

Capítulo 8

Pruebas y resultados

En este capítulo, se evaluará en principio el correcto funcionamiento del programa RECOENERGY ensayando unas tipologías de parques sencillas y/o preparadas de las cuales se conocen a priori los resultados. En segundo lugar, sabiendo del correcto funcionamiento de la herramienta, se ensayarán redes más complejas y tipologías de parques ya existentes, evaluando de la forma más realista posible los beneficios de las redes malladas.

8.1.- Caso 1

El primero de los ensayos a realizar, consiste en un parque eólico formado por tres aerogeneradores conectados de acuerdo con la figura 8.1:

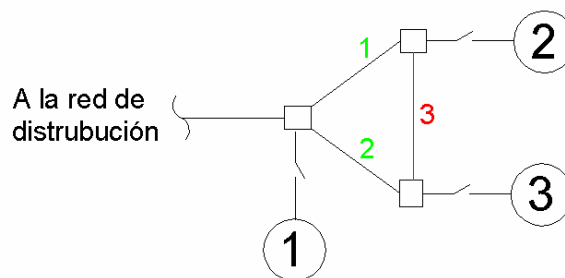


Figura 8.1

Donde las líneas de color rojo representan las líneas auxiliares, normalmente abiertas, de reconexión.

Centrándonos solo en los fallos de líneas y bajo la hipótesis de que no se producen más de un fallo simultáneamente. De un simple vistazo a la red de este ensayo, observamos que en todo momento podemos evacuar la potencia producida por los aerogeneradores, pues bien sea por una línea de la red normal o una línea auxiliar de reconexión, las máquinas siempre están conectadas con el nudo de evacuación.

Necesitamos conocer la producción anual de este parque en el supuesto de que no hubiese ningún fallo de línea. Se ejecuta el script “ftonormal” con lo que obtenemos la energía producida, la producción anual asciende a:

- 19213 MWh.

A continuación se proporciona al programa RECOENERGY los datos mediante la hoja Excel, especial atención en rellenar los tiempos de reparación y reconexión. Se obliga así a tener en cuenta los posibles fallos en las líneas de la red. Se ejecuta el programa RECOENERGY. Es de esperar que la energía producida sea igual en ambos casos. La energía producida en este caso es de:

- 1.921312e+007 kWh

Efectivamente los valores obtenidos son los mismos para ambos casos. La configuración mallada permite en todo momento evacuar la energía producida hacia la red de distribución.

8.2.- Caso 2

Siguiendo la línea del ensayo anterior, probamos la siguiente red (Figura 8.2). Dicha configuración ofrece la posibilidad reconectar cualquier aerogenerador que se quede fuera por un fallo en la línea que los conecta.

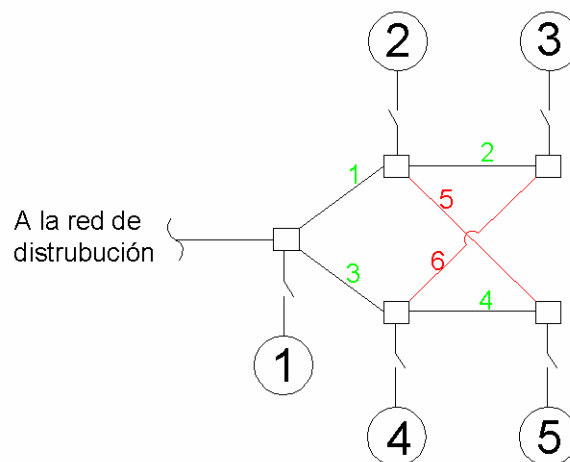


Figura 8.2

Al igual que antes las líneas de color rojo representan las líneas auxiliares de reconexión, normalmente abiertas.

Bajo el supuesto de que no tiene lugar ningún fallo en la red; la producción anual del parque representado por la figura anterior asciende a:

- 3.20096e+007 kWh

Al ejecutar el programa RECOENERGY es de esperar, al igual que en el caso anterior, que el valor arrojado por el programa coincida con la producción anual sin fallos. La energía evacuada a la red, según RECOENERGY es de:

- 3.20096e+007 kWh.

Los valores en ambos casos coinciden, probando el correcto funcionamiento del programa.

8.3.- Caso 3

La red del ensayo a continuación está compuesta por 16 aerogeneradores (Figura 8.3). La red normal de explotación que interconecta las maquinas la conforman 15 líneas, existiendo 4 líneas auxiliares de reconexión (de color rojo). En la figura siguiente se muestra la disposición de seccionadores en las líneas.

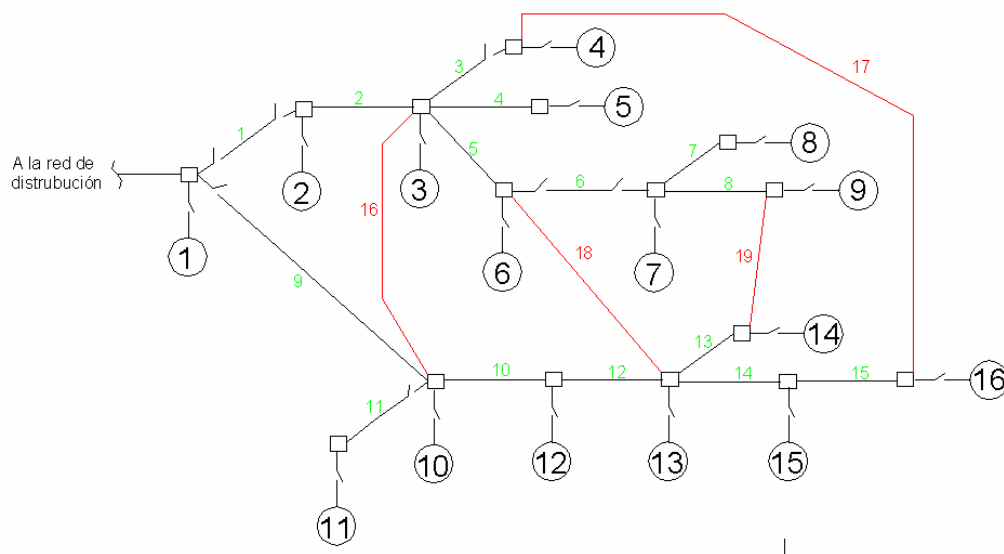


Figura 8.3

Se reflejan adecuadamente todos los parámetros de esta red en el Excel de entrada de datos, y se ejecuta RECOENERGY. El informe de resultados arrojados por el programa se puede consultar en los anexos al presente documento.

