son los siguientes:

- Ciudadela (Menorca)
- Morvedre (Península)
- Torrent (Ibiza)

En tercer lugar, se han suprimido los nudos aislados, esto es, que están conectados a un único nudo. Son los siguientes:

- Soller
- Capdepera
- Llátzer
- Aeropuerto
- Desaladora
- Tirme

Por último, se han suprimido algunos nudos con sólo dos conexiones. Se trata de los siguientes nudos:

- Sa Vinyeta
- San Agustín
- Ses Veles
- Bit

De esta manera, el sistema se ha quedado con 50 nudos. Los consumos de los nudos suprimidos se han repartido entre los nudos adyacentes. El nudo Tirme corresponde a la incineradora de residuos sólidos urbanos del mismo nombre, por lo que se ha considerado que sólo tiene generación. Esta generación ha sido asignada al nudo contiguo (Son Reus).

Las interconexiones se han agregado como consumos o generaciones, según la dirección del intercambio en el momento estudiado, en el nudo del enlace situado en la isla de Mallorca.

## 3.5. Centrales de generación

Se ha creado un listado de las centrales de generación existentes en la isla y sus características. El listado detallado puede encontrarse en el ANEXO V. A continuación, se muestra una breve descripción de estas instalaciones:

- Central térmica de Murterar (24): compuesta por cuatro ciclos de vapor de carbón (2 x 113,6 + 2 x 120,6 MW) y dos turbinas de gas de gasoil (2 x 32,7 MW).
- Central térmica de Cas Tresorer (24): formada por dos ciclos combinados de gas natural (2 x 214,5 MW).
- Central térmica de Son Reus (24): compuesta por dos ciclos combinados de gas natural (217,55 + 211,4 MW) y cuatro turbinas de gas de gasoil (4 x 33,7 MW).
- Planta de valorización energética de Tirme (25): formada por una incineradora de residuos urbanos sólidos.
- Central de trigeneración del polígono industrial Bit (26): compuesta por un motor diésel funcionando con gasoil, una instalación fotovoltaica y una instalación solar térmica.
- Cinco plantas fotovoltaicas en Llucmajor (27) (28) (29) (30) (31), cuatro en Manacor (32) (33) (34) (35), tres en Artá (36) (37) (38) y una en Can Picafort (39). Sólo se han tenido en cuenta aquéllas de al menos 1 MW de potencia neta. El resto, hasta completar la generación fotovoltaica total, se ha supuesto que está uniformemente distribuida a lo largo de la isla y se ha restado al consumo total.

En cuanto a la potencia reactiva que los generadores síncronos (en este caso, todos a excepción de las fotovoltaicas) son capaces de absorber o inyectar, se han tomado los límites en relación a la potencia activa generada. El límite de absorción es igual a la potencia activa generada; mientras, el límite de inyección es igual a 0,7 veces esta potencia (40).

## 3.6. Distribución de consumos

Dado que ha sido imposible encontrar datos de los consumos en cada nudo de la red de transporte, se ha repartido el consumo total asignando a cada uno un factor cualitativo. Este factor se ha fijado en función de la localización geográfica y el entorno del nudo:

- Nudo urbano: aquél situado en una zona urbana donde se encuentran también otros nudos. Ejemplo: los nudos de la ciudad de Mallorca. Factor: 1.
- Nudo rural: aquél situado en una zona sin grandes poblaciones o instalaciones cercanas. Ejemplo: Llubí. Factor: 1.
- Nudo rural aislado: nudo rural que da servicio a una zona amplia, pues no tiene otros nudos cerca. Ejemplo: Cala Millor. Factor: 1,5.
- Nudo de ciudad: aquél que da servicio a una ciudad de tamaño mediano. Ejemplo: Manacor. Factor: 1,5.
- Nudo urbano + equipamiento: nudo urbano que da suministro a alguna instalación de gran tamaño. Ejemplo: Son Oms (suministra al hospital homónimo). Factor: 1,5.
- Nudo industrial: aquél que da servicio a un polígono industrial de tamaño considerable. Ejemplo: Marratxí. Factor: 2.

En el caso de los nudos suprimidos, se ha establecido también su factor para luego repartirlo entre los nudos adyacentes.

## 3.7. Interconexiones

Las interconexiones con otros sistemas de la red de transporte mallorquín son las siguientes:

- Enlace Santa Ponsa (Mallorca) – Morvedre (Sagunto, Península): conexión submarina de corriente continua a ± 250 kV con dos cables de potencia y uno de retorno. Potencia nominal de 400 MW.
- Enlace Santa Ponsa (Mallorca) – Torrent (Ibiza): conexión submarina de corriente alterna a 132 kV. Potencia nominal de 236 MW.
- Enlace Artá (Mallorca) – Ciudadela (Menorca): conexión submarina de corriente alterna a 132 kV. Potencia nominal de 118 MW.

La interconexión con la Península, al ser mediante corriente continua, sólo transporta energía activa. Las interconexiones entre islas, aunque son mediante corriente alterna, cuentan con reactancias a ambos lados del enlace, por lo que se ha aproximado que la aportación (o sustracción) a los sistemas que conectan es sólo de potencia activa.

# 4. SIMULACIÓN DEL PICO DE CONSUMO

Una vez introducida la infraestructura eléctrica en el programa Powerworld, se ha procedido a determinar las generaciones del día 3 de agosto de 2017 a las 14:00.

Se plantean tres escenarios:

- Escenario 0: corresponde a la situación actual del sistema eléctrico mallorquín.
- Escenario 1: corresponde a la construcción de grandes parques fotovoltaicos y la desconexión de los ciclos de vapor de carbón de la central de Murterar.
- Escenario 2: corresponde a la construcción de los grandes parques fotovoltaicos ya planificados, complementados con la instalación de fotovoltaica distribuida (pequeños parques y autoconsumo) hasta llegar al objetivo de generación renovable marcado. También se desconectarán los ciclos de vapor de carbón de la central de Murterar.

Los escenarios 1 y 2 responden de manera ambiciosa a la intención del Gobierno de las Islas Baleares de cerrar la mitad de la central de Murterar y apostar por el gas natural y la fotovoltaica como sustitutos (41). En cuanto a la generación renovable, el gobierno balear pretende que represente el 10 % del total en el año 2020 y el 100 % en el año 2050 (42).

En el año 2016, el cómputo de energía eléctrica generada en las Islas Baleares fue de 4 582 GWh (43). De esta cantidad, sólo 258 GWh son de origen renovable (eólica, solar fotovoltaica, térmica renovable, otras renovables y el 50 % de la incineración de residuos). Con estos datos, para llegar al 10 % de generación renovable habría que aumentar la producción renovable en 202 GWh anuales. Aproximando que el 75 % de la generación corresponde a la isla de Mallorca, esta cantidad queda en 150 GWh.

Según el programa iHOGA, una instalación fotovoltaica de potencia nominal (pico) de 10 kW con seguimiento de máxima potencia y seguidor solar en ambos ejes, situada en Mallorca, produce anualmente 25 MWh. Siguiendo esta relación, la potencia pico que falta por instalar es de 60 MW.

Sin embargo, ya que las actuaciones en la red de transporte se planifican a largo plazo (de hecho, la red nacional está planificada hasta 2020), se propondrá un escenario de generación renovable mucho más ambicioso.

En los escenarios 1 y 2, se va a proponer que el 50 % de la energía eléctrica generada anualmente sea renovable, lo que equivale a 2291 GWh anuales, lo que supone un aumento de 2033 GWh en el conjunto del sistema balear y 1525 GWh en Mallorca. Esto supondría añadir al escenario 0 una potencia pico fotovoltaica de 610 MW.

La generación fotovoltaica introducida se restará a la generación de la central térmica de Murterar.

## 4.1. Escenario 0

### 4.1.1. Generaciones

El mix de generación del escenario 0 es el descrito en la siguiente Tabla 4, de elaboración propia con datos de REE (44).

| Gen. total | Carbón | CC | TG | FV | Enlace Península | Enlace Menorca | Enlace Ibiza | Residuos | Cogeneración |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1010** | 371,1 | 191,1 | 56,9 | 41,9 | 304,7 | -12,5 | 8 | 42,9 | 6 |

*Tabla 4. Mix de generación (en MW) del 3 de agosto de 2017 a las 14:00*

La generación de carbón corresponde a la central de Murterar. La generación de ciclo combinado se ha repartido al 50 % entre las centrales de Cas Tresorer y Son Reus. La generación de turbina de gas se ha asignado enteramente a Son Reus por encontrarse más cerca de la zona de mayor consumo que la central de Murterar.

En cuanto a la generación fotovoltaica, se han asignado 7,84 MW a Llucmajor; 7,46 MW a Manacor; 5,76 MW a Artá y 1,91 MW a Can Picafort; que corresponden a las potencias netas —calculadas a partir de las potencias pico con el programa iHOGA— de las centrales listadas. El resto de la producción fotovoltaica (18,93 MW) se ha interpretado como generación distribuida, por lo que se ha restado al consumo.

La generación mediante residuos corresponde a Tirme y la cogeneración a Bit.

### 4.1.2. Consumos

Los consumos de cada nudo se han determinado multiplicando el consumo total (igual a la generación total menos la fotovoltaica distribuida) por el valor relativo asignado a cada uno mediante el procedimiento cualitativo explicado anteriormente. Los datos se pueden encontrar en el ANEXO VI.

### 4.1.3. Resultados

La salida del programa se encuentra en el ANEXO VII.

Los gráficos sectoriales representan la carga de las líneas respecto de la potencia nominal. Se puede observar que la mayoría de las líneas están por debajo de la mitad de su límite.

La única preocupación reside en la línea que va de Coliseo a Son Molines, ya que se acerca al 75 % de su capacidad. La situación no es complicada y la línea está lejos de saturarse. Además, el resto de las líneas que alimentan Son Molines presentan cargas muy bajas, por lo que el operador del sistema podría desviar los flujos mediante el control activo de tensiones.

Esta situación es la esperada, ya que es normal que la red real no presente problemas, pues el operador del sistema se encarga del correcto funcionamiento de las redes de transporte.

## 4.2. Escenario 1

### 4.2.1. Generaciones añadidas

Actualmente existen cuatro proyectos de instalaciones fotovoltaicas de gran envergadura en la isla de Mallorca.

| Parque | Nudo | Potencia nominal (MW) |
|---|---|---|
| **Santa Cirga (45)** | Manacor | 49,5 |
| **S'Águila (46)** | Cala Brava | 42,75 |
| **Sa Caseta (47)** | Llucmajor | 20 |
| **Biniatria (48) (49)** | Sant Martí | 16 |

*Tabla 5. Parques fotovoltaicos proyectados en Mallorca*

Estos parques suman una potencia total de 128,25 MW. Para llegar al objetivo de 610 MW, se ha propuesto ampliar las instalaciones fotovoltaicas, pero manteniéndolas en los mismos nudos. De esta manera, se ha simulado un caso desfavorable de generación muy concentrada. A las potencias resultantes se les ha aplicado un factor corrector, obtenido con el programa iHOGA, que indica la potencia instantánea de las instalaciones en el momento simulado.

En la Tabla 6 se indican las nuevas generaciones y los nudos en los que se introducirán.

| Nudo | Potencia proyectada (MW) | Potencia corregida (MW) | Potencia incrementada (MW) | Potencia corregida (MW) |
|---|---|---|---|---|
| **Manacor** | 49,50 | 41,69 | 235,44 | 198,31 |
| **Cala Brava** | 42,75 | 36,01 | 203,33 | 171,27 |
| **Llucmajor** | 20,00 | 16,85 | 95,13 | 80,13 |
| **Sant Martí** | 16,00 | 13,48 | 76,10 | 64,10 |
| **Total** | 128,25 | 108,03 | 610,00 | 513,81 |

*Tabla 6. Generación añadida en el escenario 1*

### 4.2.2. Resultados

La salida del programa se encuentra en el ANEXO VII.

