

## Anexo A: Proyectos de integración de energías renovables en la red eléctrica convencional

En este anexo se presentan diferentes imágenes y esquemas de la bibliografía consultada que tienen relación con la integración de energías renovables en la red eléctrica.

En [4] aparecen varios métodos de estabilización de la energía producida partir de fuentes solares y/o eólicas. Una serie de esquemas de la estructura de estas instalaciones se muestran en las Figura A.1 a A.5

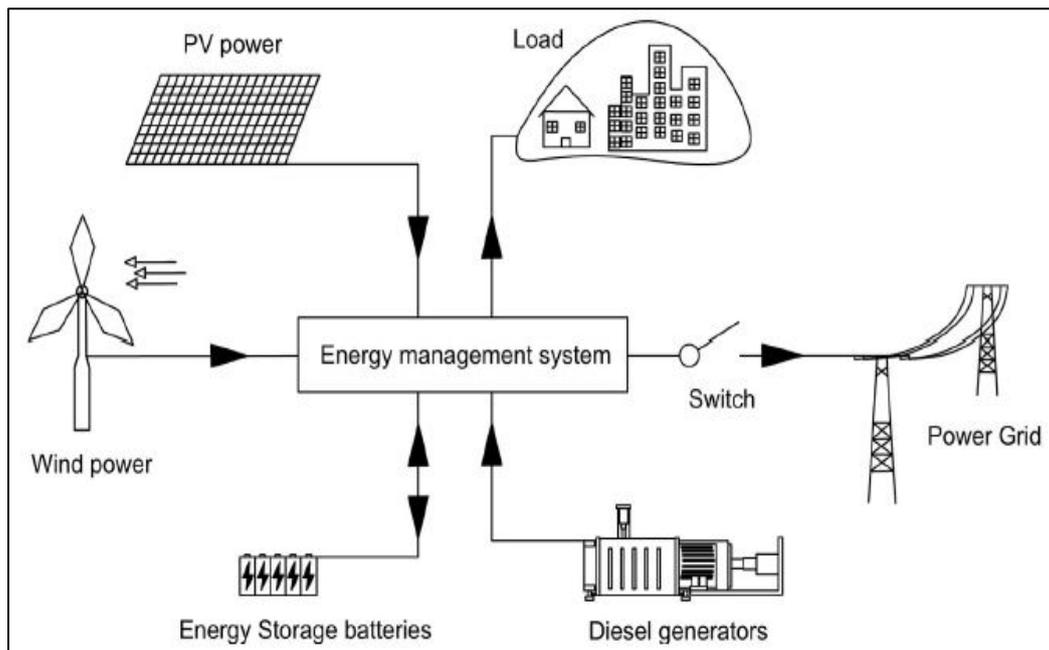


Figura A.1. Estructura topológica de la microrred [4]

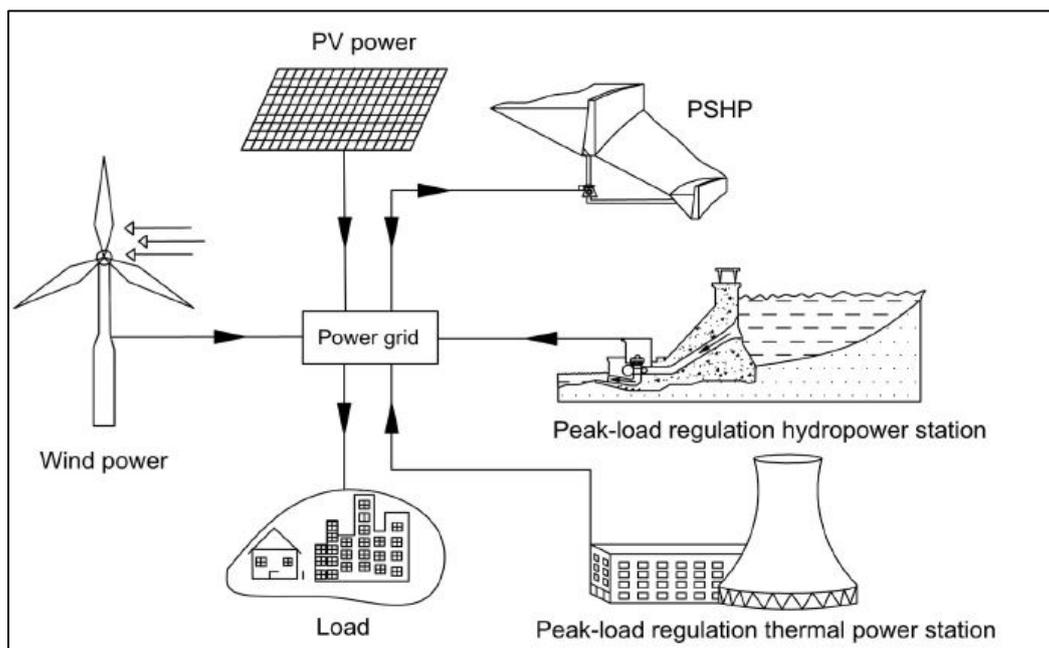


Figura A.2. Estructura topológica del modo de reducción de picos de la red eléctrica [4]

