

Trabajo Fin de Grado

Simulación de la red de transporte incluyendo
generación renovable

Simulation of the power transmission grid
including renewable generation

Autor/es

Javier Biarge Brosed

Director/es

José Luis Bernal Agustín

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza
2018



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./D^a. JAVIER BIARGE BROSED

con nº de DNI 18 062 127-C 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)
INGENIERÍA ELÉCTRICA, (Título del Trabajo)
SIMULACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE INCLUYENDO GENERACIÓN RENOVABLE

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

Zaragoza, a 26 de Junio de 2018

Fdo: Javier Biarge Brosed

A mi abuelo, Pepe.

Por dar las mejores lecciones de la vida.

Las que no están en los libros.

Simulación de la red de transporte incluyendo generación renovable

RESUMEN

En este trabajo, en primer lugar, se presentan y comentan las características básicas de la red eléctrica de la zona de Alto Aragón, indicando las principales tecnologías de generación de energía eléctrica. Se indican los motivos de la actual configuración de la red y cómo se ha desarrollado hasta la situación actual.

A continuación, se han obtenido los datos de nudos, líneas, cargas y generación de la zona en estudio. Para ello se han utilizado los archivos que usa Red Eléctrica de España SA para la realización de los flujos de carga de la red peninsular.

Con estos datos se ha simulado, en PowerWorld, la red de la zona del Alto Aragón en diferentes horas del día. Se han considerado varios casos, correspondientes tanto a consumos elevados como bajos de energía eléctrica.

De cada uno de estos casos se han obtenido resultados, como por ejemplo las pérdidas de las líneas al variar las cargas del sistema en función de los datos recogidos.

Además, se ha construido y simulado un caso en PowerWorld aumentando la generación con fuentes renovables, en particular con energía eólica, y se ha observado el comportamiento del sistema. Así es posible disponer de una visión de cómo puede ser en un futuro la red del Alto Aragón, considerando que se prevé un aumento de los parques eólicos en la Comunidad Autónoma de Aragón.

Finalmente se han obtenido conclusiones a partir de todos los casos simulados y de los resultados obtenidos.

ÍNDICE

1. OBJETO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO	3
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	9
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE DATOS.	9
3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA INTRODUCIDO EN POWERWORLD.	9
4.1. BUSES DEL SISTEMA.	10
4.2. LÍNEAS DEL SISTEMA.	12
4.3. CARGAS DEL SISTEMA.	15
4.4. GENERADORES DEL SISTEMA.	15
4.5. CASOS DESARROLLADOS	16
4.6. DESCRIPCIÓN DEL CASO A LAS 05 H	18
4.7. DESCRIPCIÓN DEL CASO A LAS 16 H	19
4.8. DESCRIPCIÓN DEL CASO A LAS 20 H	20
4.9. DESCRIPCIÓN DEL CASO A LAS 22 H	21
5. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN	22
6. AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN RENOVABLE	35
7. CONCLUSIONES	39
8. BIBLIOGRAFÍA	42
9. ANEXOS.	43

1. OBJETO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

Con la realización de este trabajo fin de grado se han abordado los siguientes objetivos:

- Determinar, aproximadamente, la red eléctrica de alta tensión de la zona de alto Aragón.
- Obtener los datos aproximados de generación y consumo de la zona en estudio.
- Modelizar un caso base y simularlo.
- Plantear casos considerando un aumento en la generación basada en fuentes renovables.
- Obtener conclusiones.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este apartado se describe la zona geográfica del alto Aragón, provincia de Huesca. Esto permite comprender la configuración de la red en estudio, ya que sus características obedecen a diversos motivos, como son los económicos, sociales, políticos y físicos.

En primer lugar, se observa que se trata de un territorio con dos zonas de producción de energía eléctrica que se diferencian según el tipo de tecnología empleada: eólica o hidráulica, relacionadas además con la época en la que han sido construidas y las necesidades socio-económicas.

Hasta la mitad de los años 90 del siglo XX la mayor parte de la producción eléctrica se concentraba en las centrales hidroeléctricas del norte de la provincia, en la zona del Pirineo aragonés.

El aprovechamiento de los recursos hídricos data de finales del siglo XIX y se prolonga hasta la mitad del siglo XX con las grandes infraestructuras hidráulicas, con embalses, pantanos y agua fluyente, para generar electricidad dentro de las políticas de desarrollo de regadíos en el sur de la provincia. En el momento de su construcción era la forma más barata y la tecnología predominante.

La zona sur-oeste de la provincia, se encuentra enclavada dentro del valle del Ebro, se trata de una zona con un elevado potencial eólico durante gran parte del año, y es por este motivo por el que se promovieron proyectos de parques eólicos desde finales de los años 90 como los de Gurrea, Tardienta, Torralba, Almudevar, Robres, etc. Estos parques aumentaron la capacidad productora de la provincia.

La provincia de Huesca no posee centrales nucleares ni grandes centrales térmicas de carbón, a diferencia de otras provincias cercanas como Teruel o Tarragona.

En la Tabla 1 elaborada por el Instituto Aragonés de Estadística (IAE), acerca de los tipos de producción de energía en la Comunidad autónoma de Aragón, se observa los tipos de generación, tal como hemos comentado anteriormente sobre la tipología de la tecnología de producción en el Alto Aragón en el año 2014.

La potencia total instalada en el año 2014 en la provincia de Huesca era de 1562 MW, donde la mayor parte de las centrales son de generación hidroeléctrica.

PROVINCIAS

Energía

	Unidad	Periodo	Aragón	Huesca	Teruel	Zaragoza
Energía primaria						
Consumo de energía primaria	Tep	2014	4.961.921	906.073	1.568.034	2.487.814
Producción interior de e.primaria	Tep	2014	1.760.281	390.390	702.916	666.975
Importación de energía primaria	Tep	2014	3.107.623	531.358	771.101	1.820.839
Variación de stocks	Tep	2014	-94.017	0	-94.017	0
Potencia eléctrica instalada						
Hidroeléctrica	Megawattios	2014	1.562	1.123	30	409
Térmica convencional	Megawattios	2014	1.101	0	1.101	0
Cogeneración	Megawattios	2014	588	156	57	375
Ciclo combinado	Megawattios	2014	1.863	0	791	1.072
Fotovoltaica	Megawattios	2014	174	32	30	112
Eólica	Megawattios	2014	1.891	251	226	1.414
Consumo de energía eléctrica						
Consumo	Megawattios /hora	2014	9.811.854	2.641.497	885.572	6.284.785

Tabla 1. Potencia Eléctrica Instalada en Aragón. Año 2014. Fuente: IAE.

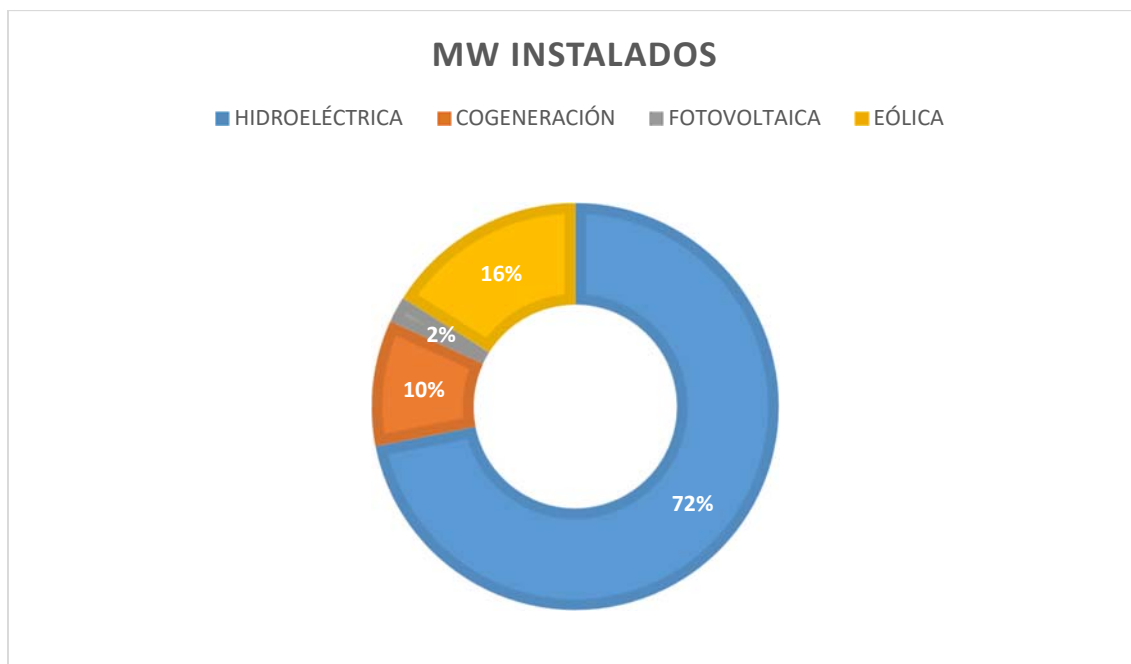


Figura 1. Potencia eléctrica instalada en la provincia de Huesca según tipo de generación.
Elaboración propia.

Tal como hemos comentado, la principal fuente de energía en la zona de estudio, Huesca, corresponde a la energía hidroeléctrica con un 72%, tal como se muestra en la Figura 1 del total de la potencia instalada. Seguida de la energía de tipo eólica con un 16%.

A continuación, en la Tabla 2 observamos los principales puntos de producción hidroeléctrica en la provincia de Huesca, el tipo de tecnología que emplean (fluyente, embalse o bombeo mixto), municipio donde están instaladas, potencia instalada en MW, y tensión del nudo generador.

NOMBRE	TIPO	NUDO	MUNICIPIO	TECNOLOGÍA	POTENCIA MW	TENSIÓN
ANZÁNIGO	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	7,9	45
ARATORES	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	0,3	10
ARGONE 1	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	7,2	110
ARGONE 2	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	7,2	110
BARROSA	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	FLUYENTE	3,6	30
BIESCAS II 1	HIDRÁULICA	75	BIESCAS	EMBALSE	31	220
BIESCAS II 2	HIDRÁULICA	75	BIESCAS	EMBALSE	31	220
CANALROYA	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	6	45
CARCAVILLA	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	4,9	45
CASTIELLO	HIDRÁULICA	75	JACA	FLUYENTE	1,1	10
ERISTE 1	HIDRÁULICA	81	ERISTE	EMBALSE	40	220
ERISTE 2	HIDRÁULICA	81	ERISTE	EMBALSE	40	220
GRADO I 1	HIDRÁULICA	90	GRADO	EMBALSE	9,28	220
GRADO I 2	HIDRÁULICA	90	GRADO	EMBALSE	9,28	220
GRADO II 1	HIDRÁULICA	90	GRADO	FLUYENTE	13,6	66
GRADO II 2	HIDRÁULICA	90	GRADO	FLUYENTE	13,6	66
HIDROELECTRICA DE HUESCA	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	0,9	45
IP 1	HIDRÁULICA	75	JACA	BOMBEO MIXTO	28	132
IP 2	HIDRÁULICA	75	JACA	BOMBEO MIXTO	28	132
IP 3	HIDRÁULICA	75	JACA	BOMBEO MIXTO	28	132
JABARRELLA 1	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	5	45
JABARRELLA 2	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	5	45
JABARRELLA 3	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	5	45
JACA 1	HIDRÁULICA	75	JACA	FLUYENTE	7,6	45
JACA 2	HIDRÁULICA	75	JACA	FLUYENTE	7,6	45
JAVIERRELATRE 1	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	5,3	45
JAVIERRELATRE 2	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	5,3	45
LAFORTUNADA CINCA 1	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	14	220
LAFORTUNADA CINCA 2	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	14	220
LAFORTUNADA CINCA 3	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	14	220
LAFORTUNADA CINQUETA 1	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	20,7	220
LAFORTUNADA CINQUETA 2	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	20,7	220
LANUZA 1	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	EMBALSE	26	132
LANUZA 2	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	EMBALSE	26	132
LASPUÑA 1	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	6,8	132
LASPUÑA 2	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	6,8	132
MEDIANO 1	HIDRÁULICA	90	MEDIANO	EMBALSE	33,2	220
MEDIANO 2	HIDRÁULICA	90	MEDIANO	EMBALSE	33,2	220
SABIÑÁNIGO 1	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	3,4	45

SABIÑÁNIGO2	HIDRÁULICA	75	SABIÑÁNIGO	FLUYENTE	3,4	45
SALINAS	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	FLUYENTE	2,4	30
SEIRA II 1	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	8,91	110
SEIRA II 2	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	8,75	110
SEIRA II 3	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	19,35	110
URDICETO 1	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	3,6	30
URDICETO 2	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	EMBALSE	3,6	30
VILLANUA	HIDRÁULICA	75	JACA	FLUYENTE	11	45
BIELSA	HIDRÁULICA	84	LA FORTUNADA	FLUYENTE	1,6	30
BONO 1	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	1,88	25
BONO 2	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	1,88	25
ESCALES 1	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	EMBALSE	12	132
ESCALES 2	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	EMBALSE	12	132
ESCALES 3	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	EMBALSE	12	132
MORALETES 1	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	BOMBEO PURO	73,8	220
MORALETES 2	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	BOMBEO PURO	73,8	220
MORALETES 3	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	BOMBEO PURO	73,8	220
SANTA ANA 1	HIDRÁULICA	117	MANGRANERS	EMBALSE	15,2	132
SANTA ANA 2	HIDRÁULICA	117	MANGRANERS	EMBALSE	15,2	132
SENET 1	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	4,32	25
SENET 2	HIDRÁULICA	83	PONT DE SUERT	FLUYENTE	4,32	25

Tabla 2. Centros de generación de energía hidroeléctrica en la provincia de Huesca.