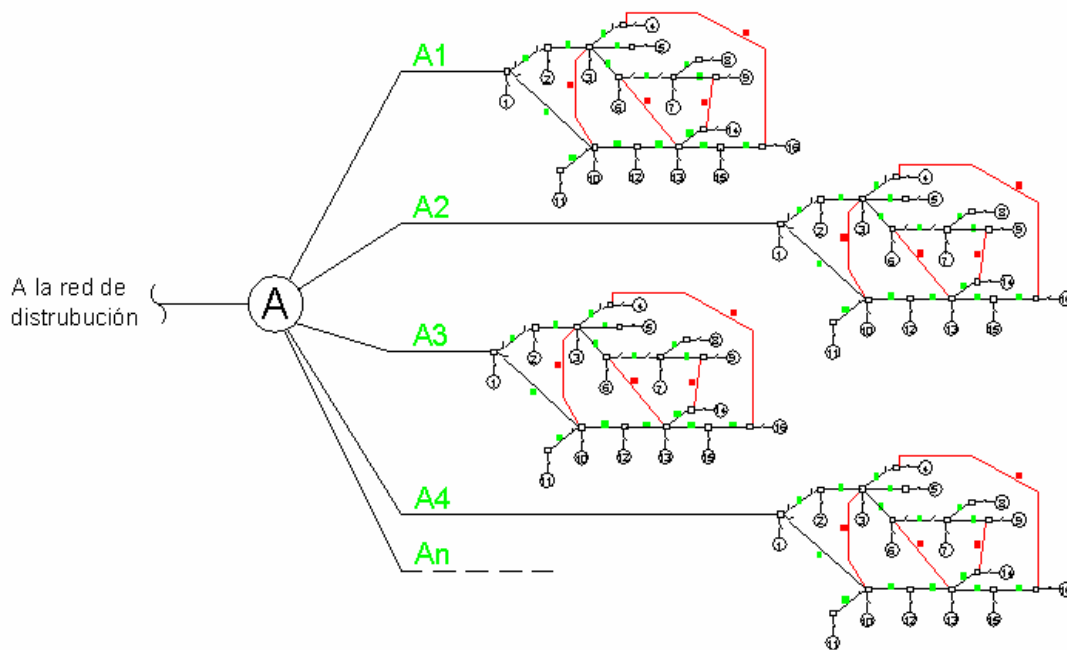
Los principales datos obtenidos del ensayo de la red son:

- La energía anual producida por el parque operando en condiciones normales es:
 - Energía en funcionamiento normal = $9.979874e+007$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento normal = $4.708432e+005$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo es:
 - Energía en funcionamiento con fallo = $2.706957e+006$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo = $1.195590e+004$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo, con la reconexión de bolsas de potencia es:
 - Energía en funcionamiento con fallo y reconexión = $3.096716e+006$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo y reconexión = $1.493789e+004$ kWh.
- La producción anual del parque sin líneas de reserva es de $1.025057e+008$ kWh.
- La producción anual del parque con configuración mallada (con líneas de reserva) es de $1.028955e+008$ kWh.

8.4.- Caso 4

Si suponemos la red anterior como parte de una red mayor, podemos sustituir la parte estudiada como una caja negra de la que se conocen todos los datos anteriores.

Siguiendo el razonamiento anterior, podríamos conectar n redes como la estudiada y los resultados de la red resultante serían n veces los obtenidos individualmente.


Figura 8.4

Incluimos en esta nueva red, el nudo **A**, donde conectan las sub-redes. Observando esta nueva configuración es fácil ver que el resultado no va a ser el esperado, pues estamos incluyendo un nuevo nudo en la red y **An** líneas que conectan con él. Por tanto estamos interfiriendo en la linealidad buscada en los resultados.

Atendiendo a la definición de tiempo de normal funcionamiento, como el periodo de tiempo en el cual no se producen fallos. Este valor se ve reducido en esta nueva configuración pues la probabilidad de que se de una fallo en la red es mayor, más fallos implica menor tiempo en funcionamiento normal de explotación. Analizando las sub-redes como independientes vemos que el fallo de un elemento en una de ellas, no implica la salida de producción del resto de sub-redes, con lo cual estas operan de forma normal. Esto es debido a la hipótesis de funcionamiento de RECOENERGY de fallos no simultaneos.

Para probar la linealidad de los resultados el siguiente ensayo partirá con las siguientes hipótesis:

El nudo de conexión de la redes (nudo A) no tendrá producción.

Las líneas de conexión se suponen ideales, es decir no contribuirán a las pérdidas y tampoco tendrán fallos.

La red a estudiar con RECOENERGY será la siguiente, donde n será igual a tres (3):

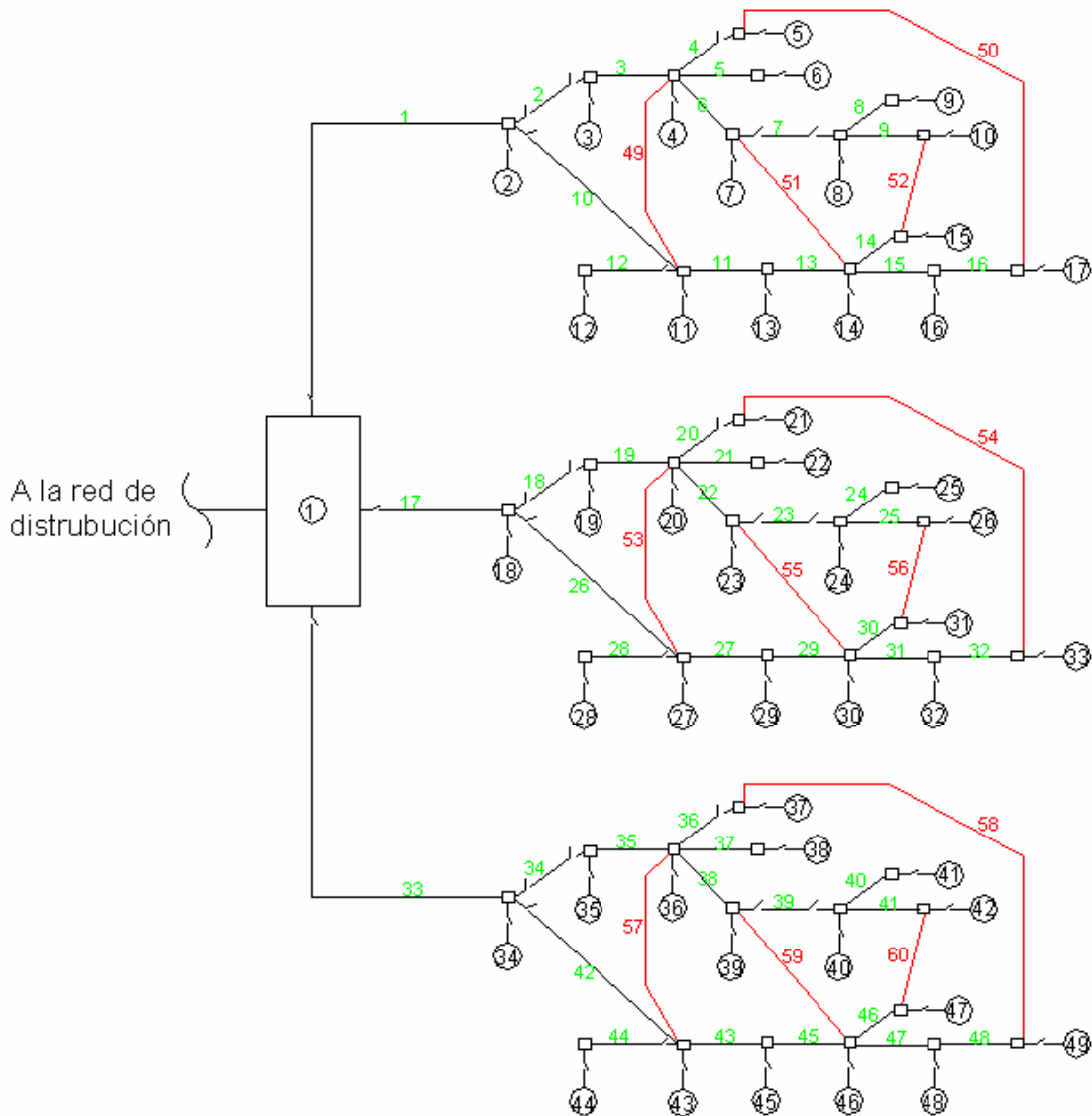


Figura 8.5

Introducimos los datos adecuadamente y ejecutamos el programa. El informe de resultados que genera el programa se puede consultar en los anexos del documento. A continuación se muestran los principales datos obtenidos del ensayo de la red.