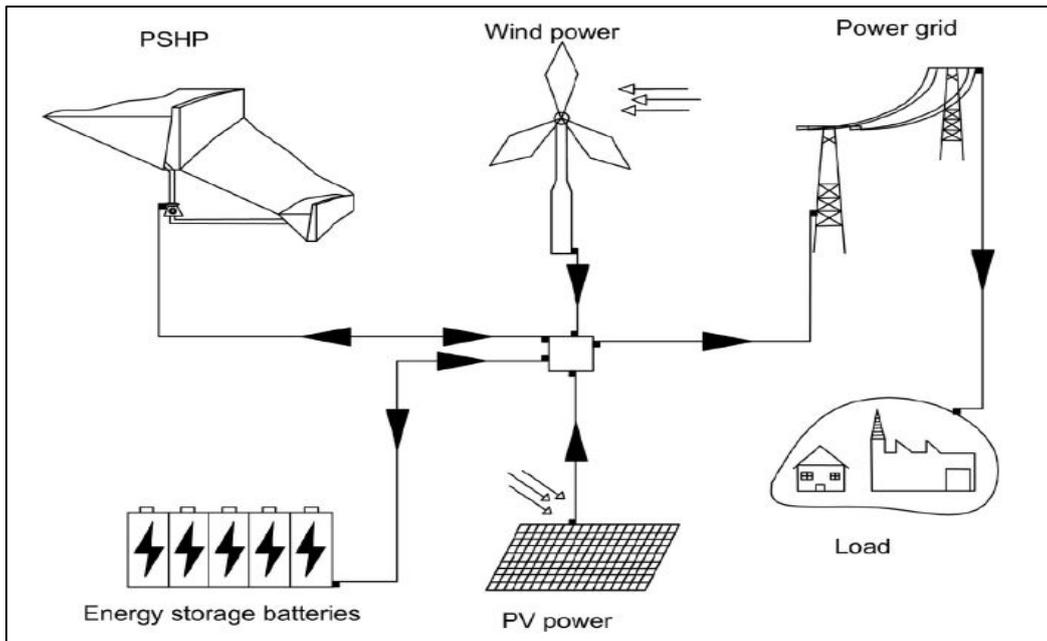


Figura A.3. Estructura topológica del sistema de almacenamiento + fotovoltaica + eólica [4]

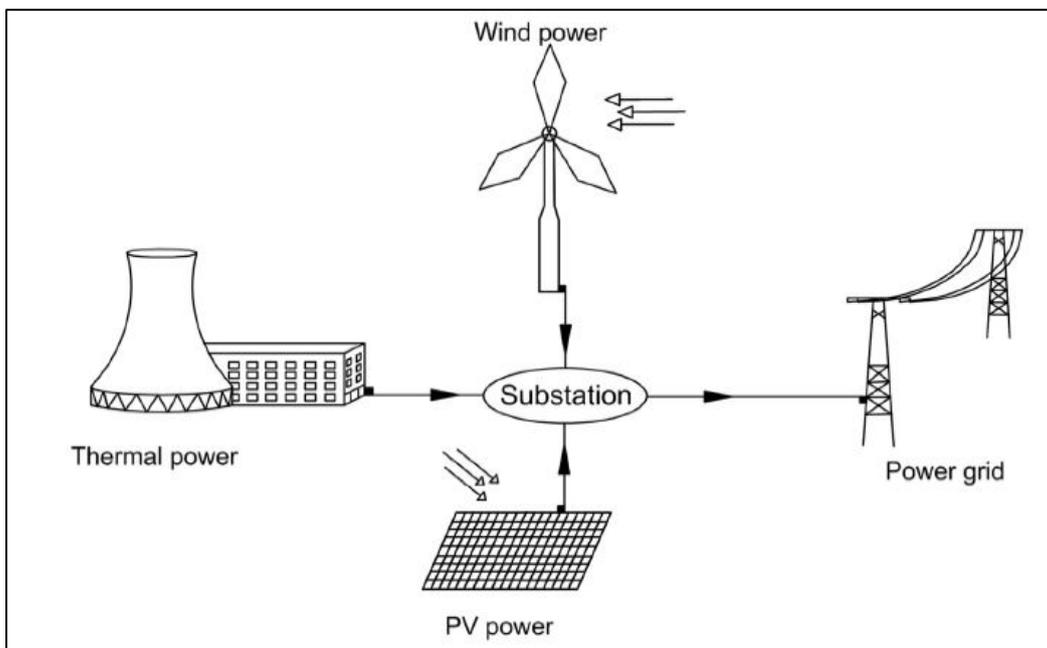


Figura A.4. Estructura topológica del sistema térmica + eólica +fotovoltaica [4]