Observamos en la Tabla 2 como los más importantes centros de producción de tipo hidroeléctrico quedan englobados en las subestaciones que aparecerán posteriormente en el trabajo y la simulación en PowerWorld: **Sabiñánigo, Pont de Suert, La Fortunada, Biescas, Eriste, Grado y Mediano.**

Varias de estas centrales de producción, lo hacen con una tensión diferente, inferior, a la de los nudos, buses, del trabajo, esto nos da idea de los transformadores elevadores de tensión asociados a los centros de producción para el posterior transporte de la energía eléctrica y así, de este modo, reducir las pérdidas en las líneas por efecto Joule.

Vemos, por tanto, que la actual red de transporte de energía eléctrica existente en la provincia de Huesca viene determinada, en gran parte, por la localización de los centros de generación y la política hidráulica del siglo XX, donde la creación de pueblos de colonización y los planes de nuevos regadíos con la construcción de canales de regadío: Cinca, Monegros, Las Bardenas.

Estos planes de regadíos, acarrearón embalses con su aprovechamiento para producción eléctrica en un país marcado por el aislamiento internacional.

Desde las centrales de generación en el norte de la provincia, se tendieron las líneas eléctricas de alta tensión, con sus correspondientes mejoras, con el paso del tiempo, y avance de la tecnología para dar respuesta a los centros de consumo con mayor importancia, que se concentraron en la zona de oriental de la provincia: Monzón, Barbastro, Binéfar, zona con gran cantidad de industria.

Sabiñánigo se convierte en uno de los nudos principales en cuanto a la distribución de la energía eléctrica, puesto que recibe gran parte de la producción en la zona norte, sirve de nexo con Sangüesa, comunidad foral de Navarra y conecta con Huesca como núcleo capital de la provincia.

Por estas razones, que el aumento de la producción eléctrica dentro de la zona que he tomado para el estudio, en el futuro, deberá de continuar con la modernización de los parques eólicos existentes, aerogeneradores con mayor potencia, mayor tamaño, y con la puesta en marcha de nuevos parques.

Las nuevas políticas y avance de la sociedad, descartan la construcción de nuevos embalses, y pantanos que inunden pueblos en la zona norte de la provincia, con el consiguiente estancamiento del desarrollo de los recursos hídricos para producción de energía eléctrica.

La Tabla 3 nos muestra el listado con los diferentes parques eólicos en la provincia de Huesca con la potencia instalada en kW en el año 2012 de cada uno de ellos, el año de puesta en marcha y el municipio en el que se encuentran. Vemos como los primeros en entrar en funcionamiento son en el año 2001.

PARQUE	MUNICIPIO	PROVINCIA	POTENCIA (KW)	AÑO PM
I+D+i WALQA	HUESCA	HUESCA	635	2009
LA SOTONERA	GURREA DE GÁLLEGO Y ALCALÁ DE GURREA	HUESCA	18.900	2005
RABOSERA	GURREA DE GÁLLEGO, LUNA	HUE/ZAR	31.350	2005
RÍO GÁLLEGO (incluye I+D Las Gorgas)	GURREA DE GÁLLEGO	HUESCA	38.700	2003/2006
ROBRES	ROBRES	HUESCA	24.000	2007
SANTA QUITERIA (2)	ALMUDEVAR, TARDIENTA	HUESCA	36.000	2004
SASO PLANO (incluye ampliación)	ALMUDEVAR, LUPINÉN-ORTILLA	HUESCA	39.200	2006
TARDIENTA I	TARDIENTA	HUESCA	49.500	2001
TARDIENTA II	TARDIENTA, TORRALBA DE ARAGÓN	HUESCA	44.200	2001

Tabla 3. Centros de generación eólica en la provincia de Huesca.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo la podemos dividir en tres partes; la primera de ella ha consistido en la toma de datos partiendo de los datos proporcionados en los ficheros de REE, y con los propios mapas de la compañía, he ido localizando los nudos y líneas que han compuesto el estudio.

Como parámetros de las líneas eléctricas de alta tensión se han tomado la resistencia, reactancia y susceptancia en por unidad, p.u., además de los valores de longitud de la línea en kilómetros, su tensión nominal y los límites de potencia en MVA.

Simplificación de nudos transformadores, al no considerarse importantes para la simulación final, además de aumentar la cantidad final de nudos del sistema, con las pertinentes limitaciones de los mismos debido a la licencia de software que solamente nos permite 40 buses como entrada de datos.

La segunda parte del trabajo se centra en la simulación en PowerWorld y obtención de resultados y gráficos según los distintos modos y funciones de los que dispone el sistema.

Y la última parte del trabajo se ha focalizado en la obtención de conclusiones de los resultados obtenidos.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE DATOS.

La primera parte de la toma de datos y también la más costosa en cuanto a tiempo, puesto que previamente a la simulación es la recolección de datos acerca de las líneas de alta tensión, 220 kV, los nudos o buses existentes, correspondientes a las distintas subestaciones eléctricas.

Estos datos se han extraído de los ficheros que dispone el departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza proporcionados por la compañía Red Eléctrica Española, empresa encargada de gestionar la red de transporte de energía eléctrica en España. La dificultad de encontrar los datos en los archivos, se encuentra en el formato del propio archivo, dado que no es muy común su uso. Al principio no resulta muy intuitivo, pero una vez que se encuentra el funcionamiento es de fácil uso.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA INTRODUCIDO EN POWERWORLD.

En el sistema que se ha introducido en PowerWorld se ha intentado simular la realidad existente en cuanto a la zona de estudio, con las limitaciones que he

encontrado, como pueden ser la no actualización de los datos proporcionados por REE.

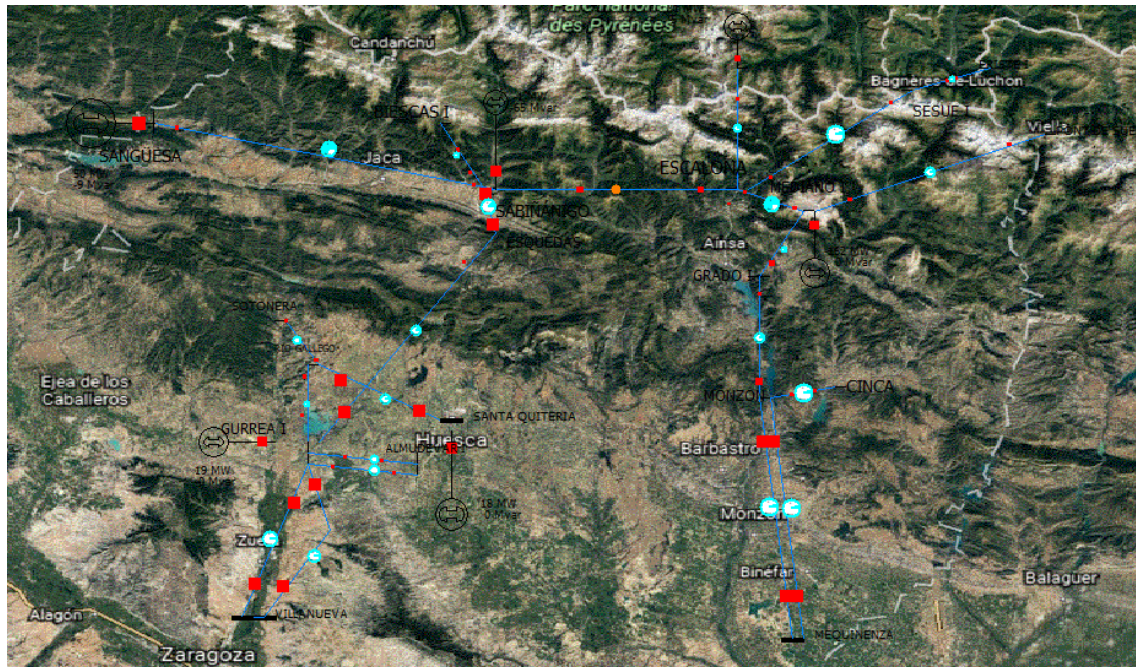


Figura 2. Sistema desarrollado en PowerWorld.

El sistema desarrollado en PowerWorld, el que se muestra en la Figura 2 cuenta con 20 buses, vemos como los principales centros de producción se encuentran en el norte de la provincia, y las líneas de transporte se distribuyen hacia el sur con dos ejes principales: desde Sabiñánigo hacia Villanueva y el segundo de ellos, desde la zona oriental de la provincia, hasta Mequinenza.

4.1. BUSES DEL SISTEMA.

El sistema estudiado cuenta con un total de 20 buses. A continuación, se muestra en la Tabla 4 el listado de los nudos, su número, destacar que para identificar los distintos buses se ha respetado el número nominativo con el que aparecen en los archivos de REE.

En la Figura 3 vemos el ejemplo del nudo número 23180 en REE, correspondiente con MONZON 1. Los distintos valores son: número de nudo, nombre del nudo, tensión base en kV, código identificador del nudo: pudiendo tomar los valores del 1 al 4 según se trate de: carga, generador, swing o nudo desconectado, continúan con los valores del número de área al que pertenecen,

en este caso es el 8, comunidad autónoma de Aragón, propietario, Módulo de la tensión del nudo en por unidad y módulo de la tensión del nudo en grados.

En la Figura 4 tenemos los datos ya introducidos en PowerWorld con el número de identificador del nudo, su nombre, la tensión nominal, tensión en p.u., en kV y el ángulo

```
23180, 'MONZON 1', 220.0000, 1, 0.000, 0.000, 3,
8, 1.04938, 4.7470, 1
```

Figura 3. Archivo de REE. Datos de un bus.

BUS NUMBER	NAME	BASEKV
22185	SANGÜESA	220
23003	ALMUEDEVAR	220
23040	BIESCAS 1	220
23080	SESUE 1	220
23082	ERISTE 1	220
23085	ESCALONA 1	220
23105	GRADO 1	220
23107	GURREA 1	220
23130	LA FORTUNADA 1	220
23155	MEDIANO 1	220
23160	MEQUINENZA 2	220
23180	MONZON 1	220
23185	CINCA 1	220
23200	PONT DE SUERT	220
23243	RIO GALLEG0 1	220
23286	SOTONERA 1	220
23287	SANTA QUITERIA 1	220
23290	SABIÑÁNIGO 1	220
23302	TARDIENTA 1	220
23359	VILLANUEVA 1	220
24000	ESQUEDAS	220

Tabla 4. Buses del sistema, con nombre y número.