- La energía anual producida por el parque operando en condiciones normales es:
 - Energía en funcionamiento normal = 2.805571e+008 kWh
 - Pérdidas en funcionamiento normal = 1.323648e+006 kWh

- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo es:
 - Energía en funcionamiento con fallo = $2.696005e+007$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo = $1.247496e+005$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo, con la reconexión de bolsas de potencia es:
 - Energía en funcionamiento con fallo y reconexión = $2.735242e+007$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo y reconexión = $1.290389e+005$ kWh
- La producción anual del parque sin líneas de reserva es de $3.075171e+008$ kWh
- La producción anual del parque con configuración mallada (con líneas de reserva) es de $3.079095e+008$ kWh.

Los resultados obtenidos son los esperados, el triple de los obtenidos para la red original. La linealidad probada confirma el correcto funcionamiento del programa, sin embargo la funcionalidad en el campo real esta sujeta a las hipótesis realizadas.

La hipótesis de no producción en el nudo de conexión es factible, pues podemos considerar este nudo como la subestación que conecta varios parques.

La hipótesis de líneas ideales, es más difícil de cumplir y en un parque real sumaran perdidas de energía.

La orografía dispar del terreno juega en contra de la linealidad, pues la matriz de correlación que proporciona el viento en cada nudo, nos dará valores diferentes de velocidades de viento para sub-redes iguales. Además la accesibilidad de una u otra sub-red influye en el desembolso inicial de construcción arrojando valores dispares de rentabilidad.

8.5.- Caso 5

La red que se estudia en el caso a continuación, corresponde a un parque eólico de 14 MW, situado en el término municipal de Vejer de la Frontera, al suroeste de la provincia de Cádiz. El parque eólico esta compuesto por 7 aerogeneradores de 2 MW, modelo Gamesa G87. La curva velocidad viento - potencia de esta maquina se muestra a continuación.

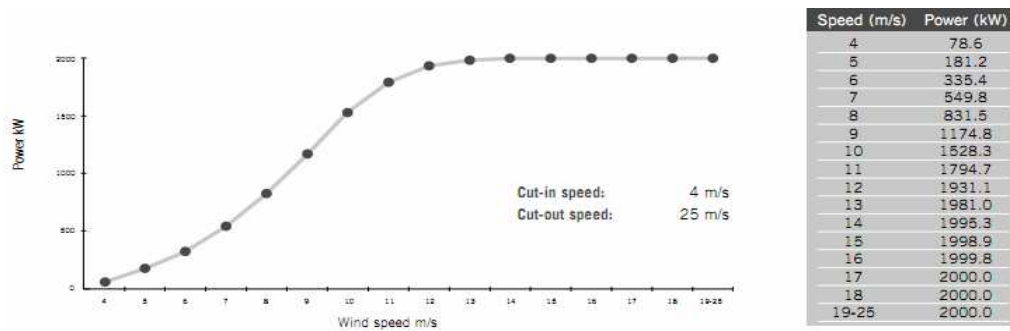


Figura 8.6: Curva de Potencia Gamesa G87. Fuente: Gamesa

Los parámetros de la distribución de Weibull para la evaluación del recurso eólico en el emplazamiento del parque (altura de referencia 10 m) son $K= 1.48$ para el parámetro de forma y $C=7.7$ m/s para el factor de escala.

El esquema de conexión de los aerogeneradores se corresponde con la figura 8.7:

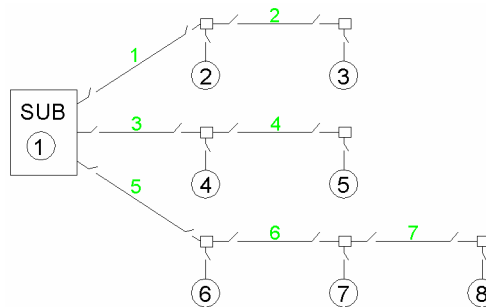


Figura 8.7

La longitud de las líneas de la red de media tensión son:

| Línea Nº. | Longitud (km) |
|-----------|---------------|
| 1 | 1,314 |
| 2 | 0,417 |
| 3 | 0,361 |
| 4 | 0,28 |
| 5 | 0,303 |
| 6 | 0,334 |
| 7 | 0,495 |

Cuadro 8.1

Las celdas de media tensión, situadas en la base de cada aerogenerador, tanto la celda de remonte, como la de salida constan de seccionadores. Lo cual nos dejan una configuración de líneas tipo 4.

Para la evaluación de los beneficios, se tendrá en cuenta un precio medio del kWh de acuerdo con dictado por la CNE (Comisión Nacional de la Energía) para la participación de las eólicas en el mercado de ofertas, en el último año. El precio medio para la participación de las eólicas en el mercado de ofertas asciende a 7,778 cent€/kWh. Se estima una tasa de incremento anual en el precio de la energía del 1%.

Se ha supuesto una tasa de fallo anual para las líneas de 0,2 fallos por kilómetro, igual para todas las líneas de la red normal de explotación. Se estima un tiempo medio de reposición de 3 horas y un tiempo medio de reparación de 48 horas, para cada una de las líneas de la red normal de explotación.

La configuración mallada que se plantea para la red en estudio, se muestra en la siguiente figura (Figura 8.8). Se ha añadido dos líneas nuevas de reconexión, la línea 8, conectando los aerogeneradores 3 y 5, y la línea 9 que conecta las maquinas 5 y 8.

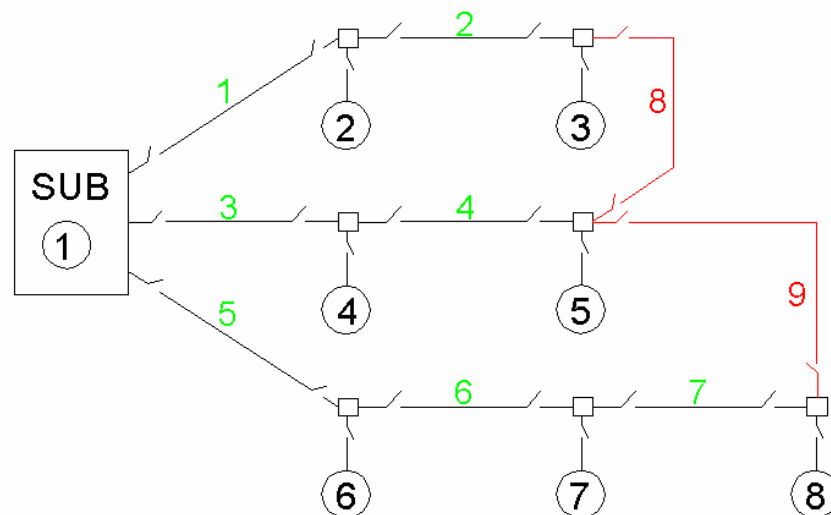


Figura 8.8

Todos los datos de partida, así como el informe de resultados se pueden consultar en los anexos al presente documento.