Se puede observar que la mayoría de las líneas funcionan a cargas bajas, por debajo del 50 % de su capacidad máxima. Sin embargo, la situación alrededor de Manacor es preocupante, pues las dos líneas que unen este nudo con Es Bessons se encuentran por encima del 60 % de su capacidad. Se ha comprobado que ante la desconexión de una de ellas (por fallo o mantenimiento, por ejemplo), la otra funcionaría sobrecargada por encima de su capacidad.

Para solucionar este problema, se proponen tres posibles soluciones.

La primera de ellas consiste en la construcción de una tercera línea de características similares a las dos existentes, esto es, siguiendo la configuración 3 del ANEXO IV.

La segunda opción sería la sustitución de las líneas por otras de mayor capacidad. Sin embargo, no existe en Mallorca ninguna línea de 66 kV construida con una capacidad mayor que la que otorga la configuración 3. Se entiende que esto puede deberse a algún motivo que se desconoce.

La tercera solución sería acelerar el cambio de tensión de las líneas de 66 kV del sistema mallorquín a 132 kV. Aunque no se menciona nada relativo a esta cuestión en el último documento de planificación energética (15), se puede observar en él cómo, en las actuaciones más recientes, se planifican líneas y subestaciones a 132 kV que inicialmente funcionarán a 66 kV. La viabilidad de esta solución depende de cuándo se alcancen los niveles de producción fotovoltaica simulados, pues sólo sería viable si la zona en cuestión estuviera ya preparada para el salto de tensión.

## 4.3. Escenario 2

### 4.3.1. Generaciones añadidas

En este escenario se ha partido de la estructura de generación del escenario 0, al que se han añadido las instalaciones fotovoltaicas proyectadas, anotadas en la Tabla 5.

### 4.3.2. Modificación de consumos

En cuanto a los consumos, se han reducido de manera proporcional en todos los nudos, simulando así el caso de generación distribuida a lo largo de toda la isla. La generación distribuida puede consistir tanto en pequeñas instalaciones fotovoltaicas como instalaciones de autoconsumo.

La cantidad total a reducir es de 481,75 MW, que corresponde a la diferencia entre potencia proyectada y potencia incrementada, según puede observarse en la Tabla 5. De esta manera, teniendo en cuenta que, aunque a efectos de la simulación se produzca una reducción del consumo, en realidad se trata de un aumento de la generación, de manera que se cumplen las cifras calculadas anteriormente para el objetivo de un 50 % de generación renovable.

Los valores de los consumos se pueden observar en el ANEXO VI.

### 4.3.3. Resultados

La salida del programa se encuentra en el ANEXO VII.

Se puede observar que la mayoría de las líneas están muy descargadas, mucho más incluso que en el escenario 0. Esto es normal ya que, en la práctica, hay que transportar la mitad de electricidad que en el escenario inicial.

Sí se observan cargas moderadas en algunas líneas cercanas a Santa Ponsa. Esto se debe a que la potencia del enlace con la Península se mantiene respecto al escenario inicial.

Tal y como se esperaba, no hay ninguna línea cercana al límite de su capacidad.

# 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se ha realizado una comparación de los resultados de los distintos escenarios.

## 5.1. Flujos de carga principales

### 5.1.1. Escenario 0

En este escenario se observan dos flujos importantes; el primero de ellos, más simple, y, el segundo, más complejo:

1) Flujo saliente de la central de Murterar. Algo menos de la cuarta parte se dirige hacia el norte para alimentar los consumos de la parte septentrional de la isla. El resto fluye hacia Llubí, más al sur. Allí, una parte se desvía hacia Son Orlandis, más al oeste, donde se junta con otros flujos; el resto se dirige hacia Es Bessons, desde donde alimenta la zona oriental de la isla y llega hasta el enlace con Menorca.

2) Flujo entrante desde la Península y centrales de Son Reus y Cas Tresorer. El flujo de la Península alimenta el suroeste de la isla antes de llegar a Valldurgent, donde se bifurca en dos direcciones. Una parte va a Son Moix, desde donde se alimenta la zona urbana de Palma de Mallorca. La otra va a Son Reus, donde se une con la generación de la central térmica homónima y la planta de valorización de residuos Tirme. Desde Son Reus se alimenta a algunos nudos limítrofes; además, una pequeña parte del flujo se dirige también a Son Moix; mientras, la mayor parte se dirige a Cas Tresorer, donde se junta con la generación de la central térmica homónima. El flujo saliente de Cas Tresorer alimenta el este de la periferia de Palma de Mallorca y todo el sur de la isla.

Sintetizando, la central de Murterar alimenta el norte y el este de la isla de Mallorca, llegando hasta la interconexión con Menorca. La interconexión con la Península alimenta el suroeste de la isla y la zona urbana de Palma de Mallorca. Por último, lo que queda de la interconexión con la Península —las centrales térmicas de Son Reus y Cas Tresorer, además de la planta de valorización de residuos de Tirme— alimentan el sector este de la periferia de Palma de Mallorca y el sur de la isla.

### 5.1.2. Escenario 1

En este escenario se pueden diferenciar cuatro flujos principales. Los tres primeros son más simples y, el cuarto, más complejo.

1) Flujo saliente de la instalación fotovoltaica de Sant Martí. Este flujo sería, en parte, el heredero del flujo 1 del escenario anterior. Algo más de la cuarta parte del flujo se dirige al norte para alimentar los consumos de la parte septentrional de la isla, como en el caso anterior. El resto fluye hacia Llubí, donde se bifurca hacia Son Orlandis, donde se une a otros flujos más importantes, y hacia Es Bessons, donde se diluye entre los flujos provenientes de la fotovoltaica de Manacor.

2) Flujo saliente de la instalación fotovoltaica de Manacor. Este flujo complementaría al anterior como heredero del flujo 1 del escenario anterior. Este flujo tiene dos vertientes. La vertiente norte alimenta el noreste de la isla y representa un tercio del flujo total. La vertiente sur, que representa los otros dos tercios, se dirige a Es Bessons, donde se vuelve a dividir en otras dos partes, esta vez similares. Una de las partes alimenta la parte del sureste de la isla y la otra se dirige a Llucmajor, donde se une a la generación fotovoltaica instalada en este nudo.

3) Flujo saliente de Llucmajor. Este flujo corresponde al generado por la instalación fotovoltaica instalada en este nudo, además del proveniente de Es Bessons, comentado en el apartado anterior. Este flujo tiene tres vertientes. La vertiente oeste se dirige a Arenal, donde se une al flujo que viene de la fotovoltaica de Cala Brava; este flujo combinado llega hasta San Juan de Dios (nudo contiguo), donde desaparece. La vertiente norte va hacia Son Orlandis, donde se diluye en otros flujos más significativos. La vertiente sur alimenta a Santanyí.

4) Flujo entrante desde la Península y de las centrales de Son Reus y Cas Tresorer. Este flujo es, con algunas diferencias, el heredero del flujo 2 del escenario anterior. El flujo proveniente de la Península se comporta, en la zona más cercana a la interconexión, de la misma manera que en el escenario anterior, alimentando el suroeste de la isla hasta llegar a Valldurgent, donde se divide en dos direcciones. Una parte va a Son Moix, desde donde se alimenta la zona urbana de Palma de Mallorca, salvo la parte más oriental; este flujo es muy similar al del escenario anterior, lo que se debe a que se ha mantenido la generación de la interconexión con la Península en valores muy similares (aunque existe una pequeña reducción, responsable de que no se llegue a cubrir toda la zona urbana). La otra parte se dirige a Son Reus, donde se une con la generación de la central térmica homónima (con una potencia inferior al escenario anterior) y con la de la planta de valorización de residuos de Tirme. Desde Son Reus, se alimenta a algunos nudos limítrofes; además, una pequeña parte del flujo se dirige también a Son Moix, complementando el descrito

anteriormente; mientras, la mayor parte se dirige a Cas Tresorer, pasando por Son Orlandis, donde se une a los flujos provenientes de Llubí y Llucmajor. Una parte del flujo se desvía en Son Orlandis hacia los puntos de consumo cercanos. En Cas Tresorer, el flujo entrante se une a la generación de la central homónima, que se encuentra produciendo a la potencia mínima de funcionamiento. Desde ahí, se alimenta a la zona urbana más oriental de Palma de Mallorca y al sector este de la periferia de la ciudad. En este escenario, a diferencia del anterior, no se alimenta al sur de la isla desde Cas Tresorer debido a que estos consumos son cubiertos por las fotovoltaicas de Cala Brava, Llucmajor y Manacor.

Sintetizando, la fotovoltaica de Sant Martí alimenta el norte de la isla y colabora en el suministro urbano de Palma de Mallorca. La fotovoltaica de Manacor cubre el consumo del este de la isla, llegando su área de influencia hasta la interconexión con Menorca. Las fotovoltaicas de Llucmajor y Cala Brava alimentan el sur de la isla. La interconexión con la Península alimenta el suroeste de la isla y la mayor parte del área urbana de Mallorca. Por último, la potencia restante de la Península y de las centrales térmicas de Cas Tresorer (testimonialmente) y Son Reus, además de la planta de valorización de residuos Tirme, alimentan a la zona oriental del área urbana de Palma Mallorca y al sector este de la periferia de la ciudad.

### 5.1.3. Escenario 2

En este escenario se observa un flujo principal y tres flujos secundarios.

1) Flujo entrante desde la Península y de las centrales de Son Reus y Cas Tresorer. Este flujo, heredero del flujo 1 del escenario 0, es el único de gran importancia en este escenario. El flujo entrante de la Península se divide a través de todas las ramificaciones de la red de 200 kV, llegando incluso hasta Sant Martí, en el otro extremo de la isla. Este flujo se nutre, además, de las generaciones instaladas en Son Reus (la central térmica homónima, que funciona a potencia mínima, y la planta de valorización de residuos Tirme) y la central térmica de Cas Tresorer (funcionando a potencia mínima con una influencia testimonial). Este flujo cubre todos los consumos de la isla salvo aquéllos alimentados por las instalaciones fotovoltaicas proyectadas.

2) Flujo saliente de la fotovoltaica de Manacor. Este flujo tiene dos vertientes. La vertiente norte va a Artá, donde se une con el flujo de la Península. La vertiente oeste va a Es Bessons, donde se une también con el flujo de la Península.

3) Flujo saliente de las fotovoltaicas de Cala Brava y Llucmajor. El flujo saliente de Cala Brava y el de Llucmajor se unen para alimentar el sur de la isla, con ayuda del flujo peninsular en el caso de Porto Colom.

4) Flujo saliente de la fotovoltaica de Sant Martí. Esta instalación alimenta, con ayuda del flujo peninsular, el noroeste de la isla.

Sintetizando, la conexión por la Península, con una pequeña ayuda de algunas centrales, alimenta todos los consumos de la isla salvo aquéllos más cercanos a las fotovoltaicas proyectadas.

## 5.2. Análisis global

Como se ha podido observar, al cambiar de escenario, los flujos varían en intensidad, pero no sufren grandes cambios en cuanto a dirección se refiere.

La generación de la interconexión con la Península se mantiene en todos los escenarios, por lo que el flujo correspondiente también es similar en todos los casos.

En los escenarios 1 y 2, la fotovoltaica de Sant Martí hace el papel de la central térmica de Murterar, manteniendo la direccionalidad del flujo; aunque, al perder intensidad, el recorrido es más corto.

La mayor diferencia entre el escenario 0 y los dos escenarios propuestos ocurre en la zona oriental de la isla. La instalación de nuevas generaciones en un área en la que antes no había ninguna genera flujos completamente diferentes a los anteriores.

# 6. CONCLUSIONES

## 6.1. Valoraciones

En este trabajo se ha pretendido evaluar si la red de transporte de la isla de Mallorca admite la implementación de energía renovable a gran escala en el sistema y bajo qué condiciones.

Se ha observado cómo el objetivo del gobierno balear de llegar al 10 % de generación renovable implica la instalación de una potencia insignificante en comparación con la potencia requerida por el sistema en su pico de consumo anual. La potencia fotovoltaica a instalar para cumplir el objetivo sería de 60 MW pico, cuando en el momento de mayor consumo anual el sistema demanda 1010 MW.