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	22185	SANGÜESA	1	220,00	1,05709	232,559	14,62
2	23003	ALMUDEVAR I	1	220,00	1,01389	223,056	9,85
3	23040	BIESCAS I	1	220,00	0,99998	219,995	8,55
4	23080	SESUE I	1	220,00	0,99904	219,789	3,85
5	23082	ERISTE I	1	220,00	0,99908	219,797	1,70
6	23085	ESCALONA	1	220,00	0,99910	219,802	3,95
7	23105	GRADO I	1	220,00	1,00151	220,332	-0,27
8	23107	GURREA I	1	220,00	1,01388	223,054	9,85
9	23130	LAFORTUNAD	1	220,00	1,00000	220,000	4,05
10	23155	MEDIANO I	1	220,00	1,00000	220,000	0,00
11	23160	MEQUINENZA	1	220,00	1,00596	221,312	-0,76
12	23180	MONZON	1	220,00	1,00337	220,741	-0,64
13	23185	CINCA	1	220,00	1,00288	220,633	-0,65
14	23200	PONT DE SUEF	1	220,00	0,99978	219,951	-0,08
15	23243	RIO GALLEGO	1	220,00	1,01393	223,065	9,86
16	23286	SOTONERA	1	220,00	1,01393	223,064	9,86
17	23287	SANTA QUITER	1	220,00	1,01416	223,115	9,87
18	23290	SABIÑÁNIGO	1	220,00	1,00000	220,000	8,56
19	23395	VILLANUEVA	1	220,00	1,01454	223,199	9,84
20	24000	ESQUEDAS	1	220,00	1,00897	221,973	9,32

Figura 4. PowerWorld con los buses del sistema.

4.2. LÍNEAS DEL SISTEMA.

Para el desarrollo del sistema en los distintos casos, se han unido los buses existentes con los datos de las líneas de alta tensión que hemos obtenido de los ficheros de REE.

En estos ficheros aparecen, tal como se puede observar en la imagen [4] los dos nudos que une la línea, los datos de resistencia, reactancia y susceptancia en por unidad, p.u. desde el nudo de origen hasta el nudo de destino. Además de tres valores del límite de capacidad de la línea en MVA, que posteriormente nos serán de utilidad para trabajar con una de las múltiples funciones de PowerWorld. A estos datos se les ha añadido la longitud en kilómetros de las líneas de manera aproximada.

La tabla [5] corresponde con los datos que se han obtenido de los ficheros de REE, que han sido transferidos a Excel de todas las líneas que componen nuestro caso de estudio. Posteriormente estos datos son introducidos en el sistema PowerWorld de la forma que tenemos en la imagen [5].

Las cuatro imágenes y tablas que se muestran a continuación reflejan el proceso seguido: la segunda es la tabla creada en Excel para el volcado de los datos, en la tercera aparece el ejemplo de introducción de los valores en la ventana gráfica de PowerWorld, por último, el listado cuando todas las líneas con la unión entre buses.

En la imagen [6], vemos como quedan las líneas de transporte dentro de PowerWorld.

Dentro de este sistema, tenemos algunas líneas que están duplicadas, como son las uniones entre Gurrea y Villanueva, por ejemplo. Donde se trata de dos líneas que podemos denominar gemelas, puesto que transcurren de forma paralela en su trazado físico, y que presentan los mismos valores idénticos.

```
23105, 23180, '1 ', 0.00340, 0.02160, 0.03598, 250.00,
210.00, 210.00, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 0.00000, 1,
0.00, 1, 1.0000
```

Figura 5. Archivo de REE correspondiente a la línea entre Monzón y Cinca.

ORIGEN		DESTINO		TENSIO N	RESISTENCIA pu	REACTANCIA pu	SUCEPTANCIA pu	LÍMITE MVA	K M
NOMBRE	Nº BUS	NOMBRE2	Nº BUS2						
MEDIANO I	23155	GRADO I	23105	220	0.00240,	0.01510,	0.02518,	250	20
GRADO I	23105	MONZON	23180	220	0.00340,	0.02160,	0.03598,	250	30
MONZON	23180	CINCA	23185	220	0.0030,	0.00130,	0.00366	400	10
MONZON	23180	MEQUINENZA	23160	220	0.00900,	0.05840,	0.09614,	250	40
SABIÑÁNIGO	23290	T ESCALONA	23345	220	0.00773,	0.04132,	0.06300,	240	50
SABIÑÁNIGO	23290	SANGÜESA I	22185	220	0.01630,	0.05560,	0.13750,	330	80
SABIÑÁNIGO	23290	BIESCAS I	23040	220	0.00300,	0.01190,	0.01711,	300	15
SABIÑÁNIGO	23290	T GURREA I	23107	220	0.01059,	0.05489,	0.09963,	270	88
SABIÑÁNIGO	23290	T GURREA I	23107	220	0.01059,	0.05489,	0.09963,	270	88
GURREA I	23107	ALMUDEVAR	23006	220	0.00052,	0.00271,	0.00482,	240	15
GURREA I	23107	ALMUDEVAR	23006	220	0.00052,	0.00271,	0.00482,	240	15
SABIÑÁNIGO	23290	ESQUEDAS	24000	220	0,0085	0,04545	0,0693	260	55
GURREA I	23107	VILLANUEVA 1	23395	220	0.00516,	0.02671,	0.04843,	260	35
GURREA I	23107	VILLANUEVA 1	23395	220	0.00516,	0.02671,	0.04843,	260	35
RIO GALLEG0	23243	SOTONERA I	23286	220	0.00013,	0.00061,	0.00098,	316	5
RIO GALLEG0	23243	STA QUITERIA	23287	220	0.00013,	0.00061,	0.00098,	316	10
RIO GALLEG0	23243	GURREA I	23107	220	0.00013,	0.00061,	0.00098,	316	10
SESUE 1	23080	ERISTE 1	23082	220	0.00116,	0.00541,	0.00818,	300	5
ESCALONA 1	23085	SESUE 1	23357	220	0.00037	0.0179	0.02622	240	30
LAFORTUNAD A 1	23130	ESCALONA	23085	220	0.002,	0.0062,	0.017,	360	10
MEDIANO I	23155	PONT DE SUERT 1	23200	220	0.0065,	0.0410,	0.06822,	250	60

Tabla 5. Datos de las líneas del sistema.

Branch Options

Line From Bus To Bus Circuit

Number 23105 23180 1

Name GRADO I MONZON

Area Name 1 (1) 1 (1)

Nominal kV 220,0 220,0

Labels ... no labels

Find By Numbers

Find By Names

Find ...

☒ From End Metered

☒ Default Owner (Same as From Bus)

Display Parameters Fault Info Owner, Area, Zone, Sub Custom Stability

Status

☐ Open

☒ Closed

Branch Device Type

Line

☐ Allow Consolidation

Length 30,00

Calculate Impedances >

Per Unit Impedance Parameters

Series Resistance (R) 0,003400

Series Reactance (X) 0,021600

Shunt Charging (B) 0,035980

Shunt Conductance (G) 0,000000

☐ Has Line Shunts

Line Shunts

MVA Limits

Limit A 250,000

Limit B 210,000

Limit C 210,000

Limit D 0,000

Limit E 0,000

Limit F 0,000

Limit G 0,000

Limit H 0,000

Limit I 0,000

Figura 6. PowerWorld introducción de líneas del sistema.

	From Number	From Name	To Number	To Name	Circuit
1	22185	SANGÜESA	23290	SABIÑÁNIGO	1
2	23107	GURREA I	23003	ALMUDEVAR I	1
3	23107	GURREA I	23003	ALMUDEVAR I	2
4	23040	BIESCAS I	23290	SABIÑÁNIGO	1
5	23082	ERISTE I	23080	SESUE I	1
6	23085	ESCALONA	23080	SESUE I	1
7	23085	ESCALONA	23130	LAFORTUNADA	1
8	23085	ESCALONA	23155	MEDIANO I	1
9	23290	SABIÑÁNIGO	23085	ESCALONA	1
10	23155	MEDIANO I	23105	GRADO I	1
11	23105	GRADO I	23180	MONZON	1
12	23243	RIO GALLEGO	23107	GURREA I	1
13	23107	GURREA I	23395	VILLANUEVA	1
14	23107	GURREA I	23395	VILLANUEVA	2
15	23107	GURREA I	24000	ESQUEDAS	1
16	23155	MEDIANO I	23200	PONT DE SUER	1
17	23180	MONZON	23160	MEQUINENZA	1
18	23180	MONZON	23160	MEQUINENZA	2
19	23180	MONZON	23185	CINCA	1
20	23286	SOTONERA	23243	RIO GALLEGO	1
21	23243	RIO GALLEGO	23287	SANTA QUITERI	1
22	24000	ESQUEDAS	23290	SABIÑÁNIGO	1

Figura 7. Líneas del sistema en PowerWorld.

4.3. CARGAS DEL SISTEMA.

De cada una de las 4 horas que se han tomado para las diferentes simulaciones, 05 h, 16 h, 20 h y 22 h. Encontramos unos valores de carga en cada uno de los buses. Algunos de ellos, como se muestran en la tabla son con valor cero, esto es debido a que en los archivos de REE, dentro de la parte de cargas, no aparecen estos nudos. En las siguientes tablas de elaboración propia aparecen detallados, podemos observar la potencia activa, en MW, como la potencia reactiva en MVar, para esa hora. En la Figura 8 tenemos el ejemplo de una línea del fichero en de REE, de la que se han obtenido los datos, en Figura 9 vemos los datos ya introducidos en PowerWorld.

```
23180, '9', 1, 3, 8, -14.814, 5.944, 0.000,
0.000, 0.000, 0.000, 1
```

Figura 8. Datos de los valores de carga de los archivos de REE.

	Number of Bus	Name of Bus	Area Name of Load	Zone Name of Load	ID	Status	MW	Mvar	MVA
1	22185	SANGÜESA	1	1	1	Closed	-174,80	-64,48	186,31
2	23082	ERISTE I	1	1	1	Closed	2,08	-0,13	2,09
3	23160	MEQUINENZA	1	1	1	Closed	5,70	-0,10	5,70
4	23180	MONZON	1	1	1	Closed	4,00	8,11	9,04
5	23185	CINCA	1	1	1	Closed	14,46	0,06	14,46
6	23243	RIO GALLEGO	1	1	1	Closed	0,00	0,05	0,05
7	23286	SOTONERA	1	1	1	Closed	0,00	0,06	0,06
8	23287	SANTA QUITER	1	1	1	Closed	0,00	0,12	0,12
9	23290	SABIÑÁNIGO	1	1	1	Closed	39,99	8,23	40,82

Figura 9. PowerWorld con las cargas en uno de los casos desarrollados.

4.4. GENERADORES DEL SISTEMA.

Los nudos del sistema se comportan que son nudos generadores entran en funcionamiento según las necesidades que experimenta el sistema. Desde este punto, con un mayor conocimiento de datos, si estos fueran facilitados por REE, para diferentes días del año podríamos obtener los tipos de generación que se está teniendo según la época del año, influencia de la climatología y precio del mercado en la entrada o salida de los generadores de la provincia. En la Figura 10 tenemos el ejemplo del fichero de REE, con los datos de los generadores.

```
23243, '1E', 19.000, -0.200,
0.200, -0.200, 1.04075, 0, 40.747, 0.00000,
0.50000, 0.00000, 0.00000, 1.00000, 1, 100.0, 38.700,
0.000, 1, 1.0000
```

Figura 10. Archivo de REE con los datos de un nudo generador.

4.5. CASOS DESARROLLADOS

A continuación, se describen los cuatro casos estudiados, con las particularidades específicas. Cada uno de ellos se corresponden con una de las tres partes del día en cuanto a consumo: valle, punta y llano.

Introducción a los casos desarrollados en PowerWorld. Se han desarrollado cuatro casos de estudio, correspondientes con cuatro horas del día: 05h 16h, 20h y 22h. Con el estudio de estos casos queda completado las horas: punta, valle y llano de un día.

Las dos figuras que vemos a continuación 11 y 12 se exponen los 4 casos de las horas seleccionadas para el estudio, con los valores de las cargas en potencia activa y potencia reactiva, para cada uno de los nudos que podemos denominar como receptores, puesto que son aquellos en donde se consume la energía que están produciendo los nudos que entran en funcionamiento como generadores en los casos desarrollados en PowerWorld.