Una vez introducidos los datos de partida, se ejecuta el programa RECOENERGY. La aplicación arroja los resultados que a continuación se presentan:

- La energía anual producida por el parque operando en condiciones normales y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es:

- Energía en funcionamiento normal = 5.370647e+007 kWh

- Pérdidas en funcionamiento normal = $1.389103e+005$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es:
 - Energía en funcionamiento con fallo = $5.238852e+005$ kWh
 - Pérdidas en funcionamiento con fallo = $1.220587e+003$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo, y explotando la configuración mallada, que permite la reconexión de bolsas de potencia es:
 - Energía en funcionamiento con fallo y reconexión = $5.789284e+005$ kWh
 - Pérdidas en funcionamiento con fallo y reconexión = $1.634913e+003$ kWh
- Se logran reconectar un total de $5.504322e+004$ kWh, evitando la emisión a la atmósfera de aproximadamente $3.577810e+004$ kg de CO₂.
- La producción anual del parque sin líneas de reserva es de $5.423036e+007$ kWh. Con una rentabilidad de $4.218037e+006$ Euros.
- La producción anual del parque con configuración mallada (con líneas de reserva) es de $5.428540e+007$ kWh. Con una rentabilidad de $4.222319e+006$ Euros.
- El beneficio económico que proporciona la configuración mallada asciende a $4.281262e+003$ Euros.
- La inversión inicial para la instalación de las líneas y aparellaje necesario para la instalación de las líneas de reserva, necesarias en la configuración mallada del parque es de $5.192884e+004$ Euros.
- La reconexión de bolsas de potencia, implica la evacuación de la potencia reconectada por circuitos que en la red radial original no fueron diseñados para transportar esta potencia extra. La inversión necesaria requerida para el aumento de sección de estos circuitos asciende a $9.010350e+003$ Euros.
- La inversión total necesaria para implantar la red mallada en el parque es $6.093919e+004$ Euros.
- El Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de caja originados por esta inversión, para el periodo de retorno de la inversión (Pay-Back) del proyecto inicial, sin configuración mallada, es $-2.799141e+004$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El VAN de los flujos de caja originados por esta inversión para el periodo de vida útil del parque es de $-7.897352e+003$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener $VAN=0$ en el periodo de retorno de la inversión del proyecto inicial, es de 14.386 centEuros/kWh.
- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener $VAN=0$ en el periodo de vida útil del parque es de 8.936 centEuros/kWh
- Al precio de la energía actual se necesitarían 26 años para que empezara a ser rentable la inversión en la configuración mallada del parque.

8.6.- Caso 6

La red en el siguiente caso de estudio, corresponde a un parque eólico con una potencia instalada de 21,5 MW, situado en la provincia de Ávila. El parque esta constituido por 25 aerogeneradores, 20 Gamesa G-52 y 5 Gamesa G-58, todos de 850 kW de potencia nominal y 55 m de altura del buje.

Los parámetros de la distribución de Weibull para la evaluación del recurso eólico en el emplazamiento del parque (altura de referencia 10 m) son $K= 1,87$ para el parámetro de forma y $C=8,9$ m/s para el factor de escala.

El esquema de conexión de los aerogeneradores se corresponde con la figura 8.9:

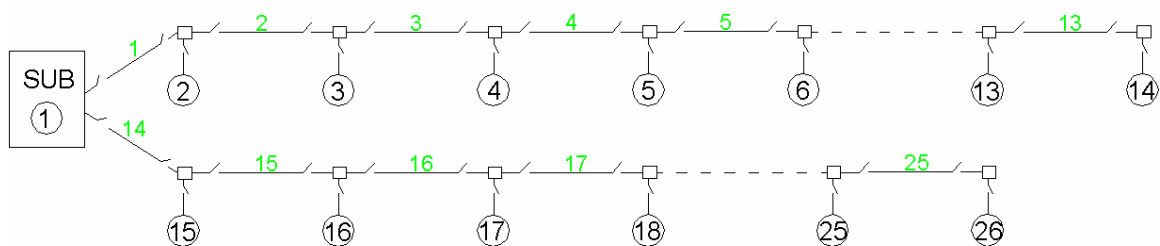


Figura 8.9

La longitud de las líneas de la red de media tensión son:

| Línea Nº. | Longitud (km) | Línea Nº. | Longitud (km) |
|-----------|---------------|-----------|---------------|
| 1 | 2,404 | 14 | 0,133 |
| 2 | 0,143 | 15 | 0,326 |
| 3 | 0,146 | 16 | 0,151 |
| 4 | 0,194 | 17 | 0,158 |
| 5 | 0,150 | 18 | 0,161 |
| 6 | 0,162 | 19 | 0,248 |
| 7 | 0,149 | 20 | 0,839 |
| 8 | 0,149 | 21 | 0,165 |
| 9 | 0,314 | 22 | 0,488 |
| 10 | 0,314 | 23 | 0,149 |
| 11 | 0,147 | 24 | 0,163 |
| 12 | 0,196 | 25 | 0,159 |
| 13 | 0,153 | | |

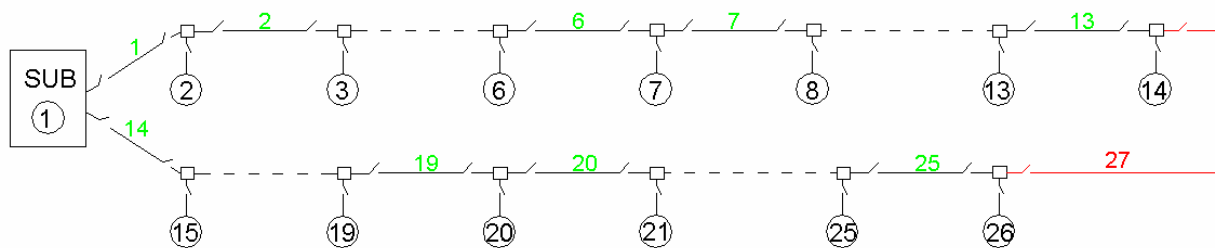
Cuadro 8.2

Las celdas de media tensión, situadas en la base de cada aerogenerador, tanto la celda de remonte, como la de salida constan de seccionadores. Lo cual nos dejan una configuración de líneas tipo 4.

Para la evaluación de los beneficios, se tendrá en cuenta un precio medio del kWh de acuerdo con dictado por la CNE (Comisión Nacional de la Energía) para la participación de las eólicas en el mercado de ofertas, en el último año. El precio medio para la participación de las eólicas en el mercado de ofertas asciende a 7,778 cent€/kWh. Se estima una tasa de incremento anual en el precio de la energía del 1%.

Se ha supuesto una tasa de fallo anual para las líneas de 0,2 fallos por kilómetro, igual para todas las líneas de la red normal de explotación. Se estima un tiempo medio de reposición de 3 horas y un tiempo medio de reparación de 48 horas, para cada una de las líneas de la red normal de explotación.

La configuración mallada que se plantea para la red en estudio, se muestra en la siguiente figura (Figura 8.10). Se ha añadido dos líneas nuevas de reconexión, la línea 26 que conecta las maquinas 14 y 26.


Figura 8.10

Todos los datos de partida, así como el informe de resultados se pueden consultar en los anexos a presente documento.