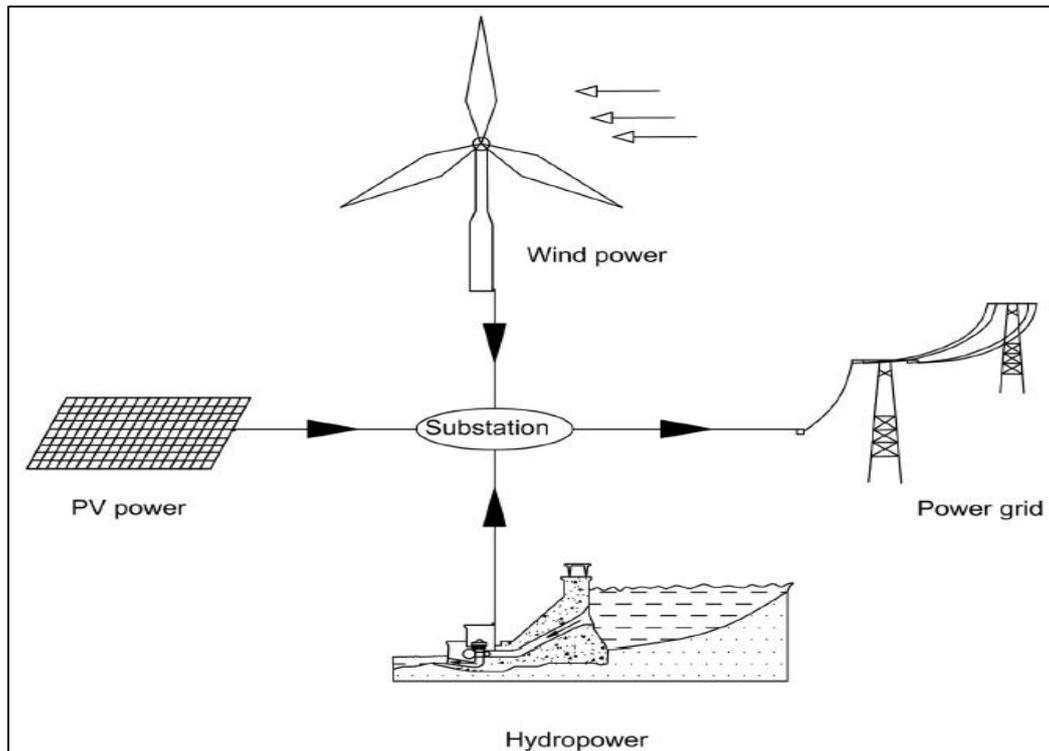


Figura A.5. Estructura topológica del sistema eólica + fotovoltaica + hidroeléctrica [4]

También se presentan imágenes a modo de mapa, como las siguientes, que presentan la distribución de muchos de estos subsistemas de generación y sus interconexiones con otros homólogos o con la red nacional China. En otras, se pueden observar mapas donde se reflejan diferentes proyectos reales llevados a la práctica. Ver Figuras A.6 a A.10.