Como no merece la pena evaluar si una potencia tan pequeña puede ser admitida por el sistema, se han evaluado dos escenarios en los que la energía eléctrica renovable supone el 50 % de la generación anual.

El escenario desfavorable (escenario 1), consistente en la instalación de nuevas generaciones concentradas en sólo cuatro puntos de la geografía de la isla, ha dado resultados positivos. Según el análisis de flujos de carga, sólo haría falta instalar una línea de 66 kV para poder evacuar correctamente la potencia producida en el parque fotovoltaico de Manacor, el único que generaba problemas.

El escenario favorable (escenario 2), consistente en la instalación de los parques fotovoltaicos proyectados, a los que se han añadido instalaciones distribuidas y/o de autoconsumo hasta llegar al objetivo, también ha dado resultados positivos.

Teniendo en cuenta que la única generación que, en los escenarios propuestos, se mantiene en altos valores de generación es la interconexión con la Península, sería recomendable favorecer la instalación de los grandes parques fotovoltaicos en lugares de la isla alejados de Santa Ponsa, es decir, al norte o al este de la isla. El lugar idóneo podría ser en las zonas cercanas a la central de Murterar, que se pretende cerrar. De esta manera se aprovecharía de la mejor manera la actual infraestructura de transporte eléctrico de la isla, pues está diseñada para el abastecimiento mayoritario desde ese punto.

Otro buen emplazamiento sería la zona de Llubí, en el centro de la isla. Llubí es el nudo central de la red de transporte mallorquín, concebido para ser el punto neurálgico de una red preparada para la generación en grandes centrales y la interconexión con Menorca. Sin embargo, se podría aprovechar su emplazamiento geográfico para inyectar la generación fotovoltaica en el centro de la isla, de manera que pudiera transportarse fácilmente a cualquier punto de consumo de la isla. En un sistema de generación insular con combustibles fósiles, no tenía sentido generar electricidad lejos de la costa, pues los combustibles llegan a través del mar; sin embargo, la generación

fotovoltaica no tiene esa dependencia. Además, en el caso de una isla como Mallorca, cuyo motor económico es el turismo de costa, las zonas centrales se antojan como el emplazamiento más lógico para la instalación de parques fotovoltaicos que ocupen grandes extensiones de terreno.

Aun así, más deseable que la instalación de grandes parques fotovoltaicos en los lugares mencionados anteriormente sería la opción descrita en el escenario 2. Los efectos de la generación distribuida sobre el flujo de cargas reducirían las exigencias a la red de transporte, suponiendo un ahorro para el operador del sistema, que tendría que realizar menos ampliaciones y podría emplear ese remanente en la ampliación de las conexiones entre islas e interconexiones con la Península.

De hecho, las interconexiones con la Península adquieren gran relevancia cuando se trata de elevar al máximo la generación renovable. El modelo por el que se está apostando en Mallorca es la fotovoltaica, por lo que debe existir una generación alternativa que pueda satisfacer la demanda nocturna, especialmente la demanda al anochecer, que tiene valores significativos. Una opción es que las centrales de ciclo combinado y turbinas de gas estén paradas (o a potencia mínima) durante el día y activas por la noche. Sin embargo, en términos de costes económicos, sería más eficiente que algunas de ellas pudieran cerrarse definitivamente. Para ello, es fundamental que la interconexión con la Península pueda abastecer a la isla durante estos periodos.

En el último documento de planificación energética (7), se prevé para una fecha no definida, pero posterior a 2020, la construcción de una nueva interconexión submarina eléctrica entre la Península y Mallorca. Este enlace tendría una potencia de 1000 MW que, unido al enlace actual de 400 MW, podría satisfacer la demanda nocturna mallorquina sin necesidad de que las centrales térmicas de la isla estén en funcionamiento. Además, permitiría que la generación fotovoltaica pudiera superar la demanda en algunos momentos del día, pues se podría transmitir el excedente a la Península.

También sería interesante plantear sistemas de almacenamiento energético en la isla de Mallorca. Se podría instalar centrales de bombeo reversible en la sierra de Tramontana, aunque antes habría que evaluar el impacto paisajístico de estas instalaciones.

Sintetizando lo anterior, se concluye que, para lograr que la generación renovable alcance cotas muy elevadas (de más del 50 % de la generación anual), es necesario avanzar en la interconexión de sistemas y/o en el almacenamiento a gran escala.

## 6.2. Posibilidades de continuación

Este estudio se ha realizado bajo dos limitaciones principales: el limitado alcance como Trabajo Fin de Grado (400 horas) y el número máximo de nudos (50) de la versión educacional del programa. Por ello, es conveniente plantear algunas opciones de continuación del trabajo que se ha realizado.

Tomando este trabajo como punto de partida, podría ser interesante evaluar nuevos escenarios. Estos escenarios podrían crearse a partir de modificaciones relativas a las generaciones, los consumos, las interconexiones o las líneas.

Se podría eliminar la simplificación de la reducción de nudos realizando la simulación en la versión profesional del programa, lo que proporcionaría resultados más precisos. Aprovechando el ilimitado número de nudos que permite la versión completa, se podría simular el sistema balear en su conjunto, en vez de sólo la isla de Mallorca.

También se podría introducir en el programa los costes de las fuentes de generación y hacer simulaciones teniendo en cuenta el impacto económico de la producción eléctrica, valorando incluso la rentabilidad global para el sistema de la instalación de energía renovable. Con estos datos, se podría calcular también la rentabilidad de las interconexiones con la Península.

En último lugar, me gustaría que este trabajo, así como los archivos del programa de simulación, estuvieran disponibles para los estudiantes de la asignatura de Sistemas eléctricos de potencia, pues la posibilidad de hacer pruebas en una simulación realista tendría, sin duda, un gran valor didáctico.

## 6.3. Incidencias

En la realización de este trabajo he tenido que enfrentarme a dificultades inesperadas. La más importante ha sido la obtención de los parámetros de las líneas eléctricas, pues esperaba una buena disposición de Red Eléctrica de España para suministrarme documentos de donde los pudiera extraer fácilmente. Después de decenas de horas de búsqueda infructuosa encontré los documentos de planificación del Ministerio y pude, no sin dificultad, extraer los datos suficientes como para poder estimar los faltantes.

Otra dificultad ha sido la relativa a construir y manejar un modelo de 50 nudos y más de 100 líneas. Al trabajar con tantas líneas y tan poco espacio vacío en la pantalla, es muy fácil mover por accidente una línea y no darse cuenta.

También he tenido que crear documentos Excel muy grandes, con la dificultad de elaboración y manipulación que ello conlleva.

## 6.4. Experiencia personal

Durante la realización del trabajo he vivido momentos de gran impotencia. Pasar horas buscando información sin encontrar nada útil es como toparse con un muro de hormigón armado. También momentos de agobio al ver más de cien líneas enumeradas y no saber por dónde empezar a estimar sus parámetros.

Por otra parte, al ser una persona interesada en el sector eléctrico y en la economía, además de comprometida con el medio ambiente, he disfrutado leyendo artículos, informes y estudios relacionados con la generación renovable, sus implicaciones, su rentabilidad, etc.

Gracias a los cientos de horas invertidas en este trabajo, me llevo un amplio conocimiento sobre el sistema eléctrico balear (sobre todo el mallorquín) y sobre los sistemas insulares en general. Me habría gustado simular el sistema balear al completo, pero ha sido imposible dadas las limitaciones mencionadas anteriormente.

# 7. AGRADECIMIENTOS

Cuando a mediados del primer cuatrimestre del curso 2016/2017 elegí hacer este TFG, tenía la intención y la convicción de presentarlo en la convocatoria de junio de 2017. Sin embargo, un segundo cuatrimestre más duro de lo previsto en cuanto a la dificultad de las asignaturas que cursaba provocó que la convocatoria de junio fuese una opción inalcanzable.

Al final, tampoco lo presenté en septiembre, sino que lo haré en la convocatoria de diciembre y después de trabajar a contrarreloj las últimas semanas antes del depósito.

Por ello, agradezco:

- A mi tutor del TFG: la paciencia con un estudiante que iba a acabar el TFG antes de junio de 2017.
- A mi familia: la paciencia con un hijo/hermano que iba a acabar la carrera en septiembre de 2017.
- A mi novia: su apoyo, su ánimo y su paciencia por pasar unas semanas sin apenas verme.
- A mis compañeros de clase: su comprensión a la hora de hacer los trabajos en grupo.

# REFERENCIAS

1. **Red Eléctrica de España.** *Estructura de generación anual Islas Baleares.*

2. **BP plc.** *BP Statistical Review of World Energy June 2017.*

3. **Organización Meteorológica Mundial.** *Declaración sobre el estado del clima mundial en 2016.* pág. 3.

4. **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.** *Cambio Climático 2013.* pág. 34.

5. **Red Eléctrica de España.** Sala de prensa. Red Eléctrica de España. [En línea] 18 de diciembre de 2014. [Citado el: 2 de octubre de 2017.] http://www.ree.es/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2014/12/red-electrica-concluye-los-trabajos-costeros-ligados-al-tendido-cable-interconexion-Ibiza-Mallorca.

6. —. *Sistema eléctrico balear. Instalaciones en servicio a 1 de enero de 2017 y en construcción o programadas.*

7. —. *Planificación de la red de transporte de electricidad 2015-2020. Islas Baleares.*

8. **BOIB.** Resolución 2584/2005. *Resolució del director general d'Energia en la qual es fixen els criteris que determinen la xarxa de transport elèctric a la comunitat autònoma de les Illes Balears.*

9. **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.** *Planificación de los sectores de electricidad y gas 2002-2011. Revisión 2005-2011.*

10. —. *Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016. Desarrollo de las redes de transporte.*

11. **BOE.** *Resolución 17408/2010. Orden ITC/2906/2010, de 8 de noviembre, por la que se aprueba el programa anual de instalaciones y actuaciones de carácter excepcional de las redes de transporte de energía eléctrica y gas natural.*

12. —. *Resolución 18185/2011. Corrección de errores de la Orden ITC/2906/2010, de 8 de noviembre, por la que se aprueba el programa anual de instalaciones y actuaciones de carácter excepcional de las redes de transporte de energía eléctrica y gas natural.*

13. —. *Resolución 315/2012. Resolución de 27 de diciembre de 2012, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba el programa anual de instalaciones de las redes de transporte.*

14. —. *Resolución 6908/2014. Orden IET/1132/2014, de 24 de junio, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de junio de 2014, por el que se modifican aspectos puntuales del Plan de Desarrollo de la Red de Transporte de Electricidad incluido.*

15. **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.** *Planificación Energética. Plan de Desarrollo de la Red de Transporte de Energía Eléctrica 2015-2020.*

16. **Ministerio de Industria, Energía y Turismo.** *Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 07. Líneas aéreas con conductores desnudos.*

17. **Glover, J. Duncan, Sarma, Mulukutla S. y Overbye, Thomas J.** *Power System: analysis and design.* 4ª edición. s.l. : Cengage Learning.

18. **IMEDEXA.** *Catálogo General de Apoyos Metálicos.* 2009.

19. **MADE.** *Catálogo de herrajes.* 2012.

20. **Nexans.** *Enlaces subterráneos 60-500 kV.*

21. **Prysmian.** *Soluciones para Media Tensión: cables y accesorios.* 2016.

22. **Ramírez Rosado, Ignacio J., y otros.** *Problemas resueltos de Sistemas de Energía Eléctrica.* s.l. : Paraninfo.

23. **Grainger, John J. y Stevenson, William D.** *Análisis de Sistemas de Potencia.* s.l. : McGraw-HIll, 1995.

24. **BOE.** *Resolución 8646/2015. Real Decreto 738/2015, de 31 de julio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica y el procedimiento de despacho en los sitemas eléctricos de los territorios no peninsulares.*

25. **TIRME.** Planta de Valorización Energética. [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://www.tirme.com/es/incineracion_02f3s1.html.

26. **ParcBit.** Parc balear d'innovació tecnològica. [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://www.parcbit.es/wparcbitfront/EdificioSel.jsp?id=5.