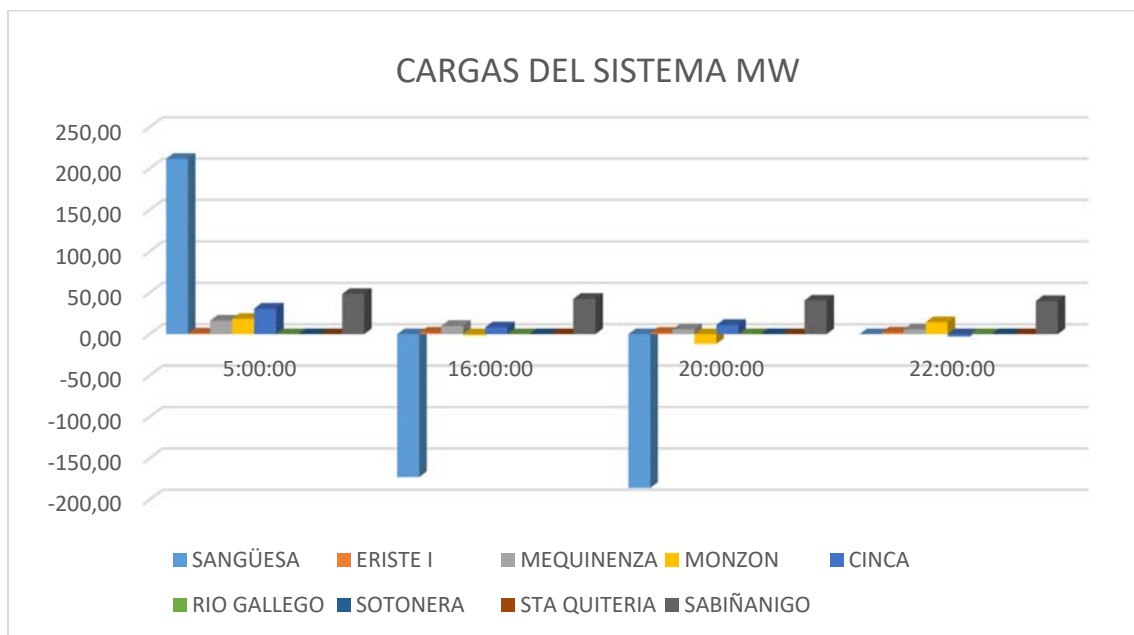


Figura 11. Con las cargas del sistema en Potencia Activa (MW) según las horas de estudio. Elaboración propia.

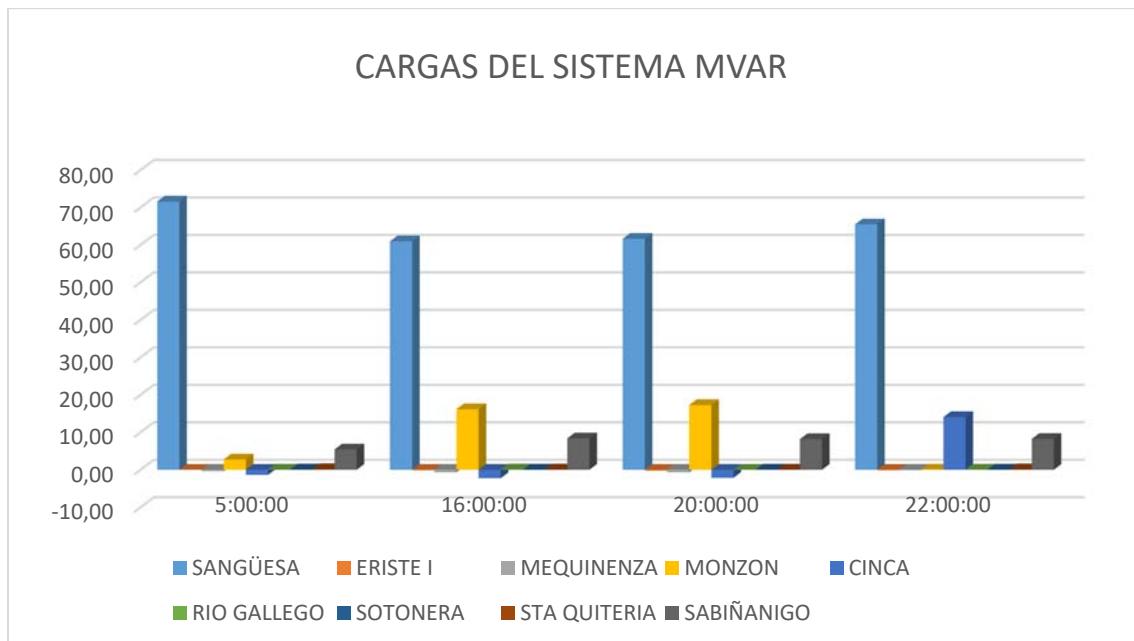


Figura 12. Con las cargas del sistema en Potencia Reactiva (Mvar) según las horas de estudio. Elaboración propia.

De cada uno de ellos he creado dos tablas con los datos obtenidos, de generación y de cargas del sistema.

En estas tablas los valores que aparecen son en los generadores:

- PG Potencia activa de salida en MW.
- QG Potencia reactiva de salida en Mvar.
- QT Potencia reactiva máxima de salida en Mvar.
- QB Potencia reactiva mínima de salida en Mvar.
- En la tabla de datos de las cargas:
 - PL Potencia activa consumida en la carga en MW.
 - QL Potencia reactiva consumida en la carga en Mvar

4.6. DESCRIPCIÓN DEL CASO A LAS 05 H

El caso de las 05 horas, es el primero que vamos a estudiar. En este caso de estudio tenemos tres nudos del sistema como generadores, Sangüesa, Río Gallego y Santa Quiteria, como vemos en la Tabla 6. Por otro lado, nueve nudos del sistema están demandando potencias, y se comportan como cargas, los valores de las mismas los tenemos en la Tabla 7.

Generadores 05 h.

NOMBRE	Nº DE BARRA	PG	QG	QT	QB
SANGÜESA	22185	111,000	-30,430	-19,245	-19,65
RÍO GALLEGO	23243	26,00	-0,52	0,20	-0,20
STA QUITERIA	23287	23,00	-4,66	-3,83	-4,23

Tabla 6. Generadores a las 05 h. Elaboración propia.

Cargas 05 h.

NOMBRE BARRA	Nº BARRA	PL	QL
SANGÜESA	22185	211,77	72
ERISTE I	23082	0,92	-0,02
MEQUINENZA	23160	16,373	-0,402
MONZON	23180	18,56	2,743
CINCA	23185	30,857	-1,369
RIO GALLEGO	23243	0	0,036
SOTONERA	23286	-0,01	0,092
STA QUITERIA	23287	-0,02	0,182
SABIÑANIGO	23290	48,531	5,424

Tabla 7. Cargas a las 05 h. Elaboración propia.

4.7. DESCRIPCIÓN DEL CASO A LAS 16 H

Observamos que en ese punto del día están entrando en generación los nudos asociados a la energía eólica como son: Río Gallego y Santa Quiteria, con los parques eólicos cercanos a ellos en funcionamiento en las localidades de Gurrea de Gallego, Tardienta y Torralba de Aragón, así como Sangüesa, sus datos en la Tabla 8.

Generadores 16 h.

NOMBRE BUS	Nº DE BUS	PG	QG	QT	QB
SANGÜESA	22185	87,00	-15,44	-15,04	-15,44
RÍO GALLEGO	23243	26,00	-0,20	0,20	-0,20
STA QUITERIA	23287	22,00	-0,20	0,20	-0,20

Tabla 8. Valores de los generadores a las 16 h. Elaboración propia.

Cargas 16 h.

NOMBRE BUS	Nº BUS	PL	QL
SANGÜESA	22185	-172,57	61
ERISTE	23082	1,78	-0,12
MEQUINENZA	23160	9,992	-0,669
MONZON	23180	-1,454	16,159
CINCA	23185	8,291	-2,244
RIO GALLEGO	23243	0	0,094
SOTONERA	23286	0	0,046
STA QUITERIA	23287	0	0,094
SABIÑÁNIGO	23290	42,607	8,371

Tabla 9. Valores de las cargas a las 16 h. Elaboración propia.

4.8. DESCRIPCIÓN DEL CASO A LAS 20 H

En este caso también tenemos tres generadores, pero se ha desconectado el nudo de Santa Quiteria y ha entrado en funcionamiento como generador el nudo de Gurrea. Dos nudos asociados a la energía eólica.

Cargas 20 h.

NOMBRE BARRA	Nº BARRA	PL	QL
SANGÜESA	22185	-185,56	62
ERISTE	23082	1,63	-0,26
MEQUINENZA	23160	5,764	-0,688
MONZON	23180	-11,716	17,264
CINCA	23185	11,147	-2,138
RIO GALLEGO	23243	0	0,029
SOTONERA	23286	0	0,048
STA QUITERIA	23287	0	0,053
SABIÑÁNIGO	23290	40,607	8,171

Tabla 10. Valores de las cargas a las 20 h. Elaboración propia.

Generadores 20 h.

NOMBRE	Nº DE BARRA	PG	QG	QT	QB
SANGÜESA	22185	78,00	-13,86	-13,86	-13,86
GURREA I	23107	22,00	-3,65	-4,05	1,04
RIO GALLEGO	23243	23,00	-0,02	0,20	-0,20

Tabla 11. Valores de los generadores a las 20 h. Elaboración propia.

4.9. DESCRIPCIÓN DEL CASO A LAS 22 H

Por último, tenemos el caso de estudio a las 22 h del día, en este caso los nudos generadores tabla 13 del sistema vuelven a ser los de los dos primeros casos de estudio. Y se desconecta como generador Gurrea. Los datos introducidos en PowerWorld corresponden con la Tabla 12, en cuanto a las cargas.

CARGAS A LAS 22 H

NOMBRE BARRA	Nº BARRA	PL	QL
SANGÜESA	22185	-44,30	65
ERISTE	23082	2,08	-0,13
MEQUINENZA	23160	5,697	-0,101
CINCA	23185	14,462	0,063
MONZON	23180	-2,812	14,049
RIO GALLEGO	23243	0	0,055
SOTONERA	23286	0	0,057
STA QUITERIA	23287	0	0,125
SABIÑÁNIGO	23290	39,986	8,233

Tabla 12. Valores de las cargas a las 22 h. Elaboración propia.

GENERADORES A LAS 22 H

NOMBRE	Nº DE BARRA	PG	QG	QT	QB
SANGÜESA	22185	50,00	-8,96	-8,56	-8,56
RIO GALLEGO	23243	19,00	-0,20	0,20	-0,20
STA QUITERIA	23287	18,00	-0,20	0,20	-0,20

Tabla 13. Valores de los generadores a las 22 h. Elaboración propia.

5. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN

En este apartado del trabajo, vamos a comentar los resultados obtenidos según las distintas horas de simulación del sistema y el comportamiento de las líneas, nudos y cargas. Esto nos dará una idea aproximada de cómo se comporta el sistema estudiado en la forma real.

Para ello nos hemos servido de las herramientas de que ofrece PowerWorld. Y los resultados que muestra con los datos de las pérdidas de las líneas en potencia activa y potencia reactiva.

Otra de las herramientas empleadas ha sido la función de porcentaje del límite de uso de la línea. Con ello podemos saber, cuantificar, como de cargada está una línea, y que capacidad de aumento de cargas, o de generación tenemos disponible, y que margen disponemos.

A todas las tablas con los datos que nos proporciona PowerWorld le añadimos la función Coutoring que nos muestra de forma gráfica, con distintos colores según los valores que presentan las líneas. De este modo podemos apreciar de manera visual los resultados de las simulaciones.

CASO 05 H

En la Tabla 14 vemos las líneas con mayores pérdidas, la línea que une Sabiñánigo con Sangüesa y Eriste-Sesue son las que cuentan con mayores pérdidas en términos absolutos. En el lado contrario tenemos la línea Monzon-Mequinenza.