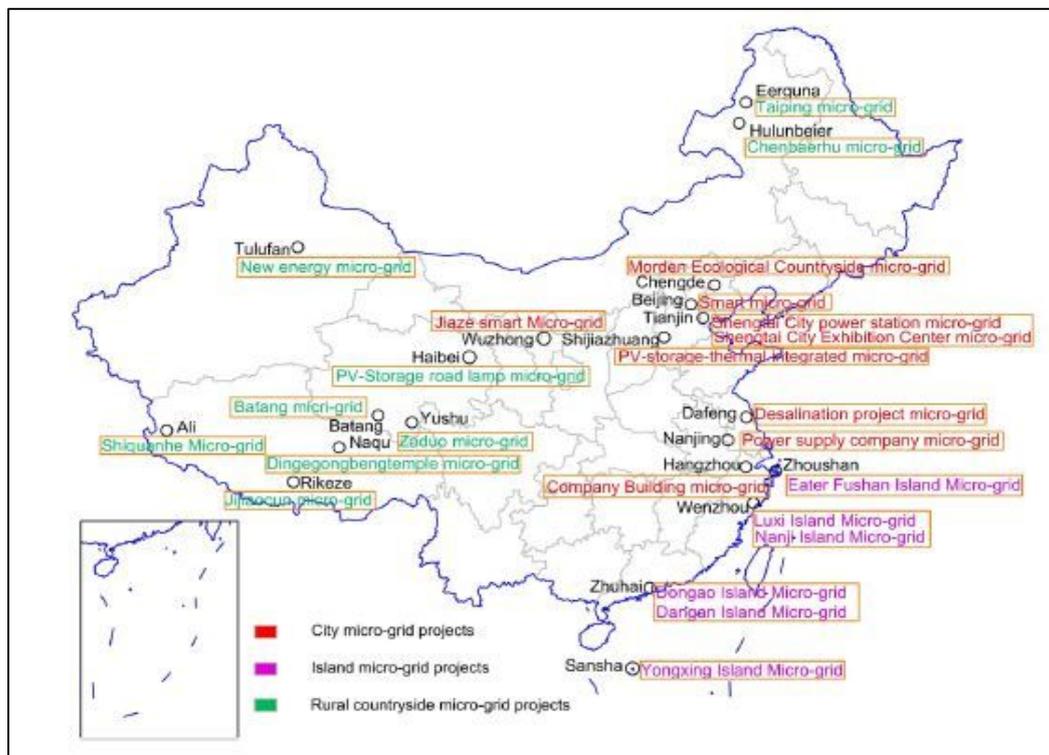


Figura A.6. Distribución de microrredes complementaria de energía múltiple [4]

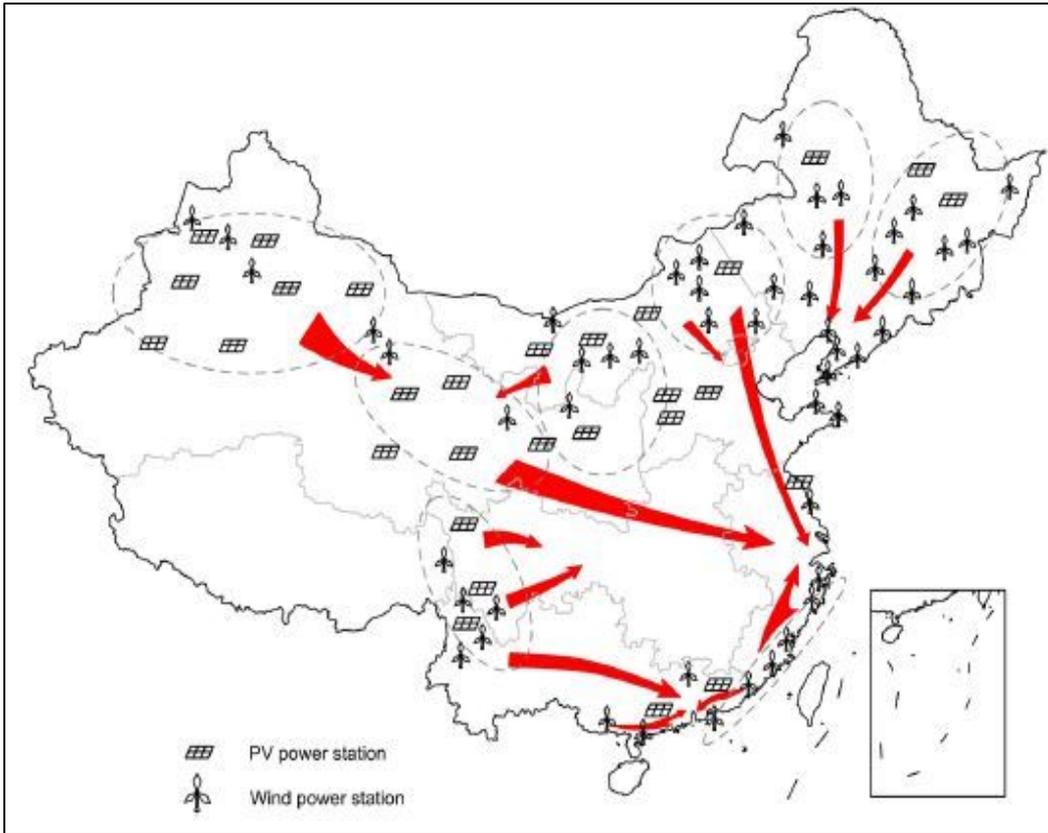


Figura A.7. Transmisión de la energía del modo de consumo de reducción de picos [4]