27. **Técnicos Consultores.** Parque Fotovoltaico Guiamaret (Llucmajor). [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://tecnicosconsultores.com/proyectos/parque-fotovoltaico-guiamaret-llucmajor/.

28. —. Parque fotovoltaico Son Quartera (Llucmajor). [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://tecnicosconsultores.com/proyectos/parque-fotovoltaico-son-quartera-llucmajor/.

29. —. Parque fotovoltaico Alcoraia (Campos). [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://tecnicosconsultores.com/proyectos/parque-fotovoltaico-alcoraia-campos/.

30. **G·ENER.** Parque Solar, Son Toni Amer, Campos. [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://www.g-ener.com/ca/referencias/referencias/238.

31. —. Parque Solar, Son Valardell, Llucmajor. [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.]

32. —. Parque Solar, Ses Cabanasses, Petra. [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.]

33. —. Parque Solar, Sa Gruta, Manacor. [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://www.g-ener.com/es/referencias/referencias/241.

34. —. Parque Solar, Cantera Son Sureda. [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://www.g-ener.com/ca/referencias/referencias/242.

35. —. Parque Solar, Can Verd, Manacor. [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://www.g-ener.com/ca/referencias/referencias/243.

36. **Técnicos Consultores.** Parque fotovoltaico S'Estelrica (Artá). [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://tecnicosconsultores.com/proyectos/parque-fotovoltaico-sestelrica-arta/.

37. —. Parque fotovoltaico Bellpuig (Artá). [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://tecnicosconsultores.com/proyectos/parque-fotovoltaico-bellpuig-arta/.

38. —. Parque fotovoltaico Son Jordi (Son Severa). [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.]

39. —. Parque fotovoltaico Vernissa Nou (Santa Margalida). [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2017.] http://tecnicosconsultores.com/proyectos/parque-fotovoltaico-vernissa-nou-santa-margalida/.

40. **Orozco Alvarado, Juan José.** *Estimación de límites dinámicos de fuentes de potencia reactiva para control Volt/VAr.* Universidad de Costa Rica. 2013. pág. 62.

41. **Cortés, Alexander.** Mallorca se desenchufa de es Murterar. *Diario de Mallorca.* 17 de septiembre de 2017.

42. **Europa Press.** El Govern propone cerrar la mitad de Es Murterar y alcanzar el 10% de renovables en 2020. *Última Hora.* 6 de junio de 2017.

43. **Red Eléctrica de España.** *Balance eléctico anual Islas Baleares.* 2016.

44. —. Mallorca. Demanda de energía eléctrica en tiempo real, estructura de generación y emisiones de CO2. [En línea] [Citado el: 1 de octubre de 2017.] https://demanda.ree.es/visionaBal/VisionaMallorca.html#.

45. **Sansó, S.** Medio Ambiente da su visto bueno a los dos mayores parques solares de Mallorca. *Diario de Mallorca.* 6 de octubre de 2017.

46. **Cubic Estudi Tècnic, S.L.P.** *Proyecto básico para instalación fotovoltaico de 42,75 MW en Llucmajor (Modificación).* 2016.

47. **Visto bueno al parque fotovoltaico de Sa Caseta en Llucmajor. *Economía de Mallorca.* 21 de julio de 2017.**

**48. EFE. El parque fotovoltaico de Biniatria, en Alcúdia, sale a exposición pública. *Última Hora.* 22 de febrero de 2017.**

**49. Peral Gutiérrez, Fernando. *Proyecto de instalación de parque fotovoltaico de Biniatria - Fase 1 (16 MWn).***

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de energía primaria y electricidad en 2016 (2) ..... 8
Tabla 2. Intensidades admisibles para cables desnudos en líneas aéreas ..... 12
Tabla 3. Conductores normalizados para líneas aéreas de alta tensión ..... 13
Tabla 4. Mix de generación (en MW) del 3 de agosto de 2017 a las 14:00 ..... 18
Tabla 5. Parques fotovoltaicos proyectados en Mallorca ..... 19
Tabla 6. Generación añadida en el escenario 1 ..... 20

# ANEXO I:

# MAPAS

MALLORCA

Pollensa 111
211 Alcudia
SANT MARTÍ 21
2x125 MVA 220/66 kV
2 MURTERAR B
MURTERAR
534 MW
311
321
32 Cala Mesquida
12 Sa Pobla
13 Can Picafort
31
2x80 MVA 132/66 kV
ARTÁ
Capdepera
312
Soller 1131
Deya
11 Inca
Sa Vinyeta 112
113 Bunyola
5 SON REUS
43 Santa Maria
1 LLUBÍ
3x80 MVA 220/66 kV
4 SON ORLANDIS
41 CAS TRESORER
3 ES BESSONS
4x80 MVA 220/66 kV
2x63 MVA 220/132 kV
2x160 MVA 220/132 kV
34 Manacor
33 Cala Millor
VALLDURGENT 51
SON MOIX
Es Capdellá
2x160 MVA 220/132 kV
1x106 MVA 220/66 kV
1x80 MVA 220/66 kV
SANTA PONSA 511
EC SANTA PONSA 5111
Andratx 514
Calviá 5131
Palma Nova 5112
51111
51112
Isla Malgrat
Isla del Toro
Arenal 361
Llucmajor 36
Cala Blava 362
Porto Colom 35
Santanyi 351

| Líneas | Circuitos Previstos | Instalados | Tensiones |
|---|---|---|---|
| En servicio | 1 | 1 | 220 kV |
| | 2 | 1 | 132 kV |
| | 2 | 2 | 66 kV |
| En construcción y programadas | 1 | 1 | <66 kV |
| | 2 | 1 | |
| | 2 | 2 | |
| Prevista transformación o tensión superior | | | |
| Cable subterráneo/submarino | | | |
| En servicio | 1 | 1 | |
| | 2 | 2 | |
| En construcción y programados | 1 | 1 | |
| | 2 | 2 | |

Todas las líneas se han dibujado en el color al que funcionan.

En las construidas a tensión distinta ésta se indica entre paréntesis (F. 66 kV).

| | En servicio | En construcción o programado |
|---|---|---|
| Centrales: Hidráulica | | |
| Térmica clásica | | |
| Eólica | | |
| Ciclo combinado | | |
| Fotovoltáica | | |
| Transformadores 220/132/66 kV | | |
| Subestaciones | | |

5 0 5 10 15 20 25 km

Bunyola 113
53 Ses Veles
4x80 MVA 220/66 kV
5 SON REUS
135 MW
429 MW
Tirme 54
Bit 57
LLUBÍ 1
3x80 MVA 220/66 kV
1x106 MVA 220/66 kV
SON ORLANDIS
Santa María 43
LLUBÍ 1
Marratxí 42
4
521 Polígono
3x125 MVA 220/66 kV
52 SON MOIX
Son Pardo 422
1x160 MVA 220/132/66 kV
2x160 MVA 220/66 kV
429 MW
514 SANTA PONSA-Andratx
RAFAL 421
Coliseo 56
411 Llatzer (F. 132 kV)
CAS TRESORER 41
Llucmajor 36
51 VALLDURGENT
4x80 MVA 220/66 kV
Falca 561
Santa Catalina 512
Nuredduna 55
Desaladora 4131
511 SANTA PONSA
Son Molines 413
(F. 132 kV)
San Juan de Dios 412
Aeropuerto 4121
(F. 132 kV)
Son Oms 3611
5131 Calviá
San Agustín 513
Arenal 361

# ANEXO II:

# NUDOS

A continuación, se muestra el listado de nudos con su nomenclatura. Los nudos tachados son aquéllos que se han eliminado para realizar la simulación.

| | |
|---|---|
| **1** | **LLUBÍ** |
| **11** | INCA |
| **111** | POLLENSA |
| ~~**112**~~ | ~~SA VINYETA~~ |
| **113** | BUNYOLA |
| ~~**1131**~~ | ~~SOLLER~~ |
| **12** | SA POBLA |
| **13** | CAN PICAFORT |
| **2** | **MURTERAR** |
| **21** | SANT MARTÍ |
| **211** | ALCUDIA |
| **3** | **ES BESSONS** |
| **31** | ARTÁ |
| ~~**311**~~ | ~~CIUDADELA (MENORCA)~~ |
| ~~**312**~~ | ~~CAPDEPERA~~ |
| ~~**32**~~ | ~~CALA MESQUIDA~~ |
| ~~**321**~~ | ~~CALA'N BOSCH (MENORCA)~~ |
| **33** | CALA MILLOR |
| **34** | MANACOR |
| **35** | PORTO COLOM |
| **351** | SANTANYÍ |
| **36** | LLUCMAJOR |
| **361** | ARENAL |
| **3611** | SON OMS |
| **362** | CALA BRAVA |
| **4** | **SON ORLANDIS** |
| **41** | CAS TRESORER |
| ~~**411**~~ | ~~LLÁTZER~~ |
| **412** | SAN JUAN DE DIOS |
| ~~**4121**~~ | ~~AEROPUERTO~~ |
| **413** | SON MOLINES |
| ~~**4131**~~ | ~~DESALADORA~~ |
| **42** | MARRATXÍ |
| **421** | RAFAL |
| **422** | SON PARDO |
| **43** | SANTA MARÍA |
| **5** | **SON REUS** |
| **51** | VALLDURGENT |
| **511** | SANTA PONSA |
| ~~**5111**~~ | ~~EC SANTA PONSA~~ |
| ~~**51111**~~ | ~~MORVEDRE (PENÍNSULA)~~ |
| ~~**51112**~~ | ~~TORRENT (IBIZA)~~ |
| **5112** | PALMA NOVA |
| **512** | SANTA CATALINA |
| ~~**513**~~ | ~~SAN AGUSTÍN~~ |
| **5131** | CALVIÁ |
| **514** | ANDRATX |
| **52** | SON MOIX |
| **521** | POLÍGONO |
| ~~**53**~~ | ~~SES VELES~~ |
| ~~**54**~~ | ~~TIRME~~ |
| **55** | NUREDDUNA |
| **56** | COLISEO |
| **561** | FALCA |
| ~~**57**~~ | ~~BIT~~ |

# ANEXO III:

# LÍNEAS

A continuación, se muestran las líneas empleadas en la simulación:

| Origen | Destino | Tensión (kV) | Circuito | Longitud línea (km) | Longitud cable (km) | Potencia (MVA) | Intensidad por fase (A) | Config. | Resistencia (Ω) | Reactancia inductiva (Ω) | Susceptancia (S) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 LLUBÍ | 2 MURTERAR | 220 | 1 | 17 | | 678 | 1779 | L1 | 0,16887 | 0,85186 | 2,7679E-07 |
| 1 LLUBÍ | 2 MURTERAR | 220 | 2 | 17 | | 678 | 1779 | L1 | 0,16887 | 0,85186 | 2,7679E-07 |
| 1 LLUBÍ | 3 ES BESSONS | 220 | 1 | 15 | | 336 | 882 | L2 | 0,29800 | 1,94432 | 1,2873E-07 |
| 1 LLUBÍ | 3 ES BESSONS | 220 | 2 | 15,1 | | 336 | 882 | L2 | 0,29999 | 1,95729 | 1,2959E-07 |
| 1 LLUBÍ | 4 SON ORLANDIS | 220 | 1 | 28,8 | | 336 | 882 | L2 | 0,57216 | 3,73310 | 2,4716E-07 |
| 1 LLUBÍ | 5 SON REUS | 220 | 1 | 34 | | 336 | 882 | L2 | 0,67547 | 4,40714 | 2,9178E-07 |
| 1 LLUBÍ | 11 INCA | 66 | 1 | 11,5 | | 70 | 612 | L3 | 0,32852 | 1,29417 | 1,1391E-07 |
| 1 LLUBÍ | 12 SA POBLA | 66 | 1 | 10,5 | | 70 | 612 | L3 | 0,29995 | 1,18163 | 1,0400E-07 |
| 1 LLUBÍ | 12 SA POBLA | 66 | 2 | 12,6 | | 80 | 700 | L3 | 0,35994 | 1,41796 | 1,2480E-07 |
| 1 LLUBÍ | 13 CAN PICAFORT | 66 | 1 | 14,6 | | 80 | 700 | L3 | 0,41707 | 1,64303 | 1,4461E-07 |
| 11 INCA | 43 SANTA MARÍA | 66 | 1 | 15,1 | | 40 | 350 | L4 | 1,21907 | 2,06123 | 2,8336E-09 |
| 11 INCA | 113 BUNYOLA | 66 | 1 | 21 | | 48 | 420 | L5 | 1,37340 | 2,82065 | 2,2689E-07 |
| 11 INCA | 12 SA POBLA | 66 | 1 | 18,9 | | 69 | 604 | L3 | 0,53991 | 2,12694 | 1,8720E-07 |
| 111 POLLENSA | 12 SA POBLA | 66 | 1 | 14,51 | | 80 | 700 | L3 | 0,41450 | 1,63290 | 1,4372E-07 |
| 111 POLLENSA | 211 ALCUDIA | 66 | 1 | 8,1 | 2,9 | 48 | 420 | L5+C1 | 0,62641 | 1,36496 | 5,9866E-04 |
| 113 BUNYOLA | 5 SON REUS | 66 | 1 | 4,4 | 0,7 | 69 | 604 | L3+C5 | 0,13426 | 0,55446 | 2,3225E-04 |
| 113 BUNYOLA | 5 SON REUS | 66 | 2 | 4,4 | 0,7 | 69 | 604 | L3+C5 | 0,13426 | 0,55446 | 2,3225E-04 |
| 12 SA POBLA | 21 SANT MARTÍ | 66 | 1 | 9 | | 69 | 604 | L3 | 0,25710 | 1,01283 | 8,9143E-08 |
| 13 CAN PICAFORT | 3 ES BESSONS | 66 | 1 | 23,4 | | 80 | 700 | L3 | 0,66846 | 2,63335 | 2,3177E-07 |
| 2 MURTERAR | 21 SANT MARTÍ | 220 | 1 | | 1 | 560 | 1470 | C4 | 0,00240 | 0,02270 | 2,8274E-04 |
| 2 MURTERAR | 21 SANT MARTÍ | 220 | 2 | | 1 | 560 | 1470 | C4 | 0,00240 | 0,02270 | 2,8274E-04 |
| 21 SANT MARTÍ | 211 ALCUDIA | 66 | 1 | 3 | 5 | 69 | 604 | L3+C5 | 0,14687 | 0,76118 | 1,6541E-03 |
| 21 SANT MARTÍ | 211 ALCUDIA | 66 | 2 | | 8 | 80 | 700 | C5 | 0,09787 | 0,67771 | 2,6465E-03 |
| 3 ES BESSONS | 31 ARTÁ | 132 | 1 | 23,6 | 1,4 | 359 | 1570 | L8+C6 | 0,28661 | 1,54325 | 4,2265E-04 |
| 3 ES BESSONS | 31 ARTÁ | 132 | 2 | 23,6 | 1,4 | 359 | 1570 | L8+C6 | 0,28661 | 1,54325 | 4,2265E-04 |
| 3 ES BESSONS | 33 CALA MILLOR | 66 | 1 | 20,8 | | 69 | 604 | L3 | 0,59419 | 2,34076 | 2,0602E-07 |
| 3 ES BESSONS | 34 MANACOR | 66 | 1 | 3 | | 80 | 700 | L3 | 0,08570 | 0,33761 | 2,9714E-08 |

| Origen | Destino | Tensión (kV) | Circuito | Longitud línea (km) | Longitud cable (km) | Potencia (MVA) | Intensidad por fase (A) | Config. | Resistencia (Ω) | Reactancia inductiva (Ω) | Susceptancia (S) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 ES BESSONS | 34 MANACOR | 66 | 2 | 3,3 | | 80 | 700 | L3 | 0,09427 | 0,37137 | 3,2686E-08 |
| 3 ES BESSONS | 35 PORTO COLOM | 66 | 1 | 19,6 | 4,4 | 69 | 604 | L3+C7 | 0,62869 | 2,59122 | 1,2484E-03 |
| 3 ES BESSONS | 36 LLUCMAJOR | 66 | 1 | 25,1 | | 40 | 350 | L4 | 2,02641 | 3,42629 | 2,0518E-07 |
| 3 ES BESSONS | 36 LLUCMAJOR | 66 | 2 | 25,1 | | 40 | 350 | L4 | 2,02641 | 3,42629 | 2,0518E-07 |
| 31 ARTÁ | 33 CALA MILLOR | 66 | 1 | 12,2 | | 70 | 612 | L3 | 0,34851 | 1,37294 | 1,2084E-07 |
| 31 ARTÁ | 34 MANACOR | 66 | 1 | 18,6 | | 80 | 700 | L3 | 0,53134 | 2,09318 | 1,8423E-07 |
| 31 ARTÁ | 34 MANACOR | 66 | 2 | 18,6 | | 80 | 700 | L3 | 0,53134 | 2,09318 | 1,8423E-07 |
| 35 PORTO COLOM | 351 SANTANYÍ | 66 | 1 | 14,2 | | 80 | 700 | L3 | 0,40565 | 1,59802 | 1,4065E-07 |
| 351 SANTANYÍ | 36 LLUCMAJOR | 66 | 1 | 24,2 | | 40 | 350 | L4 | 1,95375 | 3,30344 | 1,9782E-07 |
| 351 SANTANYÍ | 36 LLUCMAJOR | 66 | 2 | 24,2 | | 40 | 350 | L4 | 1,95375 | 3,30344 | 1,9782E-07 |
| 36 LLUCMAJOR | 4 SON ORLANDIS | 66 | 1 | 18,2 | | 40 | 350 | L4 | 1,46935 | 2,48440 | 1,4877E-07 |
| 36 LLUCMAJOR | 4 SON ORLANDIS | 66 | 2 | 18,2 | | 40 | 350 | L4 | 1,46935 | 2,48440 | 1,4877E-07 |
| 36 LLUCMAJOR | 361 ARENAL | 66 | 1 | 11,7 | | 80 | 700 | L3 | 0,33423 | 1,31668 | 1,1589E-07 |
| 36 LLUCMAJOR | 362 CALA BRAVA | 66 | 1 | 14 | | 69 | 604 | L3 | 0,39993 | 1,57551 | 1,3867E-07 |
| 36 LLUCMAJOR | 362 CALA BRAVA | 66 | 2 | 14 | | 69 | 604 | L3 | 0,39993 | 1,57551 | 1,3867E-07 |
| 361 ARENAL | 3611 SON OMS | 66 | 1 | | 3,8 | 97 | 849 | C9 | 0,03585 | 0,09042 | 8,5954E-04 |
| 361 ARENAL | 362 CALA BRAVA | 66 | 1 | 17 | | 69 | 604 | L3 | 0,48563 | 1,91312 | 1,6838E-07 |
| 361 ARENAL | 412 SAN JUAN DE DIOS | 66 | 1 | | 7,5 | 97 | 849 | C9 | 0,07075 | 0,17846 | 1,6965E-03 |
| 3611 SON OMS | 412 SAN JUAN DE DIOS | 66 | 1 | | 3,7 | 97 | 849 | C9 | 0,03490 | 0,08804 | 8,3692E-04 |
| 4 SON ORLANDIS | 41 CAS TRESORER | 220 | 1 | 7,2 | 3,9 | 560 | 1470 | L9+C4 | 0,09552 | 0,42582 | 1,1028E-03 |
| 4 SON ORLANDIS | 41 CAS TRESORER | 220 | 2 | 5,4 | 3,9 | 560 | 1470 | L9+C4 | 0,07398 | 0,34150 | 1,1028E-03 |
| 4 SON ORLANDIS | 42 MARRATXÍ | 66 | 1 | 1,9 | | 80 | 700 | L3 | 0,05428 | 0,21382 | 1,8819E-08 |
| 4 SON ORLANDIS | 42 MARRATXÍ | 66 | 2 | 1,9 | | 80 | 700 | L3 | 0,05428 | 0,21382 | 1,8819E-08 |
| 4 SON ORLANDIS | 43 SANTA MARÍA | 66 | 1 | 9 | | 48 | 420 | L5 | 0,58860 | 1,20885 | 9,7239E-08 |
| 4 SON ORLANDIS | 5 SON REUS | 220 | 1 | 9,3 | | 336 | 882 | L2 | 0,18476 | 1,20548 | 7,9811E-08 |
| 41 CAS TRESORER | 412 SAN JUAN DE DIOS | 66 | 1 | | 3,5 | 97 | 849 | C9 | 0,03302 | 0,08328 | 7,9168E-04 |
| 41 CAS TRESORER | 412 SAN JUAN DE DIOS | 66 | 2 | | 3,5 | 97 | 849 | C9 | 0,03302 | 0,08328 | 7,9168E-04 |
| 41 CAS TRESORER | 412 SAN JUAN DE DIOS | 66 | 3 | | 3,5 | 97 | 849 | C9 | 0,03302 | 0,08328 | 7,9168E-04 |

| Origen | Destino | Tensión (kV) | Circuito | Longitud línea (km) | Longitud cable (km) | Potencia (MVA) | Intensidad por fase (A) | Config. | Resistencia (Ω) | Reactancia inductiva (Ω) | Susceptancia (S) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 CAS TRESORER | 413 SON MOLINES | 66 | 1 | | 1,45 | 97 | 849 | C9 | 0,01368 | 0,03450 | 3,2798E-04 |
| 41 CAS TRESORER | 413 SON MOLINES | 66 | 2 | | 1,45 | 97 | 849 | C9 | 0,01368 | 0,03450 | 3,2798E-04 |
| 412 SAN JUAN DE DIOS | 413 SON MOLINES | 66 | 1 | | 3,9 | 80 | 700 | C5 | 0,04771 | 0,33038 | 1,2902E-03 |
| 413 SON MOLINES | 56 COLISEO | 66 | 1 | | 3,1 | 40 | 350 | L4+C2 | 0,12917 | 0,30390 | 5,6096E-04 |
| 42 MARRATXÍ | 422 SON PARDO | 66 | 1 | 6 | | 35 | 306 | L4 | 0,48440 | 0,81903 | 4,9046E-08 |
| 42 MARRATXÍ | 422 SON PARDO | 66 | 2 | 6 | | 35 | 306 | L4 | 0,48440 | 0,81903 | 4,9046E-08 |
| 42 MARRATXÍ | 5 SON REUS | 66 | 1 | 7 | | 35 | 306 | L4 | 0,56513 | 0,95554 | 5,7220E-08 |
| 42 MARRATXÍ | 5 SON REUS | 66 | 2 | 7 | | 35 | 306 | L4 | 0,56513 | 0,95554 | 5,7220E-08 |
| 421 RAFAL | 51 VALLDURGENT | 66 | 1 | 11,3 | | 80 | 700 | L3 | 0,32280 | 1,27166 | 1,1192E-07 |
| 421 RAFAL | 51 VALLDURGENT | 66 | 2 | 11,3 | | 80 | 700 | L3 | 0,32280 | 1,27166 | 1,1192E-07 |
| 421 RAFAL | 512 SANTA CATALINA | 66 | 1 | | 3,2 | 80 | 700 | C5 | 0,03915 | 0,27108 | 1,0586E-03 |
| 421 RAFAL | 52 SON MOIX | 66 | 1 | | 0,2 | 80 | 700 | C5 | 0,00245 | 0,01694 | 6,6162E-05 |
| 421 RAFAL | 52 SON MOIX | 66 | 1 | | 0,2 | 80 | 700 | C5 | 0,00245 | 0,01694 | 6,6162E-05 |
| 422 SON PARDO | 5 SON REUS | 66 | 1 | 4,6 | 3,2 | 69 | 604 | L3+C7 | 0,18143 | 0,79804 | 9,0784E-04 |
| 422 SON PARDO | 55 NUREDDUNA | 66 | 1 | | 4,3 | 80 | 700 | C5 | 0,05260 | 0,36427 | 1,4225E-03 |
| 5 SON REUS | 51 VALLDURGENT | 220 | 1 | 15,1 | | 336 | 882 | L2 | 0,29999 | 1,95729 | 1,2959E-07 |
| 5 SON REUS | 51 VALLDURGENT | 220 | 2 | 14,9 | | 336 | 882 | L2 | 0,29601 | 1,93136 | 1,2787E-07 |
| 5 SON REUS | 52 SON MOIX | 220 | 1 | 12,6 | 3,4 | 290 | 761 | L2+C10 | 0,29191 | 1,71714 | 6,4099E-04 |
| 5 SON REUS | 55 NUREDDUNA | 66 | 1 | 11,4 | | 80 | 700 | L3 | 0,32566 | 1,28292 | 1,1291E-07 |
| 5 SON REUS | 521 POLÍGONO | 66 | 1 | 6,9 | | 69 | 604 | L3 | 0,19711 | 0,77650 | 6,8343E-08 |
| 51 VALLDURGENT | 511 SANTA PONSA | 220 | 1 | 6,5 | | 920 | 2414 | L6 | 0,04642 | 0,14731 | 2,2663E-07 |
| 51 VALLDURGENT | 512 SANTA CATALINA | 66 | 1 | 11,1 | | 69 | 604 | L3 | 0,31709 | 1,24915 | 1,0994E-07 |
| 51 VALLDURGENT | 5131 CALVIÁ | 66 | 1 | 13,2 | | 80 | 700 | L3 | 0,37708 | 1,48548 | 8,6566E-03 |
| 51 VALLDURGENT | 514 ANDRATX | 66 | 1 | 13,5 | | 70 | 612 | L3 | 0,38565 | 1,51924 | 1,3371E-07 |
| 51 VALLDURGENT | 52 SON MOIX | 220 | 1 | 12,6 | 3,4 | 290 | 761 | L2+C10 | 0,29191 | 1,71714 | 6,4099E-04 |
| 511 SANTA PONSA | 5112 PALMA NOVA | 66 | 1 | | 4,4 | 80 | 700 | C5 | 0,05383 | 0,37274 | 1,4556E-03 |
| 511 SANTA PONSA | 5112 PALMA NOVA | 66 | 2 | | 4,4 | 80 | 700 | C5 | 0,05383 | 0,37274 | 1,4556E-03 |
| 511 SANTA PONSA | 5131 CALVIÁ | 66 | 1 | | 1,5 | 80 | 700 | C5 | 0,01835 | 0,12707 | 4,9621E-04 |