Una vez introducidos los datos de partida adecuadamente, se ejecuta el programa RECOENERGY. La aplicación arroja los resultados que a continuación se presentan:

- La energía anual producida por el parque operando en condiciones normales y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es:
 - Energía en funcionamiento normal = $9.063582e+007$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento normal = $6.411779e+005$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es::
 - Energía en funcionamiento con fallo = $3.039142e+006$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo = $2.008756e+004$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo, y explotando la configuración mallada, que permite la reconexión de bolsas de potencia es:
 - Energía en funcionamiento con fallo y reconexión = $3.315857e+006$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo y reconexión = $3.146160e+004$ kWh
- Se logran reconectar un total de $2.767141e+005$ kWh, evitando la emisión a la atmósfera de aproximadamente $1.798642e+005$ kg de CO_2 .
- La producción anual del parque sin líneas de reserva es de $9.367496e+007$ kWh. Con una rentabilidad de $7.286038e+006$ Euros.
- La producción anual del parque con configuración mallada (con líneas de reserva) es de $9.395167e+007$ kWh. Con una rentabilidad de $7.307561e+006$ Euros.

- El beneficio económico que proporciona la configuración mallada asciende a $2.152282e+004$ Euros.
- La inversión inicial para la instalación de las líneas y aparellaje necesario para la instalación de las líneas de reserva, necesarias en la configuración mallada del parque es de $8.901520e+004$ Euros.
- La reconexión de bolsas de potencia, implica la evacuación de la potencia reconectada por circuitos que en la red radial original no fueron diseñados para transportar esta potencia extra. La inversión necesaria requerida para el aumento de sección de estos circuitos asciende a $2.629153e+004$ Euros.
- La inversión total necesaria para implantar la red mallada en el parque es $1.1530673 e+004$ Euros.
- El Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de caja originados por esta inversión, para el periodo de retorno de la inversión (Pay-Back) del proyecto inicial, sin configuración mallada, es $5.032887e+004$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El VAN de los flujos de caja originados por esta inversión para el periodo de vida útil del parque es de $1.513460e+005$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener $VAN=0$ en el periodo de retorno de la inversión del proyecto inicial, es de 5.415 centEuros/kWh.
- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener $VAN=0$ en el periodo de vida útil del parque es de 3.363 centEuros/kWh
- Al precio de la energía actual se necesitarían 7 años para que empezara a ser rentable la inversión en la configuración mallada del parque.

8.7.- Caso 7

El parque eólico que a continuación se estudia, está emplazado en el término municipal de Lubian, provincia de Zamora. El parque tiene una potencia instalada de

37,55 MW, consta de 46 aerogeneradores de tres tecnologías diferentes de Gamesa: 18 máquinas G47, que pueden generar hasta 700 kW, 27 aerogeneradores G58 que dan hasta 850 kW y 1 máquina G80 de 2 MW.

La curva velocidad viento - potencia de las distintas maquinas, para una densidad del aire de 1,225 kg/m³, se muestran a continuación.

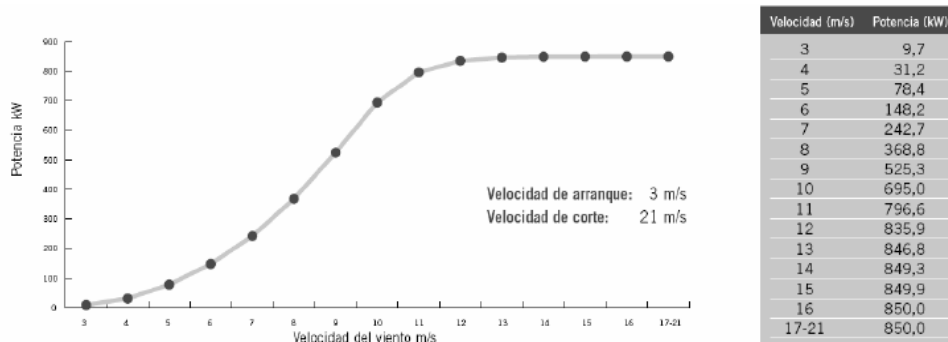


Figura 8.11: Curva de Potencia Gamesa G58. Fuente: Gamesa

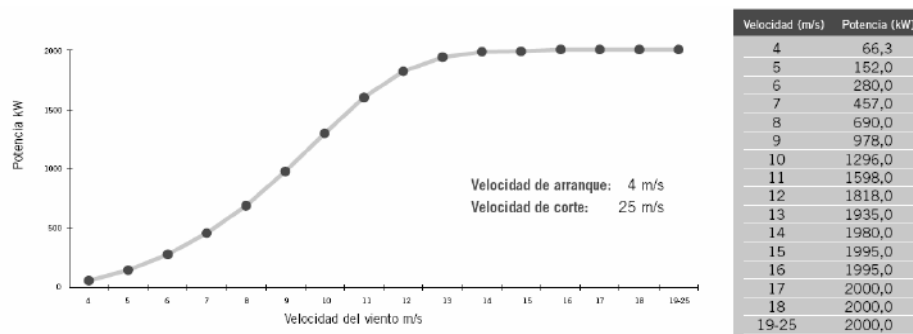


Figura 8.12: Curva de Potencia Gamesa G80. Fuente: Gamesa

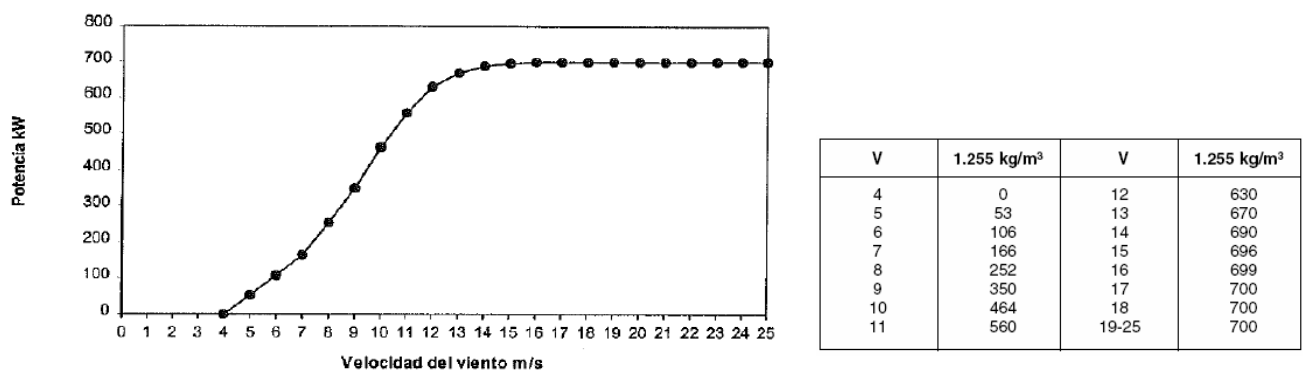


Figura 8.13: Curva de Potencia Gamesa G47. Fuente: Gamesa

Los parámetros de la distribución de Weibull para la evaluación del recurso eólico en el emplazamiento del parque son $K= 2,1$ para el parámetro de forma y $C=9.7$ m/s para el factor de escala.