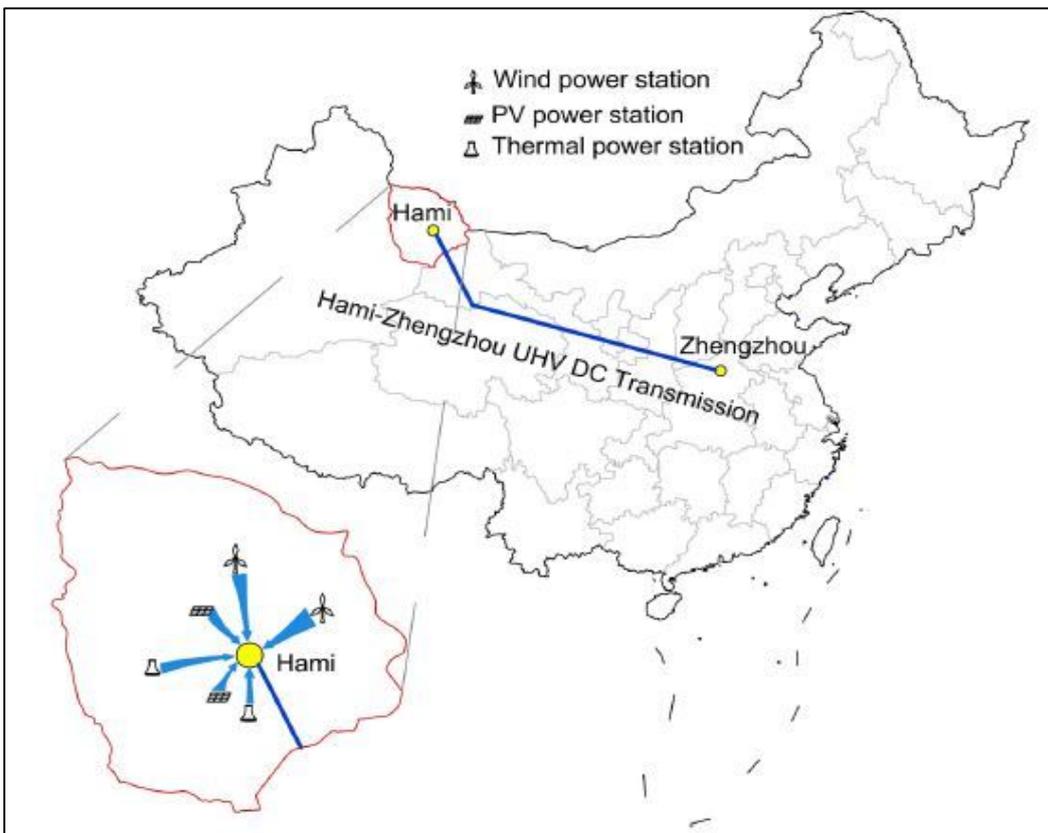


Figura A.8. Proyecto transmisión de energía de la ciudad de Hami, región autónoma de Sinkiang [4]