| Origen | Destino | Tensión (kV) | Circuito | Longitud línea (km) | Longitud cable (km) | Potencia (MVA) | Intensidad por fase (A) | Config. | Resistencia (Ω) | Reactancia inductiva (Ω) | Susceptancia (S) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 511 SANTA PONSA | 5131 CALVIÁ | 66 | 2 | | 1,5 | 80 | 700 | C5 | 0,01835 | 0,12707 | 4,9621E-04 |
| 511 SANTA PONSA | 514 ANDRATX | 66 | 1 | 10,8 | 1,1 | 56 | 490 | L7+C3 | 0,58041 | 0,84703 | 2,5314E-04 |
| 5112 PALMA NOVA | 5131 CALVIÁ | 66 | 1 | | 4,4 | 80 | 700 | C5 | 0,05383 | 0,37274 | 1,4556E-03 |
| 512 SANTA CATALINA | 561 FALCA | 66 | 1 | | 1,2 | 80 | 700 | C5 | 0,01468 | 0,10166 | 3,9697E-04 |
| 52 SON MOIX | 521 POLÍGONO | 66 | 1 | | 3,2 | 80 | 700 | C5 | 0,03915 | 0,27108 | 1,0586E-03 |
| 52 SON MOIX | 56 COLISEO | 66 | 1 | | 3,1 | 80 | 700 | C5 | 0,03792 | 0,26261 | 1,0255E-03 |
| 52 SON MOIX | 56 COLISEO | 66 | 2 | | 6 | 80 | 700 | C5 | 0,07340 | 0,50828 | 1,9849E-03 |
| 52 SON MOIX | 561 FALCA | 66 | 1 | | 2,1 | 80 | 700 | C5 | 0,02569 | 0,17790 | 6,9470E-04 |
| 56 COLISEO | 561 FALCA | 66 | 1 | | 2 | 80 | 700 | C5 | 0,02447 | 0,16943 | 6,6162E-04 |

# ANEXO IV:

## CONFIGURACIONES DE LÍNEAS

A continuación, se muestran las diferentes configuraciones que se han adoptado. La letra L indica línea aérea y la C, cable enterrado.

| Configuración | Tensión (kV) | Potencia (MVA) | Intensidad por fase (A) | Intensidad por cable (A) | Conductor | Sección conductor ($mm^2$) | Disposición conductores | GMR (m) | $GMR_{haz}$ (m) | GMD (m) | Capacidad conductor (µF/km) | Resistencia conductor (Ω/km) | Resistencia disposición (Ω/km) | Reactancia inductiva (Ω/km) | Susceptancia (S/km) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **L1** | 220 | 670 | 1758 | 879 | LA 545 Cardinal | 547,3 | Dúplex | 0,01401 | 0,07940 | 9,50508 | | 0,0596 | 0,00993 | 0,05011 | 1,6282E-08 |
| **L2** | 220 | 336 | 882 | 882 | LA 545 Cardinal | 547,3 | Símplex | 0,01401 | 0,01401 | 6,82774 | | 0,0596 | 0,01987 | 0,12962 | 8,5818E-09 |
| **L3** | 66 | 80 | 700 | 700 | LA 380 Gull | 381 | Símplex | 0,01169 | 0,01169 | 2,51984 | | 0,0857 | 0,02857 | 0,11254 | 9,9048E-09 |
| **L4** | 66 | 40 | 350 | 350 | LA 145 | 147,1 | Símplex | 0,00708 | 0,00708 | 4,79312 | | 0,2422 | 0,08073 | 0,13651 | 8,1743E-09 |
| **L5** | 66 | 50 | 437 | 437 | LA 180 | 181,6 | Símplex | 0,00786 | 0,00786 | 4,79312 | | 0,1962 | 0,06540 | 0,13432 | 1,0804E-08 |
| **L6** | 220 | 920 | 2414 | 604 | LA 380 Gull | 381 | Doble circuito dúplex | 0,01169 | 0,06838 | 5,18397 | | 0,0857 | 0,00714 | 0,02266 | 3,4866E-08 |
| **L7** | 66 | 60 | 525 | 262 | LA 110 | 116,2 | Doble circuito símplex | 0,00629 | 0,00629 | 4,55471 | | 0,3066 | 0,05110 | 0,06896 | 1,6180E-08 |
| **L8** | 132 | 360 | 1575 | 787 | LA 455 Condor | 454,5 | Doble circuito símplex | 0,01276 | 0,01276 | 5,18397 | | 0,0718 | 0,01197 | 0,06291 | 1,7692E-08 |
| **L9** | 220 | 612 | 1606 | 803 | LA 455 Condor | 454,5 | Dúplex | 0,01276 | 0,07144 | 6,26209 | | 0,0718 | 0,01197 | 0,04685 | 1,7146E-08 |
| **C1** | 66 | 50 | 437 | 437 | Al RHZ1 1x300/25 | | Símplex | 0,0203 | 0,02030 | 0,75595 | 0,219 | 0,1 | 0,03333 | 0,09551 | 2,0640E-04 |
| **C2** | 66 | 44 | 385 | 385 | Al RHZ1 1x240/25 | | Símplex | 0,018 | 0,01800 | 0,75595 | 0,192 | 0,125 | 0,04167 | 0,09803 | 1,8096E-04 |
| **C3** | 66 | 57 | 499 | 499 | Al RHZ1 1x400/25 | | Símplex | 0,0229 | 0,02290 | 0,75595 | 0,244 | 0,0778 | 0,02593 | 0,09299 | 2,2996E-04 |
| **C4** | 220 | 560 | 1470 | 1470 | Nexans 130/225 1x2500 Cu | | Símplex | 0,0635 | 0,06350 | 0,07310 | 0,3 | 0,0072 | 0,00240 | 0,02270 | 2,8274E-04 |
| **C5** | 66 | 85 | 744 | 744 | Al RHZ1 1x800/25 | | Símplex | 0,034 | 0,03400 | 0,75595 | 0,351 | 0,0367 | 0,01223 | 0,08471 | 3,3081E-04 |
| **C6** | 132 | 359 | 1570 | 1570 | Nexans 76/132 1x2000 Cu | | Símplex | 0,0572 | 0,05720 | 0,16480 | 0,32 | 0,009 | 0,00300 | 0,04192 | 3,0159E-04 |
| **C7** | 66 | 75 | 656 | 656 | Al RHZ1 1x630/25 | | Símplex | 0,0296 | 0,02960 | 0,75595 | 0,301 | 0,0469 | 0,01563 | 0,08762 | 2,8369E-04 |
| **C8** | 132 | 118 | 516 | 516 | Nexans 76/132 1x400 Al | | Símplex | 0,0233 | 0,02330 | 0,03185 | 0,17 | 0,0778 | 0,02593 | 0,02630 | 1,6022E-04 |
| **C9** | 66 | 98 | 857 | 857 | Nexans 76/132 1x630 Al | | Símplex | 0,0303 | 0,03030 | 0,03675 | 0,24 | 0,0283 | 0,00943 | 0,02380 | 2,2619E-04 |
| **C10** | 220 | 291 | 764 | 764 | Nexans 130/225 1x800 Al | | Símplex | 0,0347 | 0,03470 | 0,04390 | 0,2 | 0,0367 | 0,01223 | 0,02468 | 1,8850E-04 |

En cuanto a los apoyos de las líneas aéreas, la elección ha sido la siguiente:

- Configuración 1: apoyo tipo Cóndor Delta
- Configuración 2: apoyo tipo Cóndor S
- Configuración 3: apoyo tipo Halcón T
- Configuraciones 4, 5 y 9: apoyo tipo Águila S
- Configuraciones 6, 7 y 8: apoyo tipo Halcón N

# ANEXO V:

# CENTRALES

A continuación, se muestran las centrales de generación de la isla de Mallorca. Se incluye la generación de cada una en el momento del caso estudiado.

| Central | Nudo | Tecnología | Combustible | $P_{máx}$ (MW) | $P_{mín}$ (MW) | $P_{caso}$ (MW) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Central térmica de Murterar** | Murterar | CV | Carbón | 113,6 | 80 | 371,1 |
| | | CV | Carbón | 113,6 | 80 | |
| | | CV | Carbón | 120,6 | 73 | |
| | | CV | Carbón | 120,6 | 73 | |
| | | TG | Gasoil | 32,7 | 6,74 | |
| | | TG | Gasoil | 32,7 | 6,74 | |
| **Central térmica de Cas Tresorer** | Cas Tresorer | CC | Gas natural | 214,5 | 9 | 95,55 |
| | | CC | Gas natural | 214,5 | 9 | |
| **Central térmica de Son Reus** | Son Reus | TG | Gasoil | 33,7 | 6,74 | 56,9 |
| | | TG | Gasoil | 33,7 | 6,74 | |
| | | TG | Gasoil | 33,7 | 6,74 | |
| | | TG | Gasoil | 33,7 | 6,74 | |
| | | CC | Gas natural | 217,55 | 28,65 | 95,55 |
| | | CC | Gas natural | 211,4 | 28,65 | |
| **Planta de valorización de residuos Tirme** | Son Reus | CV | Residuos | | | 42,9 |
| **Planta de trigeneración de BIT** | Son Reus | MACI + FV + solar térmica | Gasoil, sol | | | 6 |
| **Parque Guiamaret** | Llucmajor | FV | Sol | 1,5 | | 7,84 |
| **Parque Son Quartera** | Llucmajor | FV | Sol | 2,27 | | |
| **Parque Alcoraia** | Llucmajor | FV | Sol | 1 | | |
| **Parque Son Toni Amer** | Llucmajor | FV | Sol | 2,268 | | |
| **Parque Son Valardell** | Llucmajor | FV | Sol | 2,268 | | |
| **Parque Ses Cabanasses** | Manacor | FV | Sol | 2,268 | | 7,46 |
| **Parque Sa Gruta** | Manacor | FV | Sol | 2,7 | | |
| **Parque Cantera Son Sureda** | Manacor | FV | Sol | 1,728 | | |
| **Parque Can Verd** | Manacor | FV | Sol | 2,16 | | |
| **Parque Sestelrica** | Artá | FV | Sol | 1,98 | | 5,76 |
| **Parque Bellpuig** | Artá | FV | Sol | 3,16 | | |
| **Parque Son Jordi** | Artá | FV | Sol | 1,7 | | |
| **Parque Vernissa** | Can Picafort | FV | Sol | 2,27 | | 1,91 |