El esquema de conexión de los aerogeneradores se corresponde con la siguiente figura (Figura 8.14):

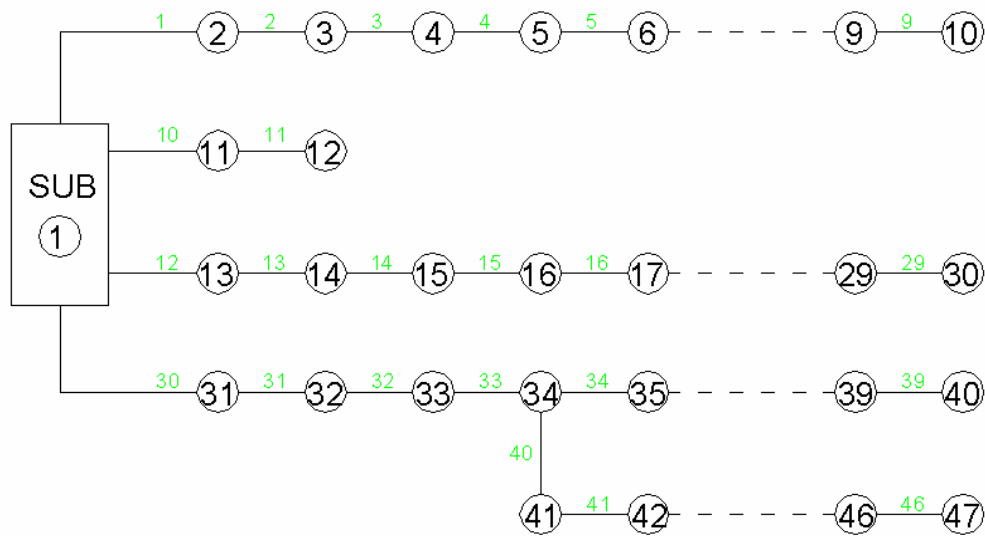


Figura 8.14

La longitud de las líneas de la red de media tensión son:

| Linea Nº. | Longitud (km) | Linea Nº. | Longitud (km) |
|-----------|---------------|-----------|---------------|
| 1 | 0,100 | 24 | 0,160 |
| 2 | 0,158 | 25 | 0,216 |
| 3 | 0,143 | 26 | 0,179 |
| 4 | 0,138 | 27 | 0,159 |
| 5 | 0,160 | 28 | 0,160 |
| 6 | 0,142 | 29 | 0,171 |
| 7 | 0,254 | 30 | 0,175 |
| 8 | 0,251 | 31 | 0,275 |
| 9 | 0,354 | 32 | 0,139 |
| 10 | 0,140 | 33 | 0,146 |
| 11 | 0,146 | 34 | 0,152 |
| 12 | 1,800 | 35 | 0,230 |
| 13 | 0,076 | 36 | 0,200 |
| 14 | 0,201 | 37 | 0,165 |
| 15 | 0,285 | 38 | 0,173 |
| 16 | 0,333 | 39 | 0,190 |
| 17 | 0,136 | 40 | 0,264 |
| 18 | 0,203 | 41 | 0,251 |
| 19 | 0,175 | 42 | 0,149 |
| 20 | 0,186 | 43 | 0,148 |
| 21 | 0,201 | 44 | 0,258 |
| 22 | 0,188 | 45 | 0,261 |
| 23 | 0,166 | 46 | 0,134 |

Cuadro 8.3

La figura 8.15 a continuación, es una imagen aérea del parque eólico, en ella se aprecia la distribución de los aerogeneradores en el terreno. Son representados los circuitos de forma esquemática, no reproduciendo el recorrido de las zanjas, las cuales discurren paralelas a los viales.



Figura 8.15: Implantación general de turbinas y circuitos de la red de MT.

Fuente: Imágenes originales de Universidad Carlos III

Las celdas de media tensión, situadas en la base de cada aerogenerador, tanto la celda de remonte, como la de salida, constan de seccionadores. Lo cual nos deja una configuración de líneas tipo 4.

Para la evaluación de los beneficios, se tendrá en cuenta un precio medio del kWh de acuerdo con dictado por la CNE (Comisión Nacional de la Energía) para la participación de las eólicas en el mercado de ofertas, en el último año. El precio medio para la participación de las eolicas en el mercado de ofertas asciende a 7,778 cent€/kWh. Se estima una tasa de incremento de en el precio de la energía del 1%.

Se ha supuesto una tasa de fallo anual para las líneas de 0,2 fallos por kilómetro, igual para todas las líneas de la red normal de explotación. Se estima un tiempo medio de reposición de 3 horas y un tiempo medio de reparación de 48 horas, para cada una de las líneas de la red normal de explotación.

La configuración mallada que se plantea para la red en estudio, se muestra en la figura 8.16. Se ha añadido dos líneas nuevas de reconexión, la línea 47, conectando los aerogeneradores 40 y 47, y la línea 48 que conecta las maquinas 30 y 40. En la siguiente figura se muestran la dos líneas de reconexión. La línea 47 con una longitud de 2,03 km, y la línea 48 de 3,86 km.