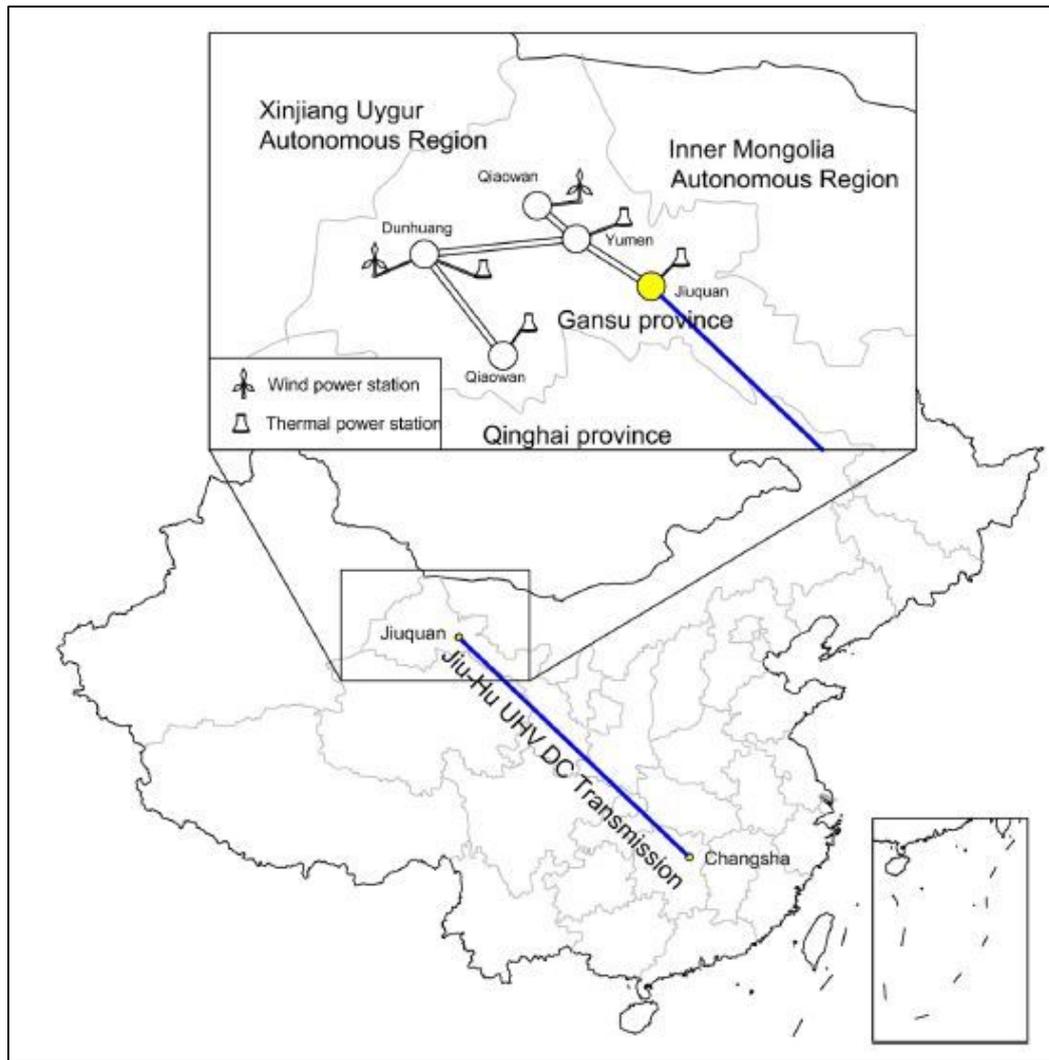


Figura A.9. Proyecto de Jiuquan en la provincia de Gansu [4]

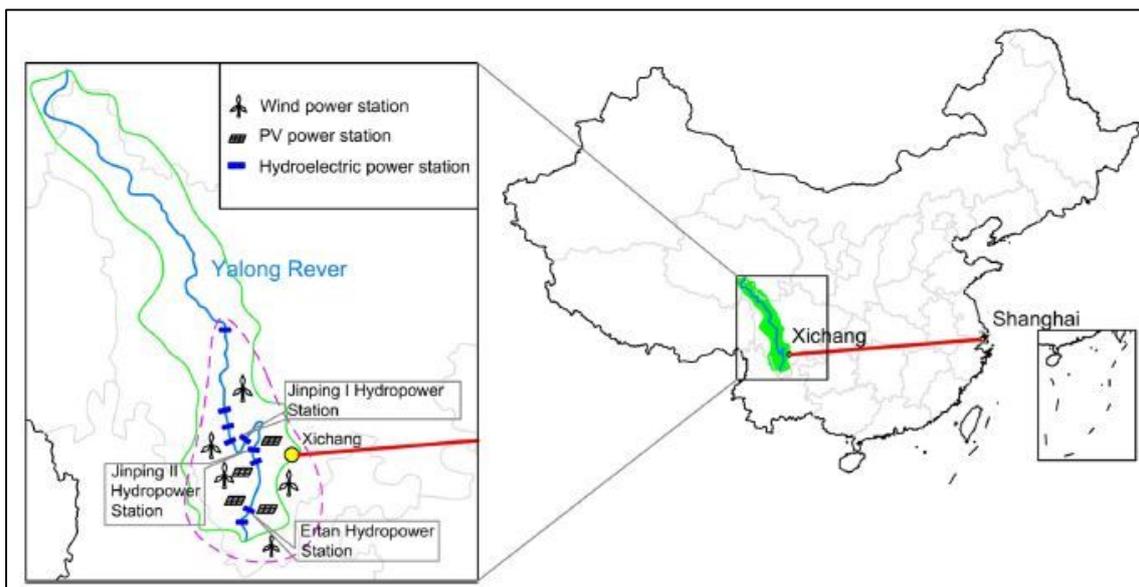


Figura A.10. Mapa del proyecto de consumo energético complementario en la base de energía del río Yalong [4]

En cuanto a las políticas llevadas a cabo por diferentes países para integrar de forma efectiva y eficiente las energías renovables en la red eléctrica, en [6] se detallan las adoptadas por Alemania, China, Estados Unidos e India (ver Tabla A.1).

Tabla A.1. Listado de políticas llevadas a cabo por cada país

Tipo de política	Instrumento político	China	India	Estados Unidos	Alemania
Políticas de suministro	Inversión en I+D	✓	✓	✓	✓
	Predicciones meteorológicas precisas			✓	✓
	Tecnología óptima de envío de energía	✓		✓	✓
Políticas de entorno	Sistemas de cuotas	✓	✓	✓	
	Mecanismos de penalización		✓	✓	
	Beneficios fiscales	✓	✓	✓	✓
Políticas de demanda	Comercio interregional	✓		✓	✓
	Subsidios de compras y ventas	✓	✓	✓	✓
	Estrategias de almacenamiento de energía	✓		✓	✓

En la siguiente tabla se muestran las características principales de las centrales de generación dependiendo de si son flexibles o no [2].