From Name	To Name	MW Loss	Mvar Loss
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	15,71	7,08
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	1,68	0
ERISTE I	SESUE I	8,05	0,15
ESCALONA	SESUE I	0,26	0,02
ESCALONA	LAFORTUNADA I	1,67	0
ESCALONA	MEDIANO I	0,42	-2,72
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	6,92	3,87
MEDIANO I	GRADO I	2,63	0,83
GRADO I	MONZON	0,18	-2,44
RIO GALLEGO	GURREA I	0	-0,08
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,84
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,84
GURREA I	ESQUEDAS	4,51	0,63

MEDIANO I	PONT DE SUERT	6,74	0
MONZON	MEQUINENZA	0,01	-9,53
MONZON	MEQUINENZA	0,01	-9,53
MONZON	CINCA	3,67	0,01
SOTONERA	RIO GALLEGO	0,1	0
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	0,04	-0,08
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	0,17	-5,94

Tabla 14. Pérdidas en las líneas a las 05 h.

La Tabla 15 nos muestra el porcentaje de uso de la línea según su capacidad límite de la que dispone debido a su construcción. Vemos como la mayoría de las líneas se encuentran con infratilización, es decir, con menos del 10 % sobre su límite.

Este dato es bastante coherente con la hora del día en la que se encuentra la simulación, al tomar datos de una hora valle de consumo, una hora en la que las cargas, los hogares e industrias no están todavía en funcionamiento es normal por tanto que, los valores de uso de algunas líneas sean muy pequeño.

Sin embargo, tenemos algunas de ellas por encima del 30% como son Sangüesa-Sabiñánigo, Sabiñánigo-Escalona con un 41 %. Esto es debido a que si por la noche, seguimos teniendo generación en las zonas asociadas a la hidroeléctrica y la eólica.

From Name	To Name	% of Limit Used
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	36,3
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	0,6
ERISTE I	SESUE I	3
ESCALONA	SESUE I	3,8
ESCALONA	LAFORTUNADA I	0,5
ESCALONA	MEDIANO I	27,5
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	41,2
MEDIANO I	GRADO I	30
GRADO I	MONZON	29
RIO GALLEGO	GURREA I	15,7
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
GURREA I	ESQUEDAS	16,3
MEDIANO I	PONT DE SUERT	2,7
MONZON	MEQUINENZA	5,1
MONZON	MEQUINENZA	5,1
MONZON	CINCA	8,6

SOTONERA	RIO GALLEGO	0
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	17,1
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	14,9

Tabla 15. Porcentaje de uso de las líneas a las 05 H.

A continuación, empleamos la función Coutoring en el que se muestran las líneas del sistema en forma de color, simula un mapa de calor, con las líneas en las que tenemos mayores pérdidas. En la Figura 13 tenemos las pérdidas en potencia activa, partiendo del rojo en la zona con mayores pérdidas hasta el azul en las zonas con menos. En la Figura 14 se repite es uso de la misma función de PowerWorld, pero con los valores de las pérdidas en potencia reactiva. Los datos, y, por tanto, el mapa de calor varia para uno de los dos casos, puesto que las pérdidas en potencia activa dependen de la resistencia que presentan las líneas.

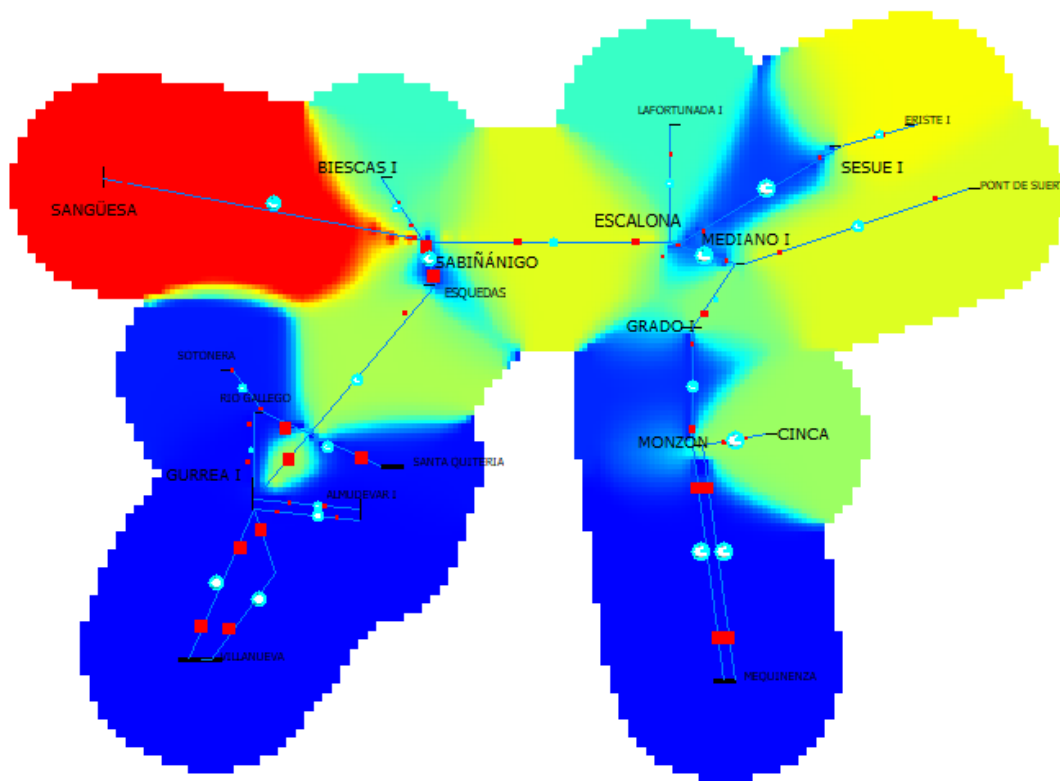


Figura 13. Sistema a las 05h-MW/MW en pérdidas.

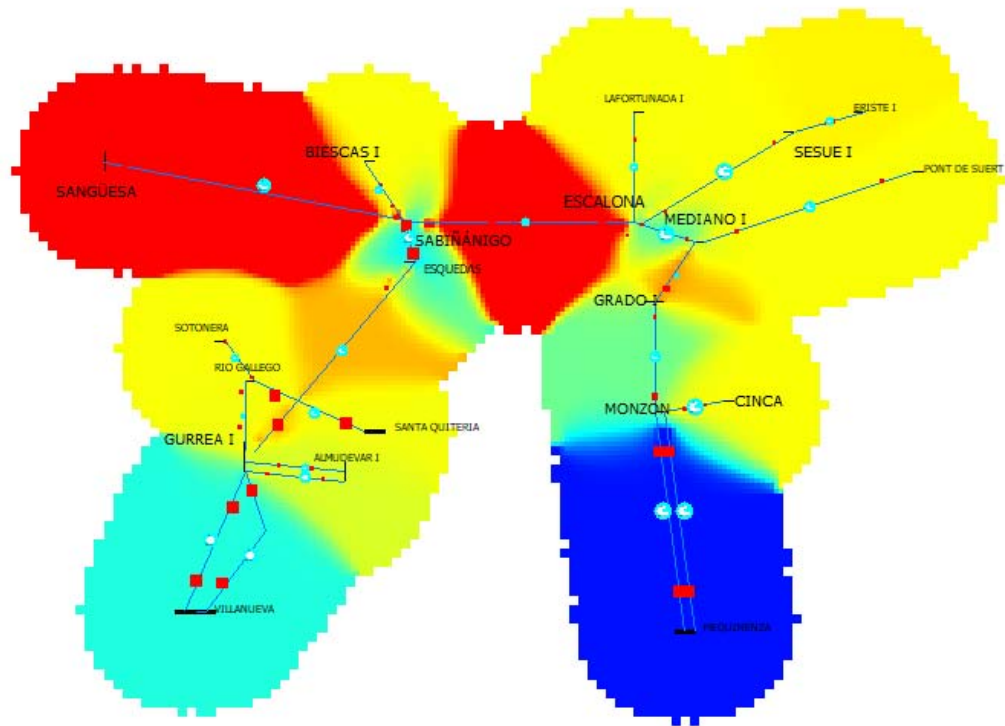


Figura 14. Sistema a las 05h-MVar/MVar en pérdidas.

CASO 16 H

A continuación, pasamos a analizar el segundo caso del día, este corresponde a las 16 h del mismo día de estudio del trabajo. Para este caso como se ha descrito con anterioridad tenemos 3 nudos generadores.

Las líneas con mayores pérdidas para esta simulación corresponden a las que unen los nudos de ERISTE-SESUE, y SANGÜESA-SABIÑÁNIGO, tal y como muestra la Tabla 16.

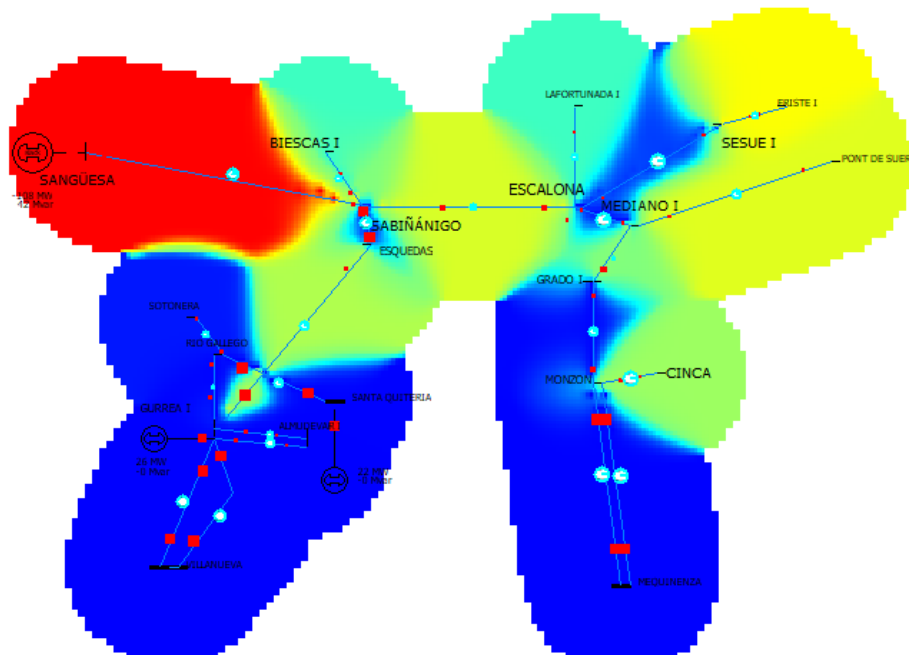


Figura 15. Sistema a las 16h-MW/MW en pérdidas.

From Name	To Name	MW Loss	Mvar Loss
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	14,2	1,8
ERISTE I	SESUE I	8,13	0,21
MEDIANO I	PONT DE SUERT	6,8	0
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	6,42	0,92
GURREA I	ESQUEDAS	4,52	0,6
MONZON	CINCA	3,67	0
MEDIANO I	GRADO I	2,53	0,09
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	1,69	0
ESCALONA	LAFORTUNADA I	1,69	0
ESCALONA	SESUE I	0,26	0,02
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	0,16	-6,02
SOTONERA	RIO GALLEGO	0,1	0
ESCALONA	MEDIANO I	0,06	-4,67
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	0,03	-0,08

GRADO I	MONZON	0,02	-3,5
MONZON	MEQUINENZA	0	-9,62
MONZON	MEQUINENZA	0	-9,62
RIO GALLEGO	GURREA I	0	-0,08
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,84
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,84
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48

Tabla 16. Pérdidas en las líneas a las 16 H.

From Name	To Name	% of Limit Used
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	20,8
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	19,3
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	16,4
GURREA I	ESQUEDAS	16
RIO GALLEGO	GURREA I	15,7
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	14,5
ESCALONA	MEDIANO I	11
MEDIANO I	GRADO I	10
GRADO I	MONZON	9
MONZON	MEQUINENZA	4,5
MONZON	MEQUINENZA	4,5
ESCALONA	SESUE I	4,2
ERISTE I	SESUE I	3,3
MONZON	CINCA	3
MEDIANO I	PONT DE SUERT	2,7
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	0,6
ESCALONA	LAFORTUNADA I	0,5
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
SOTONERA	RIO GALLEGO	0

Tabla 17. Porcentaje de uso de la línea a las 16 h.