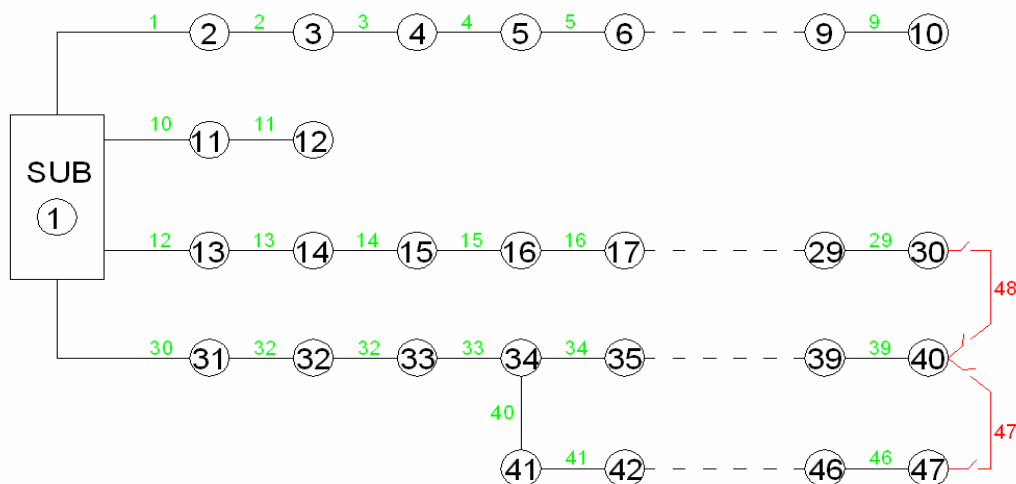


Figura 8.16

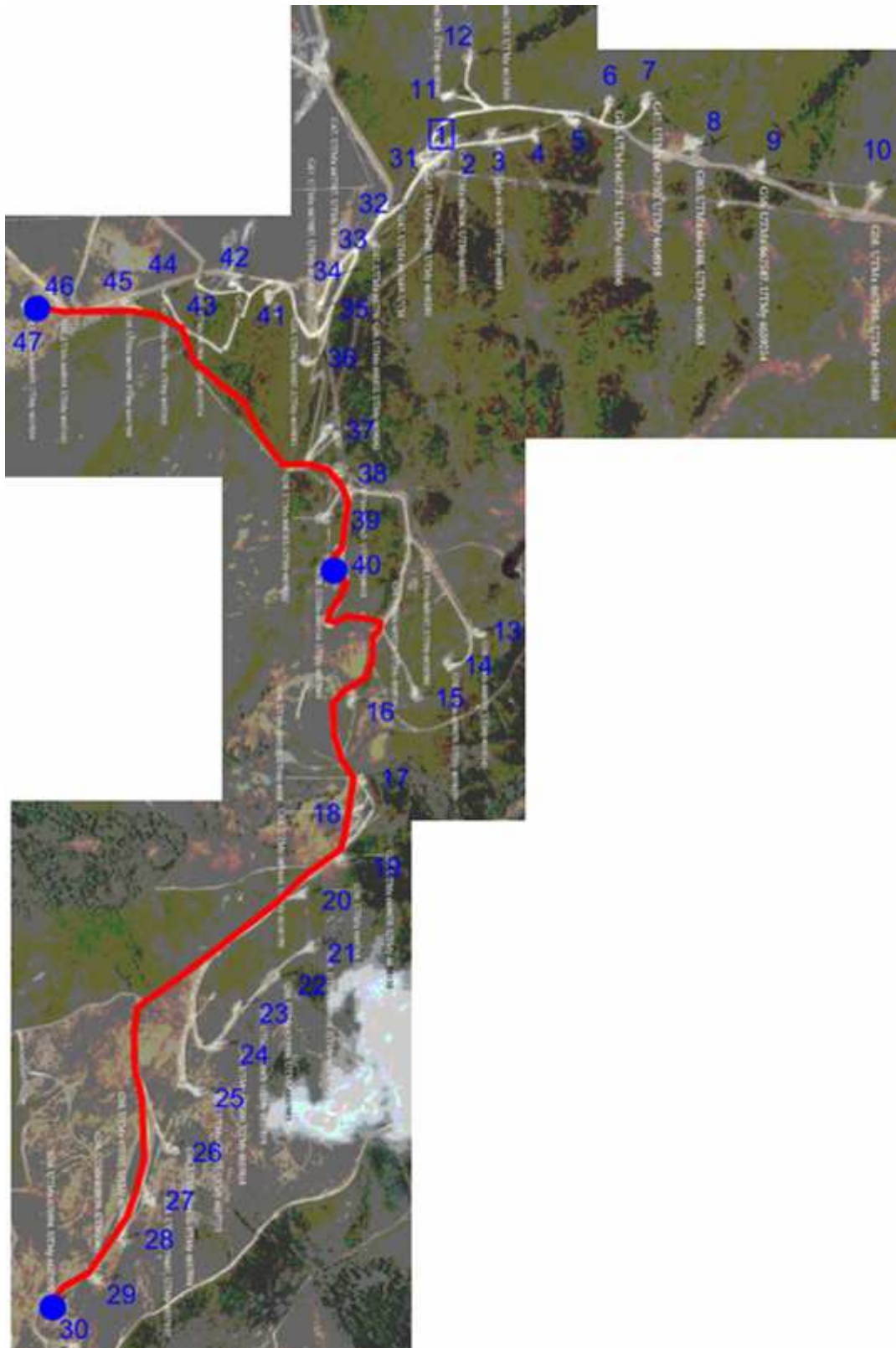


Figura 8.17: Líneas de reconexión para la configuración de mallada del parque.

Fuente: Imágenes originales de Universidad Carlos III

Todos los datos de partida, así como el informe de resultados se pueden consultar en los anexos a presente documento.

Una vez introducidos los datos de partida, se ejecuta el programa RECOENERGY. La aplicación arroja los resultados que a continuación se presentan:

- La energía anual producida por el parque operando en condiciones normales y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es:
 - Energía en funcionamiento normal = $1.801791e+008$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento normal = $1.210543e+006$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es:
 - Energía en funcionamiento con fallo = $1.132124e+007$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo = $7.266932e+004$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo, y explotando la configuración mallada, que permite la reconexión de bolsas de potencia es:
 - Energía en funcionamiento con fallo y reconexión = $1.172866e+007$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo y reconexión = $9.044361e+004$ kWh
- Se logran reconectar un total de $4.074165e+005$ kWh, evitando la emisión a la atmósfera de aproximadamente $2.648207e+005$ kg de CO₂.
- La producción anual del parque sin líneas de reserva es de $1.915003e+008$ kWh. Con una rentabilidad de $1.489489e+007$ Euros.
- La producción anual del parque con configuración mallada (con líneas de reserva) es de $1.919077e+008$ kWh. Con una rentabilidad de $1.492658e+007$ Euros.
- El beneficio económico que proporciona la configuración mallada asciende a $3.168886e+004$ Euros.
- La inversión inicial para la instalación de las líneas y aparellaje necesario para la instalación de las líneas de reserva, necesarias en la configuración mallada del parque es de $2.890968e+005$ Euros.
- La reconexión de bolsas de potencia, implica la evacuación de la potencia reconectada por circuitos que en la red radial original no fueron diseñados para

transportar esta potencia extra. La inversión necesaria requerida para el aumento de sección de estos circuitos asciende a $3.427704e+004$ Euros.

- La inversión total necesaria para implantar la red mallada en el parque es $3.2337384e+005$ Euros.
- El Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de caja originados por esta inversión, para el periodo de retorno de la inversión (Pay-Back) del proyecto inicial, sin configuración mallada, es $-7.950236e+004$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El VAN de los flujos de caja originados por esta inversión para el periodo de vida útil del parque es de $6.922892e+004$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener VAN=0 en el periodo de retorno de la inversión del proyecto inicial, es de 10.314 centEuros/kWh.
- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener VAN=0 en el periodo de vida útil del parque es de 6.406 centEuros/kWh
- Al precio de la energía actual se necesitarían 15 años para que empezara a ser rentable la inversión en la configuración mallada del parque.

En aras de disminuir los costes derivados de las líneas de reconexión, se ensayará una nueva configuración de red mallada (ver figuras 8.18 y 8.19), donde la línea 47' conecta los aerogeneradores 38 y 47, y la línea 48' que conecta las maquinas 26 y 40. En la siguiente figura 8.17 se muestran las dos líneas de reconexión. La línea 47' con una longitud de 1,6 km, y la línea 48' de 3,1 km.

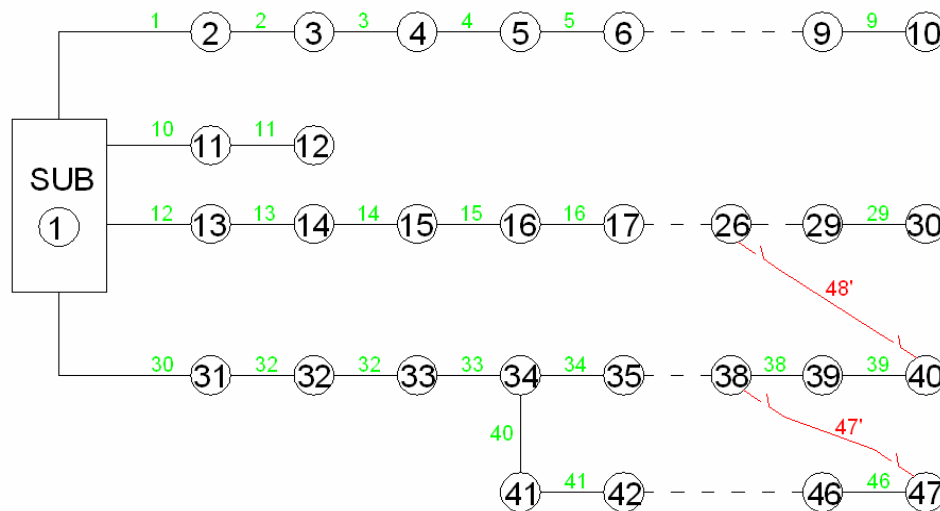


Figura 8.18



Figura 8.19: Líneas de reconexión para la configuración de mallada del parque.