Tabla A.2. Parámetros de flexibilidad de centrales de carga base

Tipo de central eléctrica	Entrega de potencia mínima estable (%)	Velocidad de aumento (%/min)	Tiempo de arranque (h)
Ciclo combinado inflexible	40-50	0,8-6	2-4
Ciclo combinado flexible	15-30	6-15	1-2
Turbina de gas	10-50	0,6-7	1-4
Térmica de carbón inflexible	40-60	0,6-4	5-7
Térmica de carbón flexible	20-40	4-8	2-5
Térmica de lignito	40-60	0,6-6	2-8
Nuclear inflexible	100	0	-
Nuclear flexible	40-60	0,3-5	-

## Anexo B

### B.1 Introducción

En este anexo, se presenta otra posible estrategia de nivelación de la potencia entregada por el parque y se compara con las estrategias incluidas en la memoria. La comparación se realiza solamente desde el punto de vista energético, sin tener en cuenta los rendimientos del equipamiento instalado. También, se muestran diferentes gráficas de la potencia eólica entregada por el parque durante meses y días concretos del año.

### B.2 Estrategia de nivelación

El promedio anual de potencia generada calculado a partir de los datos de producción horaria en Excel es 19.543,86 kW. Teniendo en consideración la potencia promedio anual en conjunto con los promedios de entrega semanales, se puede establecer una estrategia anual con una potencia de corte de 20 MW con fluctuaciones permisibles de  $\pm 5$  MW.

En esta estrategia de estabilización, el rango permisible de entrega de potencia eléctrica a la red está entre 15 y 25 MW. Para lograrlo se necesita un sistema adicional de generación de potencia de 15 MW como mínimo, y un sistema de almacenamiento con capacidad para 25 MW. Los picos de energía eólica producidos, con potencias mayores que 25 MW, se almacenan, y los valles, con generación inferior a 15 MW, se deben compensar con generación de energía por parte del sistema de apoyo, a partir de la energía almacenada. Los supuestos casos que se pueden dar son:

- Si la potencia eólica entregada por el parque se encuentra en el rango permisible se considera correcta y no se realiza ninguna actuación.
- Si la potencia eólica es superior a 25 MW, y hay capacidad de almacenamiento, se almacena el exceso de energía, es decir, si en una hora se tienen 42 MW se almacenarán 17 MW y se entregarán a la red los 25 MW restantes.
- Si la potencia eólica es superior a 25 MW y no hay capacidad de almacenamiento, el excedente de energía generada se pierde.
- Si la potencia eólica es inferior a 15 MW, y existen reservas de energía suficientes en el sistema de almacenamiento, se compensa el déficit energético para alcanzar los 15 MW, es decir, si en una hora se generan 5 MW eólicos, se consumirán 10 MW del sistema de almacenamiento para poder entregar 15 MW a la red.
- Cuando la potencia eólica sea inferior a 15 MW y no se dispone de la cantidad de energía almacenada necesaria para compensarla, se entrega la potencia posible (eólica más almacenada disponible), aunque sea inferior a la pactada. Estos intervalos de tiempo se deben reducir todo lo posible, ya que son períodos de tiempo con incumplimiento del rango de fluctuación pactado, y se penalizan con el precio de venta de la energía.

La capacidad máxima de almacenamiento se supone que es la misma que la de los casos explicados en la memoria. Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de energía es de 1.203.600 kWh.

La dinámica de llenado y vaciado del sistema de almacenamiento es, como ya se ha explicado, la misma que en las estrategias expuestas en el trabajo.

En la Figura B.1 se muestra la evolución de la energía almacenada por hora durante el año.