CV: ciclo de vapor
TG: turbina de gas
CC: ciclo combinado
MACI: motor alternativo de combustión interna (diésel)

# ANEXO VI:

# CONSUMOS

A continuación, se muestran los consumos asignados a los nudos del sistema para los escenarios 0, 1 y 2:

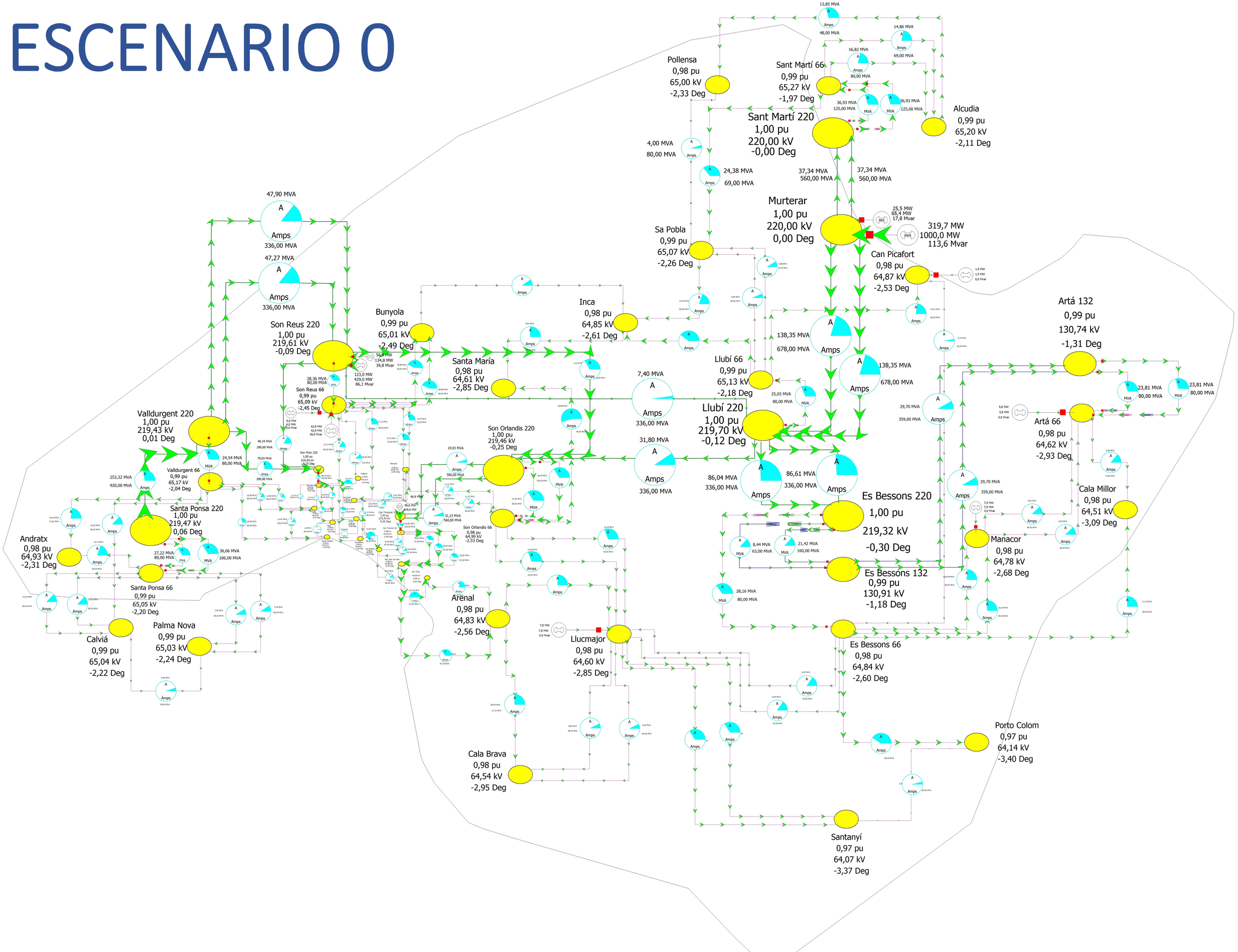
| Nudo | Grado | Valor | Valor corregido | Parte proporcional | $P_{0,1}$ (MW) | $Q_{0,1}$ (MVAr) | $P_2$ (MW) | $Q_2$ (MVAr) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **LLUBÍ** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **INCA** | Rural | 1 | 2 | 3,42% | 33,89 | 10,58 | 17,42 | 5,44 |
| **POLLENSA** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| ~~**SA VINYETA**~~ | Industrial | +1 a Inca + 1 a Santa María | | | | | | |
| **BUNYOLA** | Rural | 1 | 3 | 5,13% | 50,83 | 15,87 | 26,12 | 8,16 |
| ~~**SOLLER**~~ | Rural aislado | +1,5 a Bunyola | | | | | | |
| **SA POBLA** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **CAN PICAFORT** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| MURTERAR | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **SANT MARTÍ** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **ALCUDIA** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| ES BESSONS | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **ARTÁ** | Rural | 1 | 3,5 | 5,98% | 59,30 | 18,52 | 30,48 | 9,52 |
| ~~**CAPDEPERA**~~ | Rural aislado | + 1,5 a Artá | | | | | | |
| ~~**CALA MESQUIDA**~~ | Rural | +1 a Artá | | | | | | |
| **CALA MILLOR** | Rural aislado | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **MANACOR** | Ciudad | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **PORTO COLOM** | Rural aislado | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **SANTANYÍ** | Rural aislado | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **LLUCMAJOR** | Ciudad | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **ARENAL** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **SON OMS** | Urbano+equip. | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **CALA BRAVA** | Rural aislado | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| SON ORLANDIS | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **CAS TRESORER** | Urbano | 1 | 2 | 3,42% | 33,89 | 10,58 | 17,42 | 5,44 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ~~**LLÁTZER**~~ | Rural | +1 a Cas Tresorer | | | | | | |
| **SAN JUAN DE DIOS** | Rural | 1 | 2 | 3,42% | 33,89 | 10,58 | 17,42 | 5,44 |
| ~~**AEROPUERTO**~~ | Rural | +1 a San Juan de Dios | | | | | | |
| **SON MOLINES** | Rural | 1 | 2 | 3,42% | 33,89 | 10,58 | 17,42 | 5,44 |
| ~~**DESALADORA**~~ | Rural | +1 a Son Molines | | | | | | |
| **MARRATXÍ** | Industrial | 2 | 2 | 3,42% | 33,89 | 10,58 | 17,42 | 5,44 |
| **RAFAL** | Urbano | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **SON PARDO** | Urbano | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **SANTA MARÍA** | Rural | 1 | 2 | 3,42% | 33,89 | 10,58 | 17,42 | 5,44 |
| **SON REUS** | Rural | 1 | 3,5 | 5,98% | 59,30 | 18,52 | 30,48 | 9,52 |
| **VALLDURGENT** | Rural | 1 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **SANTA PONSA** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **PALMA NOVA** | Rural | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **SANTA CATALINA** | Urbano+equip. | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| ~~**SAN AGUSTÍN**~~ | Urbano | +0,5 a Valldurgent + 0,5 a Calviá | | | | | | |
| **CALVIÁ** | Rural | 1 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **ANDRATX** | Rural aislado | 1,5 | 1,5 | 2,56% | 25,41 | 7,94 | 13,06 | 4,08 |
| **SON MOIX** | Urbano | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **POLÍGONO** | Industrial | 2 | 2 | 3,42% | 33,89 | 10,58 | 17,42 | 5,44 |
| ~~**SES VELES**~~ | Rural | +0,5 a Bunyola + 0,5 a Son Reus | | | | | | |
| **NUREDDUNA** | Urbano | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **COLISEO** | Urbano | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| **FALCA** | Urbano | 1 | 1 | 1,71% | 16,94 | 5,29 | 8,71 | 2,72 |
| ~~**BIT**~~ | Industrial | +2 a Son Reus | | | | | | |

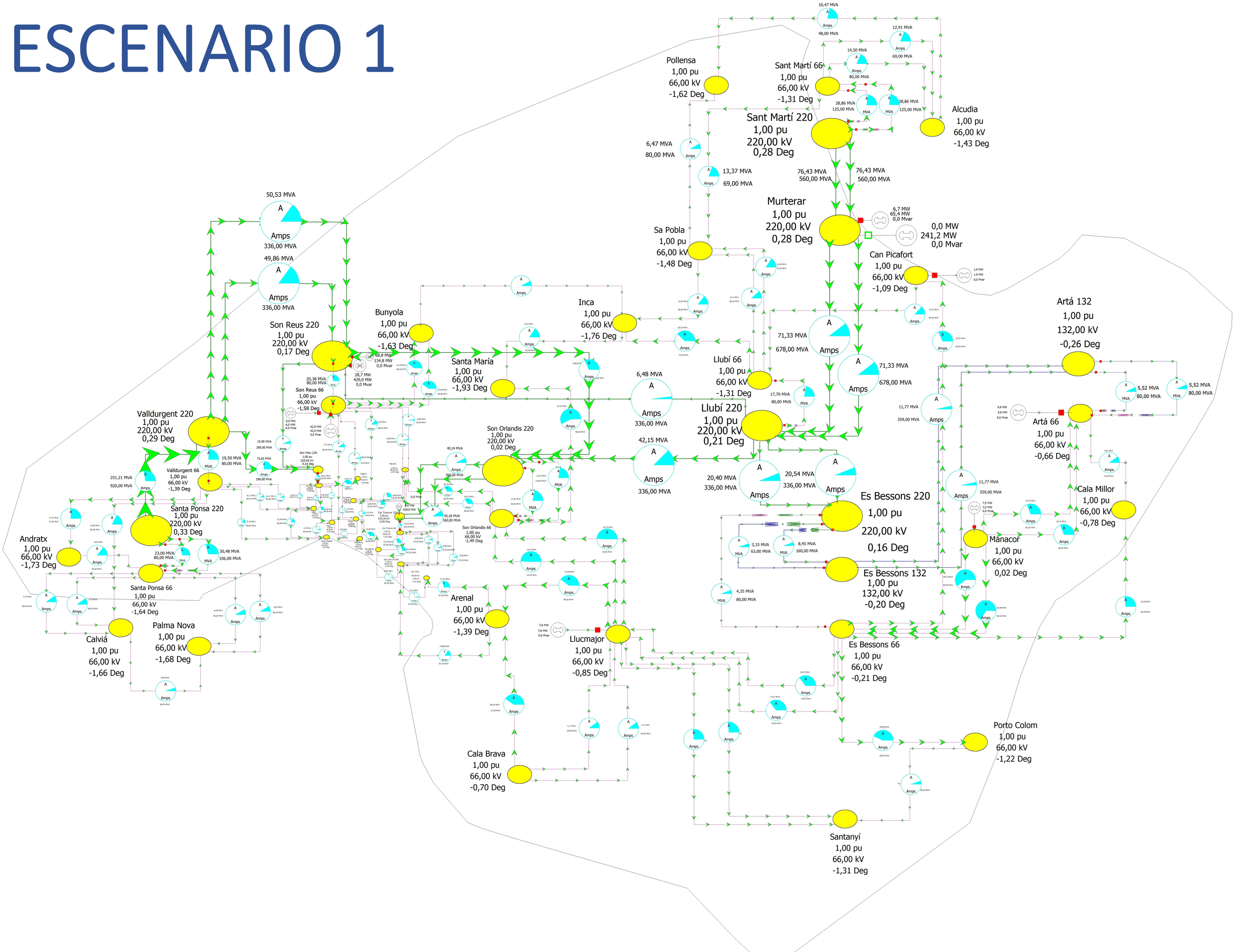
# ANEXO VII:

# RESULTADOS

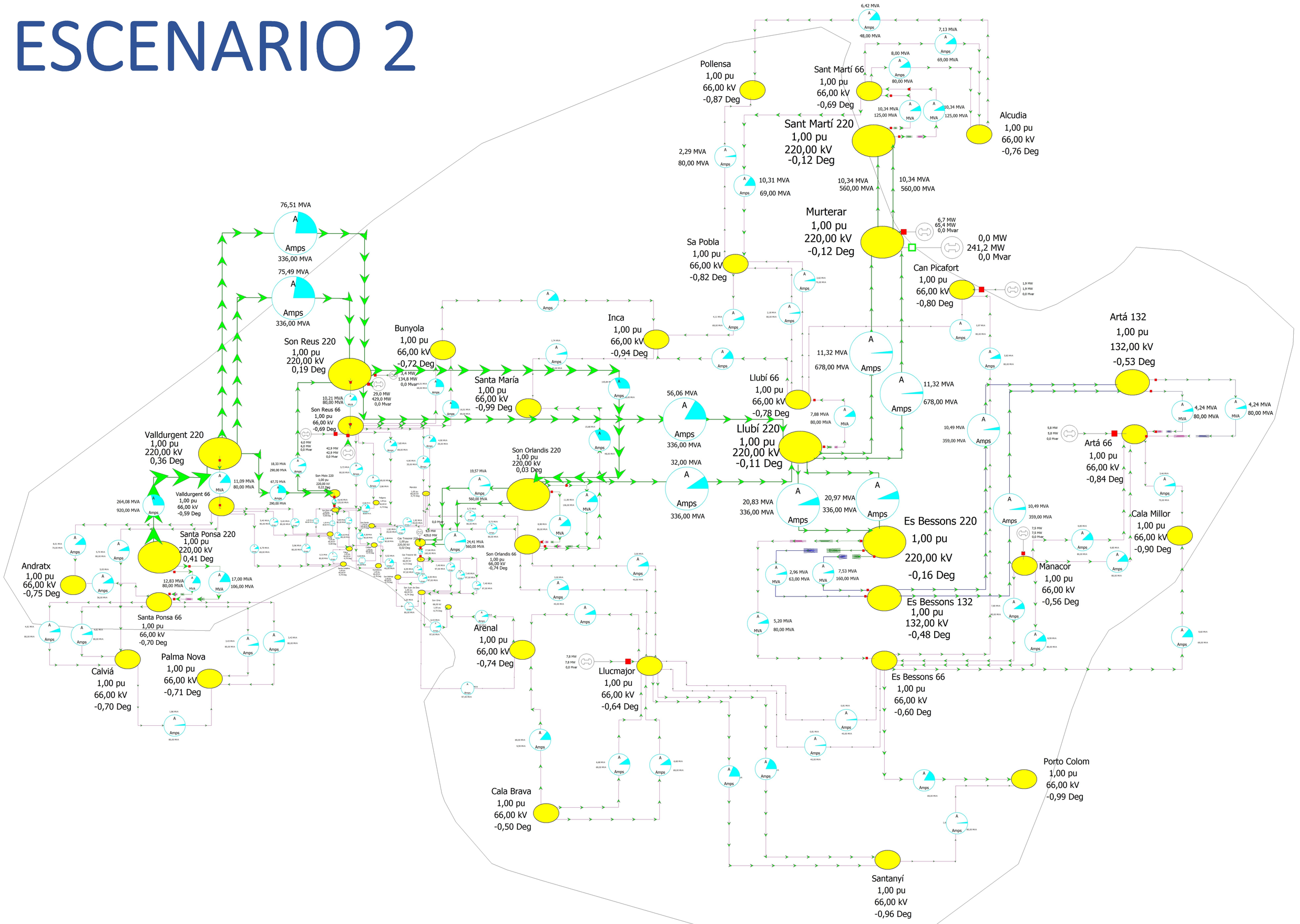
# ESCENARIO 0


Pollensa
0,98 pu
65,00 kV
-2,33 Deg
Sant Martí 66
0,99 pu
65,27 kV
-1,97 Deg
Sant Martí 220
1,00 pu
220,00 kV
-0,00 Deg
Alcudia
0,99 pu
65,20 kV
-2,11 Deg
Murterar
1,00 pu
220,00 kV
0,00 Deg
Sa Pobla
0,99 pu
65,07 kV
-2,26 Deg
Can Picafort
0,98 pu
64,87 kV
-2,53 Deg
Bunyola
0,99 pu
65,01 kV
-2,49 Deg
Inca
0,98 pu
64,85 kV
-2,61 Deg
Son Reus 220
1,00 pu
219,61 kV
-0,09 Deg
Son Reus 66
0,99 pu
65,09 kV
-2,45 Deg
Santa María
0,98 pu
64,61 kV
-2,85 Deg
Llubí 66
0,99 pu
65,13 kV
-2,18 Deg
Llubí 220
1,00 pu
219,70 kV
-0,12 Deg
Artá 132
0,99 pu
130,74 kV
-1,31 Deg
Artá 66
0,98 pu
64,62 kV
-2,93 Deg
Valldurgent 220
1,00 pu
219,43 kV
0,01 Deg
Valldurgent 66
0,99 pu
65,17 kV
-2,04 Deg
Son Orlandis 220
1,00 pu
219,46 kV
-0,25 Deg
Santa Ponsa 220
1,00 pu
219,47 kV
0,06 Deg
Es Bessons 220
1,00 pu
219,32 kV
-0,30 Deg
Cala Millor
0,98 pu
64,51 kV
-3,09 Deg
Andratx
0,98 pu
64,93 kV
-2,31 Deg
Santa Ponsa 66
0,99 pu
65,05 kV
-2,20 Deg
Manacor
0,98 pu
64,78 kV
-2,68 Deg
Es Bessons 132
0,99 pu
130,91 kV
-1,18 Deg
Es Bessons 66
0,98 pu
64,84 kV
-2,60 Deg
Son Orlandis 66
0,98 pu
64,99 kV
-2,53 Deg
Arenal
0,98 pu
64,83 kV
-2,56 Deg
Llucmajor
0,98 pu
64,60 kV
-2,85 Deg
Cala Brava
0,98 pu
64,54 kV
-2,95 Deg
Calviá
0,99 pu
65,04 kV
-2,22 Deg
Palma Nova
0,99 pu
65,03 kV
-2,24 Deg
Porto Colom
0,97 pu
64,14 kV
-3,40 Deg
Santanyí
0,97 pu
64,07 kV
-3,37 Deg
319,7 MW
1000,0 MW
113,6 Mvar
123,0 MW
429,0 MW
86,1 Mvar
95,6 MW
429,0 MW
36,06 MVA
106,00 MVA
47,90 MVA
336,00 MVA
47,27 MVA
336,00 MVA
138,35 MVA
678,00 MVA
86,04 MVA
336,00 MVA
86,61 MVA
336,00 MVA
31,80 MVA
336,00 MVA
7,40 MVA
336,00 MVA

# ESCENARIO 1


Pollensa
1,00 pu
66,00 kV
-1,62 Deg
Sant Martí 66
1,00 pu
66,00 kV
-1,31 Deg
Sant Martí 220
1,00 pu
220,00 kV
0,28 Deg
Alcudia
1,00 pu
66,00 kV
-1,43 Deg
Murterar
1,00 pu
220,00 kV
0,28 Deg
Sa Pobla
1,00 pu
66,00 kV
-1,48 Deg
Can Picafort
1,00 pu
66,00 kV
-1,09 Deg
Inca
1,00 pu
66,00 kV
-1,76 Deg
Bunyola
1,00 pu
66,00 kV
-1,63 Deg
Son Reus 220
1,00 pu
220,00 kV
0,17 Deg
Son Reus 66
1,00 pu
66,00 kV
-1,58 Deg
Santa María
1,00 pu
66,00 kV
-1,93 Deg
Llubí 66
1,00 pu
66,00 kV
-1,31 Deg
Llubí 220
1,00 pu
220,00 kV
0,21 Deg
Artá 132
1,00 pu
132,00 kV
-0,26 Deg
Artá 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,66 Deg
Cala Millor
1,00 pu
66,00 kV
-0,78 Deg
Manacor
1,00 pu
66,00 kV
0,02 Deg
Son Orlandis 220
1,00 pu
220,00 kV
0,02 Deg
Son Orlandis 66
1,00 pu
66,00 kV
-1,49 Deg
Es Bessons 220
1,00 pu
220,00 kV
0,16 Deg
Es Bessons 132
1,00 pu
132,00 kV
-0,20 Deg
Es Bessons 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,21 Deg
Valldurgent 220
1,00 pu
220,00 kV
0,29 Deg
Valldurgent 66
1,00 pu
66,00 kV
-1,39 Deg
Santa Ponsa 220
1,00 pu
220,00 kV
0,33 Deg
Santa Ponsa 66
1,00 pu
66,00 kV
-1,64 Deg
Andratx
1,00 pu
66,00 kV
-1,73 Deg
Calviá
1,00 pu
66,00 kV
-1,66 Deg
Palma Nova
1,00 pu
66,00 kV
-1,68 Deg
Arenal
1,00 pu
66,00 kV
-1,39 Deg
Cala Brava
1,00 pu
66,00 kV
-0,70 Deg
Llucmajor
1,00 pu
66,00 kV
-0,85 Deg
Porto Colom
1,00 pu
66,00 kV
-1,22 Deg
Santanyí
1,00 pu
66,00 kV
-1,31 Deg

# ESCENARIO 2


Pollensa
1,00 pu
66,00 kV
-0,87 Deg
Sant Martí 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,69 Deg
Sant Martí 220
1,00 pu
220,00 kV
-0,12 Deg
Alcudia
1,00 pu
66,00 kV
-0,76 Deg
Murterar
1,00 pu
220,00 kV
-0,12 Deg
Sa Pobla
1,00 pu
66,00 kV
-0,82 Deg
Can Picafort
1,00 pu
66,00 kV
-0,80 Deg
Bunyola
1,00 pu
66,00 kV
-0,72 Deg
Son Reus 220
1,00 pu
220,00 kV
0,19 Deg
Son Reus 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,69 Deg
Inca
1,00 pu
66,00 kV
-0,94 Deg
Santa María
1,00 pu
66,00 kV
-0,99 Deg
Llubí 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,78 Deg
Llubí 220
1,00 pu
220,00 kV
-0,11 Deg
Artá 132
1,00 pu
132,00 kV
-0,53 Deg
Artá 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,84 Deg
Cala Millor
1,00 pu
66,00 kV
-0,90 Deg
Valldurgent 220
1,00 pu
220,00 kV
0,36 Deg
Valldurgent 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,59 Deg
Son Orlandis 220
1,00 pu
220,00 kV
0,03 Deg
Son Orlandis 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,74 Deg
Es Bessons 220
1,00 pu
220,00 kV
-0,16 Deg
Es Bessons 132
1,00 pu
132,00 kV
-0,48 Deg
Es Bessons 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,60 Deg
Manacor
1,00 pu
66,00 kV
-0,56 Deg
Santa Ponsa 220
1,00 pu
220,00 kV
-0,41 Deg
Santa Ponsa 66
1,00 pu
66,00 kV
-0,70 Deg
Andratx
1,00 pu
66,00 kV
-0,75 Deg
Calviá
1,00 pu
66,00 kV
-0,70 Deg
Palma Nova
1,00 pu
66,00 kV
-0,71 Deg
Arenal
1,00 pu
66,00 kV
-0,74 Deg
Llucmajor
1,00 pu
66,00 kV
-0,64 Deg
Cala Brava
1,00 pu
66,00 kV
-0,50 Deg
Porto Colom
1,00 pu
66,00 kV
-0,99 Deg
Santanyí
1,00 pu
66,00 kV
-0,96 Deg