Fuente: Imágenes originales de Universidad Carlos III

Se introducen los datos de partida de esta nueva red y se ejecuta el programa RECOENERGY. La aplicación arroja los resultados que a continuación se presentan:

- La energía anual producida por el parque operando en condiciones normales y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es:
 - Energía en funcionamiento normal = $1.801791e+008$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento normal = $1.210543e+006$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es:
 - Energía en funcionamiento con fallo = $1.132124e+007$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo = $7.266932e+004$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo, y explotando la configuración mallada, que permite la reconexión de bolsas de potencia es:
 - Energía en funcionamiento con fallo y reconexión = $1.172333e+007$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento con fallo y reconexión = $8.748159e+004$ kWh
- Se logran reconectar un total de $4.020932e+005$ kWh, evitando la emisión a la atmósfera de aproximadamente $2.613606e+005$ kg de CO₂.
- La producción anual del parque sin líneas de reserva es de $1.915003e+008$ kWh. Con una rentabilidad de $1.489489e+007$ Euros.
- La producción anual del parque con configuración mallada (con líneas de reserva) es de $1.919024e+008$ kWh. Con una rentabilidad de $1.492617e+007$ Euros.
- El beneficio económico que proporciona la configuración mallada asciende a $3.127481e+004$ Euros.
- La inversión inicial para la instalación de las líneas y aparellaje necesario para la instalación de las líneas de reserva, necesarias en la configuración mallada del parque es de $2.313811e+005$ Euros.
- La reconexión de bolsas de potencia, implica la evacuación de la potencia reconectada por circuitos que en la red radial original no fueron diseñados para transportar esta potencia extra. La inversión necesaria requerida para el aumento de sección de estos circuitos asciende a $3.682521e+004$ Euros.

- La inversión total necesaria para implantar la red mallada en el parque es $2.6820631e+005$ Euros.
- El Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de caja originados por esta inversión, para el periodo de retorno de la inversión (Pay-Back) del proyecto inicial, sin configuración mallada, es $-2.752125e+004$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El VAN de los flujos de caja originados por esta inversión para el periodo de vida útil del parque es de $1.192667e+005$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener VAN=0 en el periodo de retorno de la inversión del proyecto inicial, es de 8.667 centEuros/kWh.

- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener VAN=0 en el periodo de vida útil del parque es de 5.384 centEuros/kWh

- Al precio de la energía actual se necesitarían 12 años para que empezara a ser rentable la inversión en la configuración mallada del parque.

La reconexión más fácil a la vista de la implantación de los equipos en el terreno se corresponde, con una línea que una los nudos 40 y 15, esta línea cubriría una distancia de 750 m. (ver figuras 8.20 y 8.21)

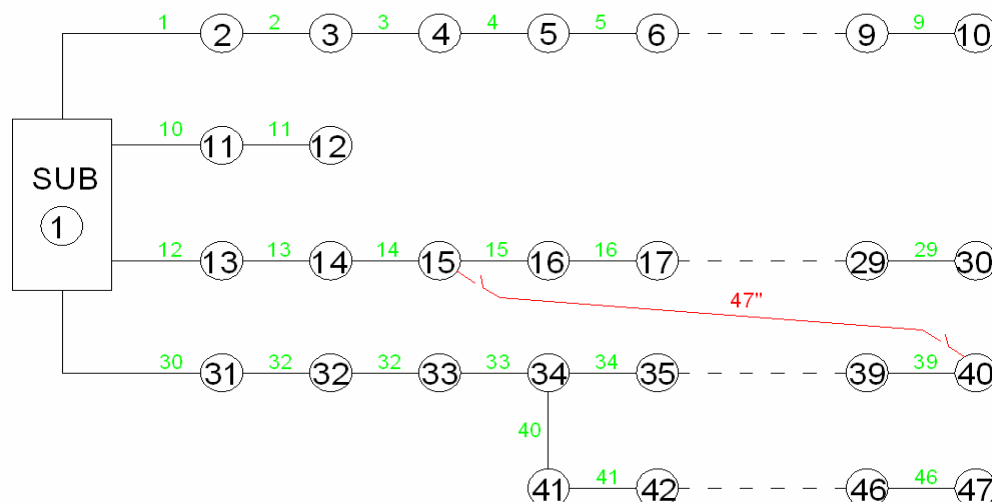


Figura 8.20



Figura 8.21: Línea de reconexión para la configuración de mallada del parque.

Fuente: Imágenes originales de Universidad Carlos III

Ejecutando RECOENERGY para esta nueva línea se obtienen los siguientes resultados.

- La energía anual producida por el parque operando en condiciones normales y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es:
 - Energía en funcionamiento normal = $1.801791e+008$ kWh
 - Perdidas en funcionamiento normal = $1.210543e+006$ kWh
- La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo y explotado en la configuración radial original (antes de ser mallado) es::
 - Energía en funcionamiento con fallo = $1.132124e+007$ kWh

- Pérdidas en funcionamiento con fallo = $7.266932e+004$ kWh
 - La energía producida por el parque mientras opera con alguna contingencia provocada por un fallo, y explotando la configuración mallada, que permite la reconexión de bolsas de potencia es:
 - Energía en funcionamiento con fallo y reconexión = $1.159068e+007$ kWh
 - Pérdidas en funcionamiento con fallo y reconexión = $8.045576e+004$ kWh
 - Se logran reconectar un total de $2.694456e+005$ kWh, evitando la emisión a la atmósfera de aproximadamente $1.751396e+005$ kg de CO₂.
 - La producción anual del parque sin líneas de reserva es de $1.915003e+008$ kWh. Con una rentabilidad de $1.489489e+007$ Euros.
 - La producción anual del parque con configuración mallada (con líneas de reserva) es de $1.917698e+008$ kWh. Con una rentabilidad de $1.491585e+007$ Euros.
 - El beneficio económico que proporciona la configuración mallada asciende a $2.095748e+004$ Euros.
 - La inversión inicial para la instalación de las líneas y aparellaje necesario para la instalación de las líneas de reserva, necesarias en la configuración mallada del parque es de $3.808957e+004$ Euros.
 - La reconexión de bolsas de potencia, implica la evacuación de la potencia reconectada por circuitos que en la red radial original no fueron diseñados para transportar esta potencia extra. La inversión necesaria requerida para el aumento de sección de estos circuitos asciende a $2.274069e+004$ Euros.
 - La inversión total necesaria para implantar la red mallada en el parque es $6.083026e+004$ Euros.
 - El Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de caja originados por esta inversión, para el periodo de retorno de la inversión (Pay-Back) del proyecto inicial, sin configuración mallada, es $1.004545e+005$ Euros.
- Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.
- El VAN de los flujos de caja originados por esta inversión para el periodo de vida útil del parque es de $1.988182e+005$ Euros.

Para este periodo la inversión en la red mallada produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida.

- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener VAN=0 en el periodo de retorno de la inversión del proyecto inicial, es de 2.934 centEuros/kWh.
- El precio mínimo de la Energía en el mercado de la electricidad para tener VAN=0 en el periodo de vida útil del parque es de 1.822 centEuros/kWh
- Al precio de la energía actual se necesitarían 4 años para que empezara a ser rentable la inversión en la configuración mallada del parque.