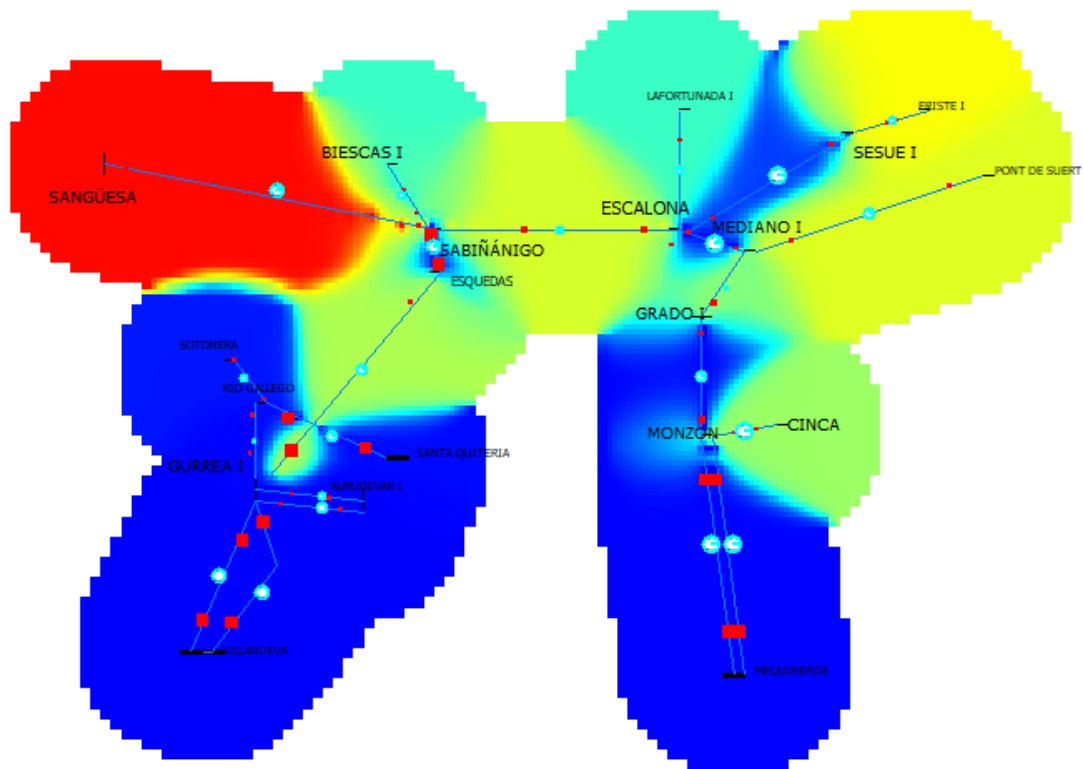


Figura 16. Caso a las 16 h según las pérdidas del sistema.

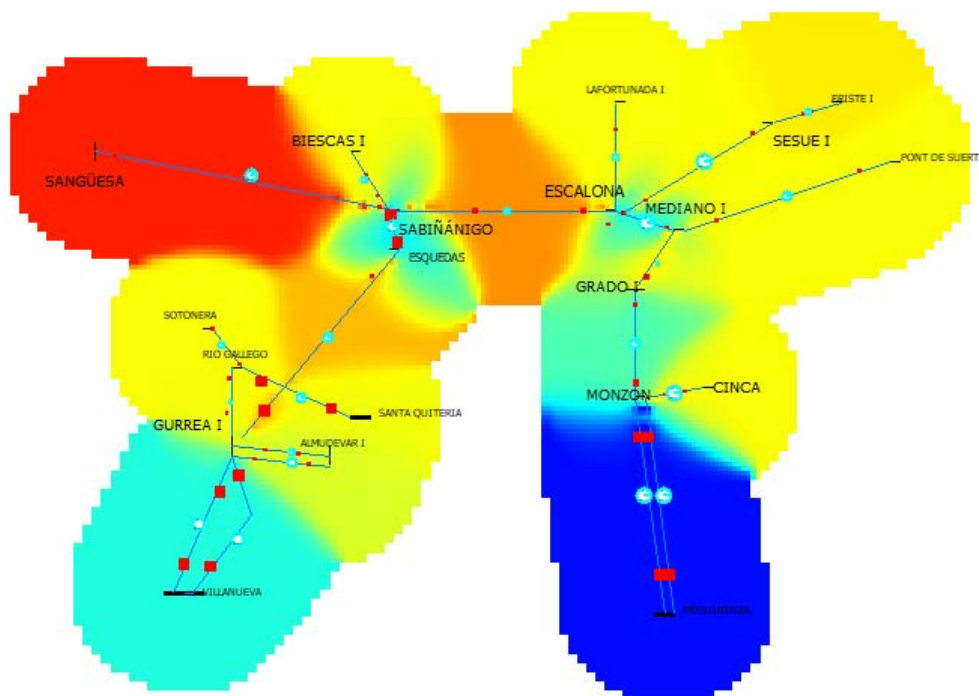


Figura 17. Caso a las 16 h según las pérdidas del sistema MVar.

CASO 20 H

Tercer caso de estudio, correspondiente con una hora de las denominadas hora punta en cuanto a consumo de las cargas, sin embargo, los datos que se obtienen

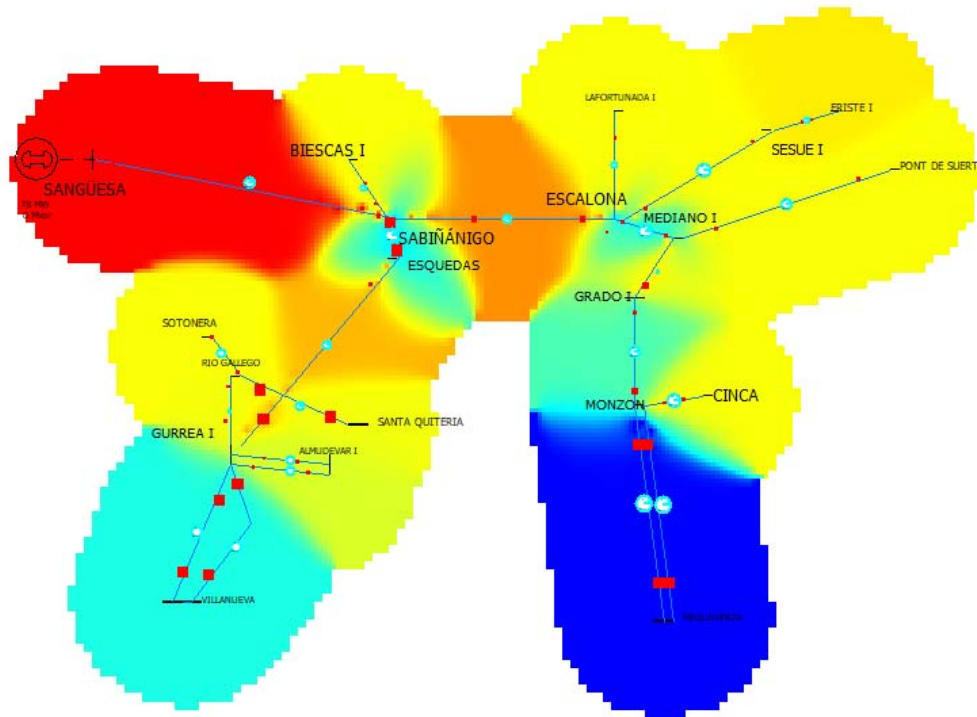


Figura 18. Caso a las 20 H. MVar/MVar Pérdidas.

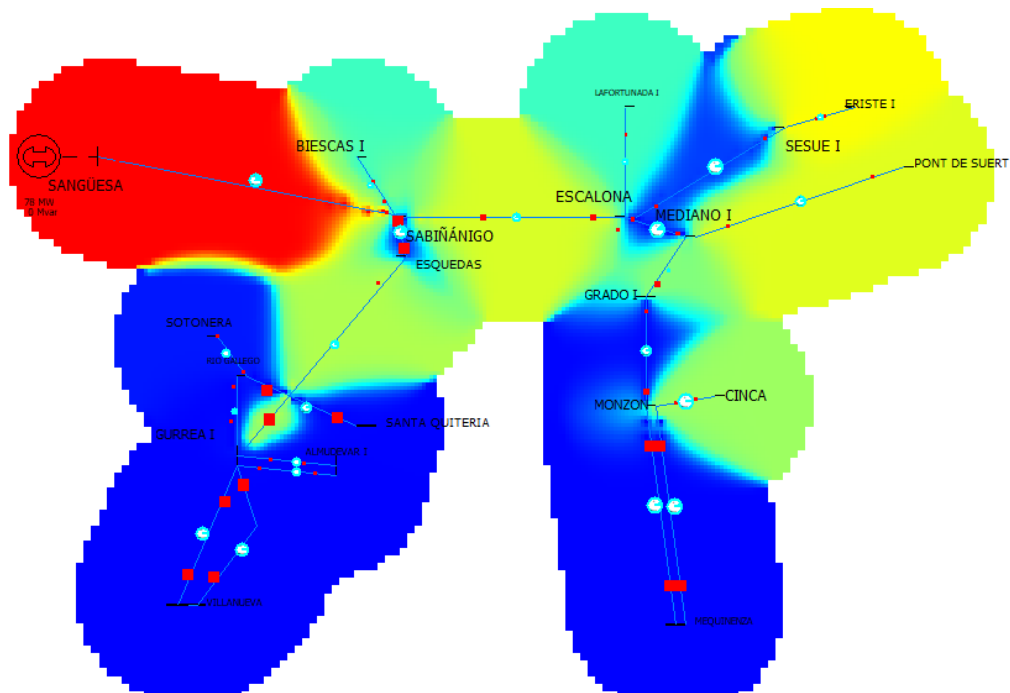


Figura 19. Caso a las 20 h según las pérdidas del sistema.

From Name	To Name	% of Limit Used
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	16
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	0,6
ERISTE I	SESUE I	3,3
ESCALONA	SESUE I	4,2
ESCALONA	LAFORTUNADA I	0,5
ESCALONA	MEDIANO I	7,5
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	16,1
MEDIANO I	GRADO I	5,7
GRADO I	MONZON	4,9
RIO GALLEGO	GURREA I	7,4
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
GURREA I	ESQUEDAS	15
MEDIANO I	PONT DE SUERT	2,7
MONZON	MEQUINENZA	4,2
MONZON	MEQUINENZA	4,2
MONZON	CINCA	3,7
SOTONERA	RIO GALLEGO	0
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	0
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	13,5

Tabla 18. Porcentaje de uso de la línea a las 20 h.

From Name	To Name	MW Loss	Mvar Loss
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	14,04	1,17
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	1,7	0
ERISTE I	SESUE I	8,15	0,2
ESCALONA	SESUE I	0,26	0,02
ESCALONA	LAFORTUNADA I	1,7	0
ESCALONA	MEDIANO I	0,03	-4,89
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	6,36	0,53
MEDIANO I	GRADO I	2,53	0,03
GRADO I	MONZON	0	-3,59
RIO GALLEGO	GURREA I	0	-0,09
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,84
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,84
GURREA I	ESQUEDAS	4,5	0,53
MEDIANO I	PONT DE SUERT	6,83	0
MONZON	MEQUINENZA	0	-9,68
MONZON	MEQUINENZA	0	-9,68
MONZON	CINCA	3,69	0
SOTONERA	RIO GALLEGO	0,1	0
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	0	-0,1
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	0,14	-6,15

Tabla 19. Pérdidas en las líneas en el caso a las 20 h.

CASO 22 H

Cuarto y último caso de los que se ha realizado el estudio. Vemos en la Tabla 21 como el porcentaje de uso de las líneas se reparte, y ninguna de ellas está en unos valores superiores al 25% respecto al límite de la carga. Los valores de las pérdidas que presentan las líneas se muestran en la Tabla 20.

From Name	To Name	MW Loss	Mvar Loss
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	14,52	2,66
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	1,71	0
ERISTE I	SESUE I	8,31	0,23
ESCALONA	SESUE I	0,27	0,02
ESCALONA	LAFORTUNADA I	1,73	0
ESCALONA	MEDIANO I	0,11	-4,6
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	6,58	1,25
MEDIANO I	GRADO I	2,63	0,17
GRADO I	MONZON	0,03	-3,53
RIO GALLEGO	GURREA I	0	-0,09
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,85
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,85
GURREA I	ESQUEDAS	4,48	0,36
MEDIANO I	PONT DE SUERT	7,03	0
MONZON	MEQUINENZA	0	-10,07
MONZON	MEQUINENZA	0	-10,07
MONZON	CINCA	3,83	0
SOTONERA	RIO GALLEGO	0,1	0
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	0,02	-0,09
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	0,09	-6,44

Tabla 20. Pérdidas en las líneas en el caso a las 22h.

From Name	To Name	% of Limit Used
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	23
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	0,6
ERISTE I	SESUE I	3,5
ESCALONA	SESUE I	4,4
ESCALONA	LAFORTUNADA I	0,5
ESCALONA	MEDIANO I	14,4
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	24

MEDIANO I	GRADO I	14
GRADO I	MONZON	13,4
RIO GALLEGO	GURREA I	12,9
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
GURREA I	ESQUEDAS	12,5
MEDIANO I	PONT DE SUERT	2,8
MONZON	MEQUINENZA	4,2
MONZON	MEQUINENZA	4,2
MONZON	CINCA	0,9
SOTONERA	RIO GALLEGO	0
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	13,4
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	11,1

Tabla 21. Porcentaje de uso de las líneas a las 22 H.

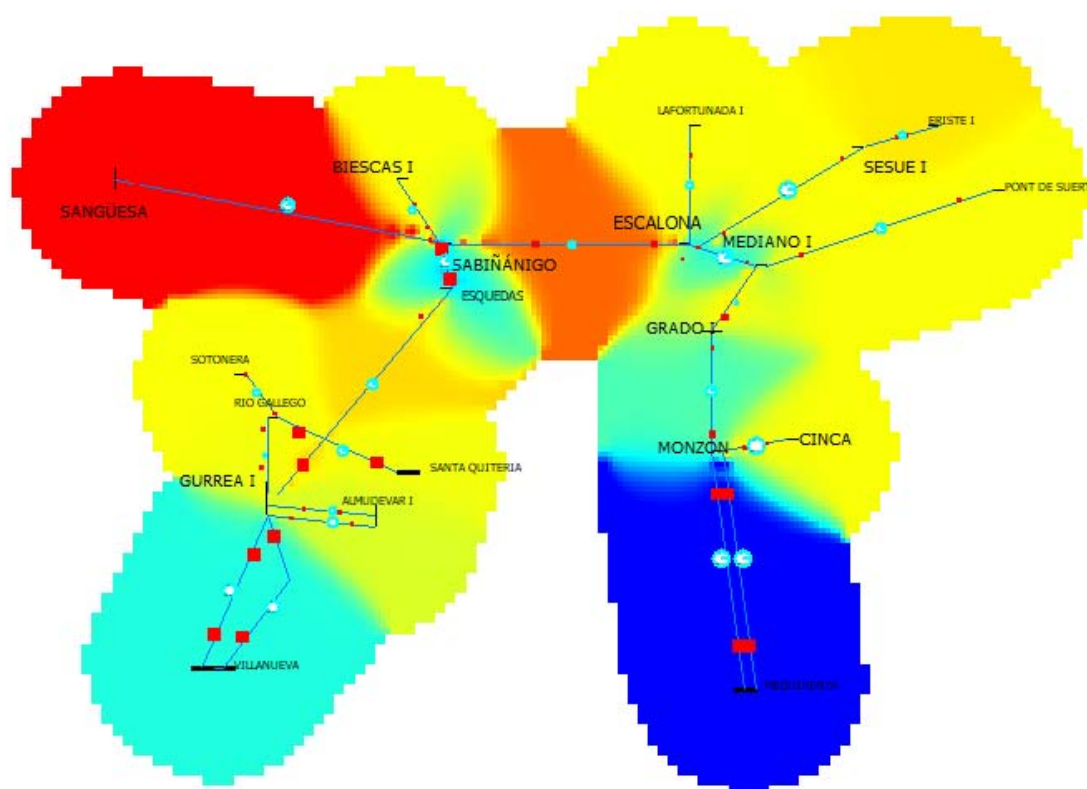


Figura 20. Pérdidas Mvar/Mvar a las 22 H.

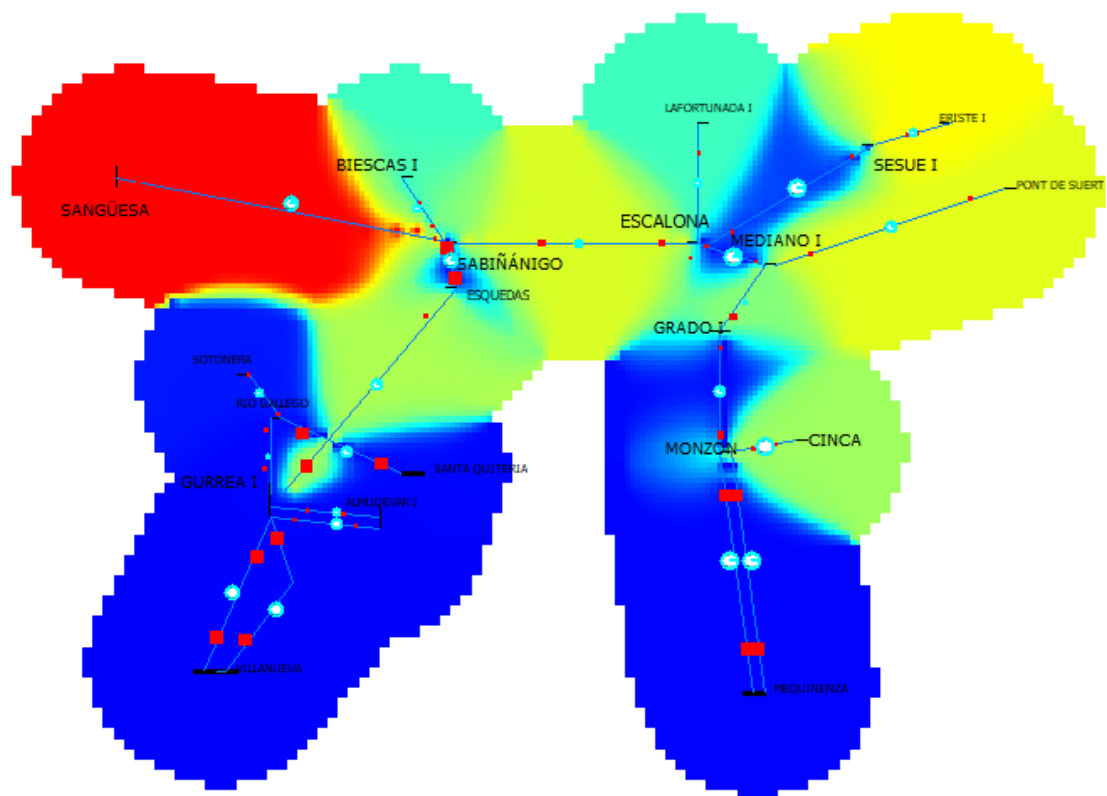


Figura 21. Pérdidas MW/MW a las 22 h.

6. AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN RENOVABLE

Como conclusión al trabajo en la parte de datos que podemos denominar reales, se ha diseñado un caso con aumento de producción en dos nudos del sistema, dos nudos generadores en los que se ha procedido a aumentar la producción con energía renovable de forma artificial, forzando los datos de generación en los nudos de Gurrea y Santa Quiteria.

De esta forma simulamos como se comportaría el sistema si en los parques eólicos de Tardienta I y II, y en Río Gallego, de los cuales en la primera parte del trabajo tenemos los datos reales de sus potencias instaladas en kW, se produjera la instalación de nuevos aerogeneradores o se cambiaran los actuales por otros con mayor potencia y capacidad de generación aprovechando los avances y cada vez aerogeneradores con mayor producción.

Esta idea podría ser posible en cuanto las últimas noticias de las subastas de instalación de parques ya comentan la construcción de un nuevo parque eólico en el término de Gurrea cercano al nudo de Río Gallego.

Para realizar esta simulación, se toman los datos reales a las 16 h, se elige este caso puesto que es uno en los que entran como generadores los nudos de 23243 (Río Gallego) y 23287 (Santa Quiteria).

En estos nudos de generación cambiamos de forma manual la introducción de la generación en cada uno, pasando de unos valores de 26 y 22 MW a unos valores, que tomamos de forma arbitraria de 75 MW.

From Name	To Name	MW Loss	Mvar Loss
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	13,78	0,29
ERISTE I	SESUE I	8,15	0,21
MEDIANO I	PONT DE SUERT	6,82	0
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	6,43	0,92
GURREA I	ESQUEDAS	5,22	4,39
MONZON	CINCA	3,68	0
MEDIANO I	GRADO I	2,53	0,09
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	1,7	0
ESCALONA	LAFORTUNADA I	1,69	0
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	1,24	-0,28
ESCALONA	SESUE I	0,26	0,02
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	0,18	-0,01
SOTONERA	RIO GALLEGO	0,1	0
ESCALONA	MEDIANO I	0,06	-4,69
RIO GALLEGO	GURREA I	0,02	0
GRADO I	MONZON	0,02	-3,5
MONZON	MEQUINENZA	0	-9,65
MONZON	MEQUINENZA	0	-9,65
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,84
GURREA I	VILLANUEVA	0	-4,84
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48
GURREA I	ALMUDEVAR I	0	-0,48

Tabla 22. Datos de las pérdidas de las líneas.

From Name	To Name	% of Limit Used
GURREA I	ESQUEDAS	41,8
ESQUEDAS	SABIÑÁNIGO	40,3
RIO GALLEGO	GURREA I	40,2
RIO GALLEGO	SANTA QUITERIA	37,2
SABIÑÁNIGO	ESCALONA	20,8
ESCALONA	MEDIANO I	11
MEDIANO I	GRADO I	10
GRADO I	MONZON	9,1
SANGÜESA	SABIÑÁNIGO	8,7
MONZON	MEQUINENZA	4,5
MONZON	MEQUINENZA	4,5
ESCALONA	SESUE I	4,2
ERISTE I	SESUE I	3,3
MONZON	CINCA	3

MEDIANO I	PONT DE SUERT	2,7
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
GURREA I	VILLANUEVA	1,9
BIESCAS I	SABIÑÁNIGO	0,6
ESCALONA	LAFORTUNADA I	0,5
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
GURREA I	ALMUDEVAR I	0,2
SOTONERA	RIO GALLEGO	0

Tabla 23. Datos de porcentaje de uso de las líneas.

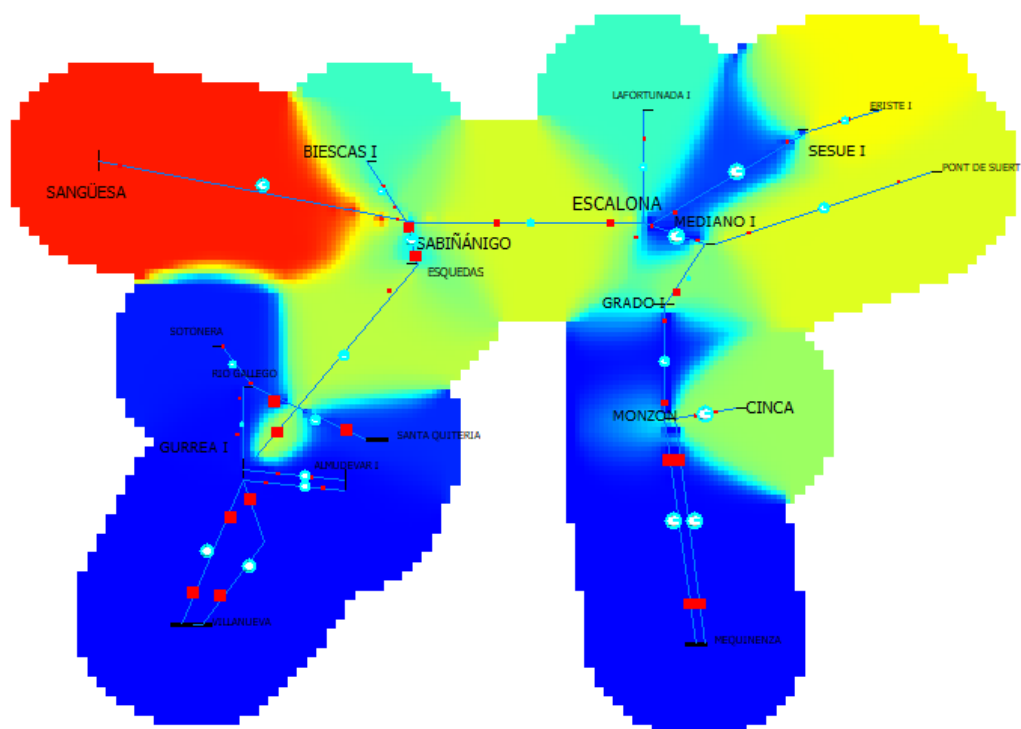


Figura 22. Con las pérdidas en MVar.

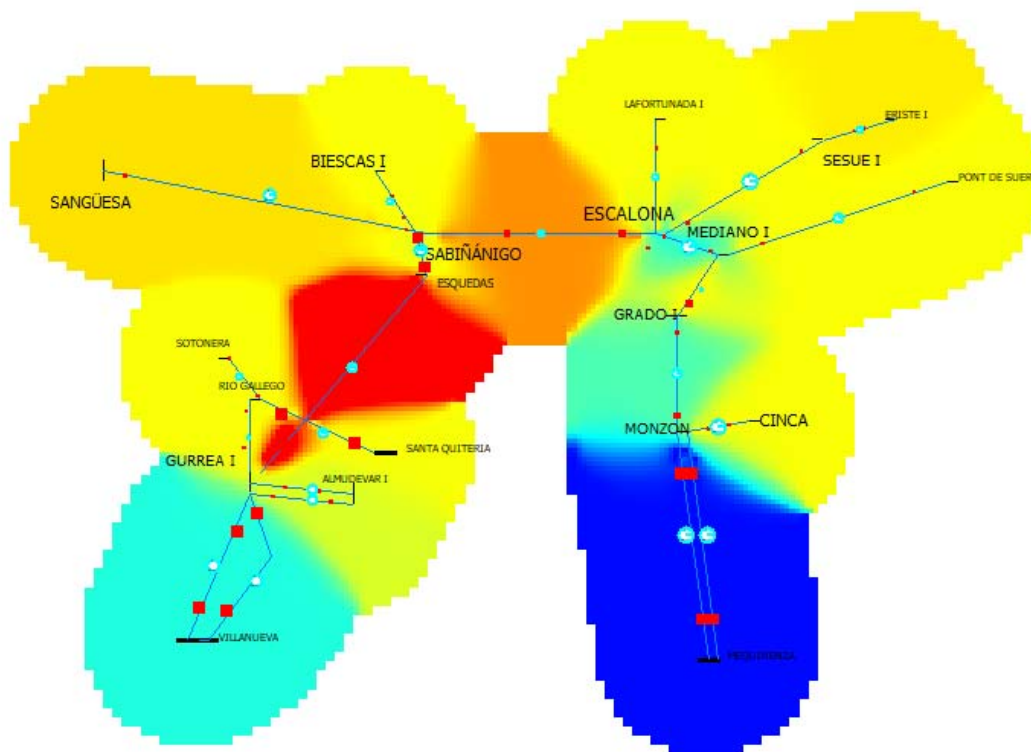


Figura 23. Con las pérdidas en MVar.

Vemos en la Tabla 23 como las líneas aumentan su porcentaje de uso respecto del porcentaje de capacidad. Aun así, permanecen en valores por debajo del 50 %. La línea de Gurrea a Esquedas pasa a tener un porcentaje de uso del 41 %. Las líneas que unen los nudos generadores como son: río Gallego con Gurrea y Santa Quiteria con Río Gallego se sitúan en valores del 40% de su capacidad.

7.CONCLUSIONES

Del trabajo podemos obtener diversas conclusiones, la primera de ellas es la utilidad de la herramienta PowerWorld como motor de desarrollo de simulación en cuanto a las redes de transporte de energía eléctrica existentes, así como de los generadores y pérdidas en las distintas líneas del sistema.

También las diferentes mejoras que puede contener el trabajo, y que incluso para posteriores trabajos finales de grado podrían existir de haber tenido la posibilidad de acceder a datos más actuales y a muchas más fechas del año por parte de la compañía Red Eléctrica Española.

Otro posible enfoque hacia donde sería posible encaminar el trabajo es la parte de valoración con un mayor peso de la parte económica en cuanto al tipo de energías que entran en juego, el desarrollo de los nuevos proyectos de las energías renovables.

Además de ampliar el trabajo podría corresponder con el área de los días del año que se estudian. De este modo sería posible la valoración de cómo se comporta el sistema no solo en un día, sino según las diferencias climatológicas y de estacionalidad que presenta el sistema a lo largo de un año, según se disponga de días ricos en cantidad de viento, o épocas de sequía donde en la zona norte, con la producción hidroeléctrica tenemos que depender del agua disponible embalsada.

Si nos centramos en el caso estudiado en PowerWorld, con sus particularidades y simplificaciones utilizadas a través de los datos de Red Eléctrica Española lo podemos considerar obsoleto debido a las últimas noticias de desarrollo de parques eólicos en la comunidad autónoma de Aragón y que data del año 2012.

Durante los últimos años se han producido mejoras en las líneas lo que seguramente ha modificado los datos en resistencias, reactancias de las mismas. En el mapa de REE, vemos la existencia de una línea de 132 kV que une los buses de La Ralla con Monzón. Que no aparece en los ficheros de los que disponemos.

En cuanto a los casos de simulaciones podemos observar los diferentes valores que presentan las pérdidas en el sistema en las distintas líneas, como las mismas varían según las horas de las cargas del día.

Por ejemplo, tenemos varias líneas con unas pérdidas y un porcentaje de uso respecto al valor de su capacidad límite en MVA bastante pequeñas.

Esto viene propiciado por dos motivos que, en principio, lo que podemos dividir en dos tipos de líneas o uniones entre nudos del sistema. La primera de ellas son líneas muy cortas en cuanto a su longitud física y que, en esa hora de simulación, de la que se han recogido los datos no hay casi energía eléctrica transcurriendo por las mismas.

El segundo tipo de estas líneas, donde las pérdidas son pequeñas, así como su porcentaje de uso sobre el límite de la capacidad, son aquellas que están duplicadas, son dobles, lo que anteriormente hemos denominado de forma coloquial como líneas “gemelas”.

Los casos de Gurrea-Villanueva, una unión doble en la que se reparte la energía entre las dos líneas propiciando que las pérdidas sean menores y el porcentaje de uso sea mínimo. Este caso se repite para la unión entre el nudo de Monzón y Mequinenza.

Otra de las conclusiones es la poca variación que ocurre a lo largo de un día de estudio en cuanto a los nudos que entran en generación, en nuestro caso solamente disponemos de cuatro de ellos como generadores. Y dos de ellos entran en funcionamiento de manera alternativa cuando el otro está desconectado, es el caso de Santa Quiteria y Gurrea.

Dos nudos asociados a la producción de energía eólica fácil de desconectar de la red, puesto que no tiene inercia como pueden ser otro tipo de energías como la nuclear o centrales de ciclo combinado o biomasa.

De todos los nudos que presenta el sistema de estudio, el nudo de Sabinánigo se presenta como el principal del sistema de estudio al producirse en la unión de las principales líneas, la conexión con Sangüesa, y Escalona en la zona norte, así como la salida hacia Huesca con la conexión con Gurrea.

En la última parte del trabajo con el aumento de la producción de en dos nudos generadores debido a la energía eléctrica hemos visto como las líneas se comportan, y están altamente capacitadas para un aumento de la producción en los parques eólicos que se instalen en el futuro.

Otra posibilidad de aumento de la producción de energía eléctrica sería la instalación de huertos solares en distintos puntos del sistema, que estarían asociados a diferentes nudos en los que habría que aumentar su producción y pasar a que actuaran como generadores.

Atendiendo a los nudos cercanos a parques eólicos vemos como durante un mismo día varían muy poco en cuanto a los valores de generación. Es el caso de Rio Gallego, por ejemplo, los valores de generación son en Potencia Activa de: 26 MW, 26MW, 23 MW y 19 MW.

Esto nos demuestra que, si durante un día tenemos la misma cantidad de viento dentro de unas pequeñas variaciones, datos que previamente conocemos, los valores de generación con lo que puede contar el sistema son casi constantes a lo largo de un mismo día.

Por tanto, como conclusiones finales, las líneas, nudos y el sistema estudiado en la zona del alto Aragón podemos considerar que se encuentra preparado en su configuración y tecnología para que en los próximos años se produzcan nuevas instalaciones generadoras de energía eléctrica de forma renovable, tanto en parques eólicos, en dos variables, nuevas instalaciones o mejoras de las existentes o en plantas solares fotovoltaicas.

Todo esto quedará determinado no solo por cuestiones técnicas, sino también sociales y económicas que como ya hemos visto en la primera parte del trabajo son las que determinan la configuración final de la red.

8.BIBLIOGRAFÍA.

Estudio del efecto de aumentar la penetración de generación renovable en la red de transporte. Maria Pilar Pérez Puyod 2017. Trabajo Final de Grado.EINA.

Archivos Red Eléctrica Española.

Estudio del aumento de la penetración de generación eólica y su efecto en la red de transporte. Manuel Puértolas García. 2015. Trabajo Final de Grado. EINA.

<https://www.powerworld.com/files/M07Time-Step-Simulation.pdf>

Instituto Aragonés de Estadística

www.aragon.es/.../GobiernoAragon/.../InstitutoAragonesEstadistica/.../04040206.XLS

<http://www.europapress.es/aragon/noticia-aragon-tendra-20-nuevos-parques-eolicos-20180222094238.html>

Centrales de Generación Península Ibérica-Proyecto Liferewind.









9. ANEXOS.



Anexo 1. Zona norte del estudio. Mapa propiedad de Red Eléctrica Española.



Anexo2. Zona sur del estudio. Mapa propiedad de Red Eléctrica Española.

Lineas - Linhas	Circuitos - Circuitos		Tensiones - Tensões	
	Previstos Previstos	Instalados Instalados		
En servicio - Em exploração	1	1		400 kV
	2	1		220 kV
	2	2		150 + 220 kV
				60 + 110 kV
En construcción y programadas Em construção ou programadas	1	1		
	2	1		
	2	2		
En transformación - Em transformação				
Cable subterráneo/submarino Cabo subterráneo/submarino				
En servicio - Em exploração	1	1		
	2	2		
En construcción y programadas Em construção ou programadas	1	1		
	2	2		

Todas las líneas se han dibujado en el color al que funcionan.
(En las construidas a tensión distinta esta se indica entre paréntesis (p. 400 kV)).

Las líneas de menos de 100 kV del sistema español corresponden a la información facilitada por las empresas distribuidoras.

















Algunos elementos se representan simplificados para facilitar su lectura.

Todas las líneas serán descritas en su respectiva sección de funcionamiento.

Reservas, construidas para tensiones diferentes, esta se indica entre paréntesis (p. 400 kV).

El trazado de las líneas e subestaciones de tensión inferior a 100 kV sólo indicados por las empresas de distribución.

Algunos elementos podrán estar representados de forma simplificada para facilitar a su respectiva legibilidad e interpretación.

Centrales - Centrais	En servicio Em exploração		En construcción o programado Em construção ou programadas
Hidráulicas - Hidráulicas			
Térmica nuclear - Térmica nuclear			
Térmica clásica - Térmica clássica			
Eólica - Eólica			
Ciclo combinado - Ciclo combinado			
Fotovoltaica - Fotovoltaica			
Termosolar - Termosolar			
Hidroeléctrica - Hydro-vento			

Anexo 4. Leyenda del mapa de Red Eléctrica Española.