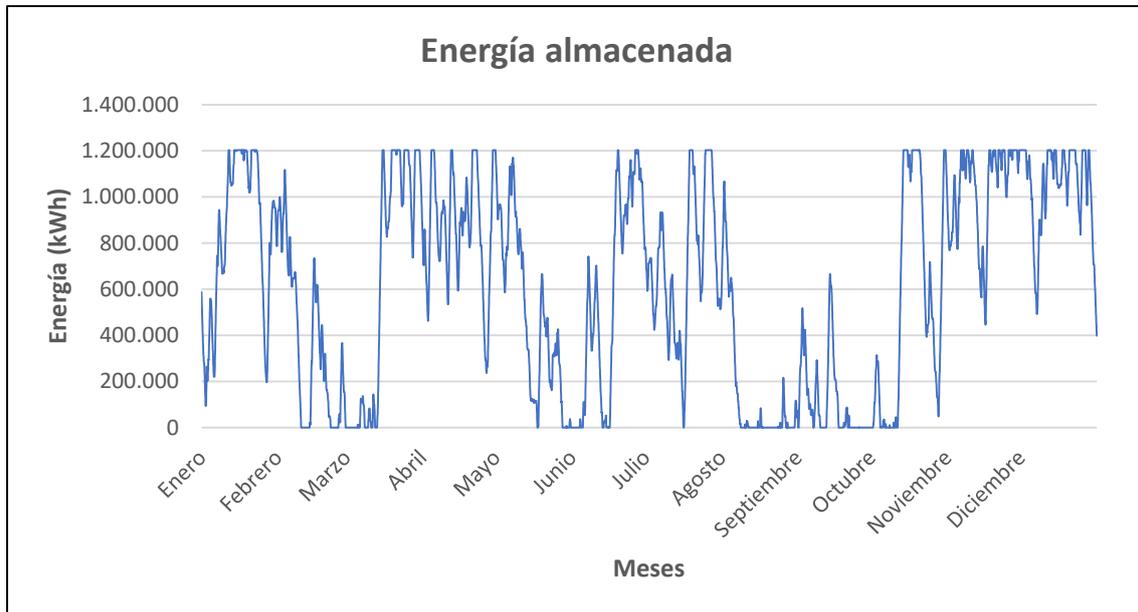


Figura B.1. Evolución de la energía almacenada durante las horas de un año típico (Estabilización anual)

En la Figura B.2 se representa la potencia eólica que no se encuentra dentro de los márgenes preestablecidos, en color rojo están las horas donde se debe almacenar energía, y en verde aquellas en las que será necesario incrementar la potencia entregada por el parque eólico con una tecnología de apoyo, utilizando la energía almacenada.

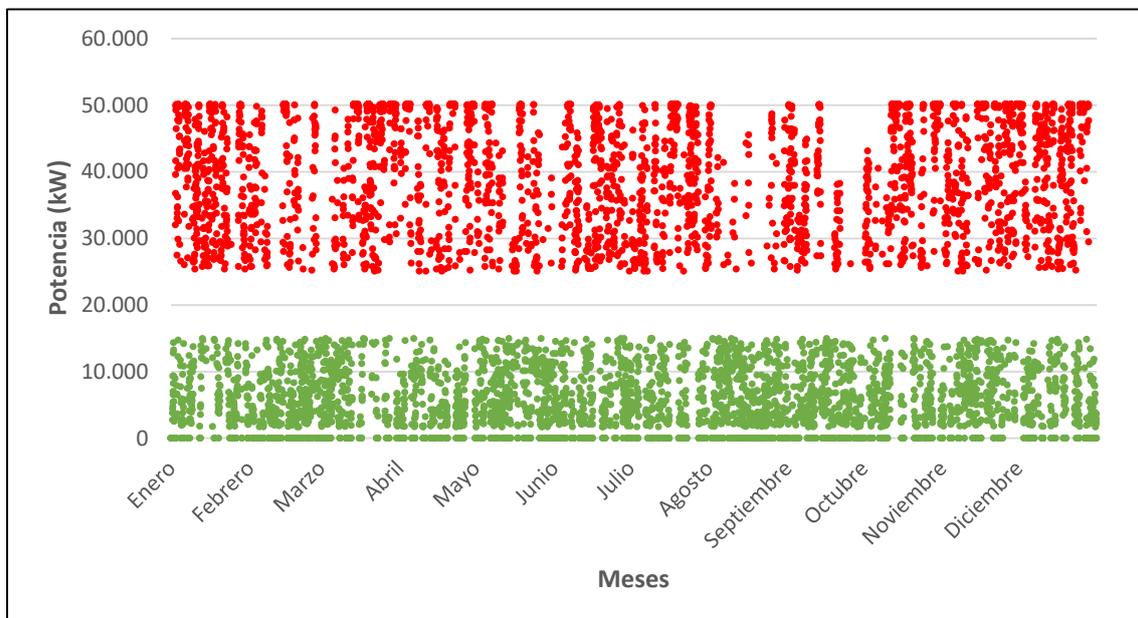


Figura B.2. Horas donde la potencia eólica debe ser corregida (Estabilización anual)

En la figura B.3 se muestra el resultado de esta estrategia, con la potencia eólica estabilizada. Los puntos rojos son las pérdidas debidas a la incapacidad de almacenar el excedente de energía en esas horas, en azul se representan las horas en las que la energía se entrega dentro del rango

permisible y en verde aparecen las horas que no se han podido compensar con éxito, sin embargo, serán entregadas a la red y se consideran incumplimientos de lo pactado.

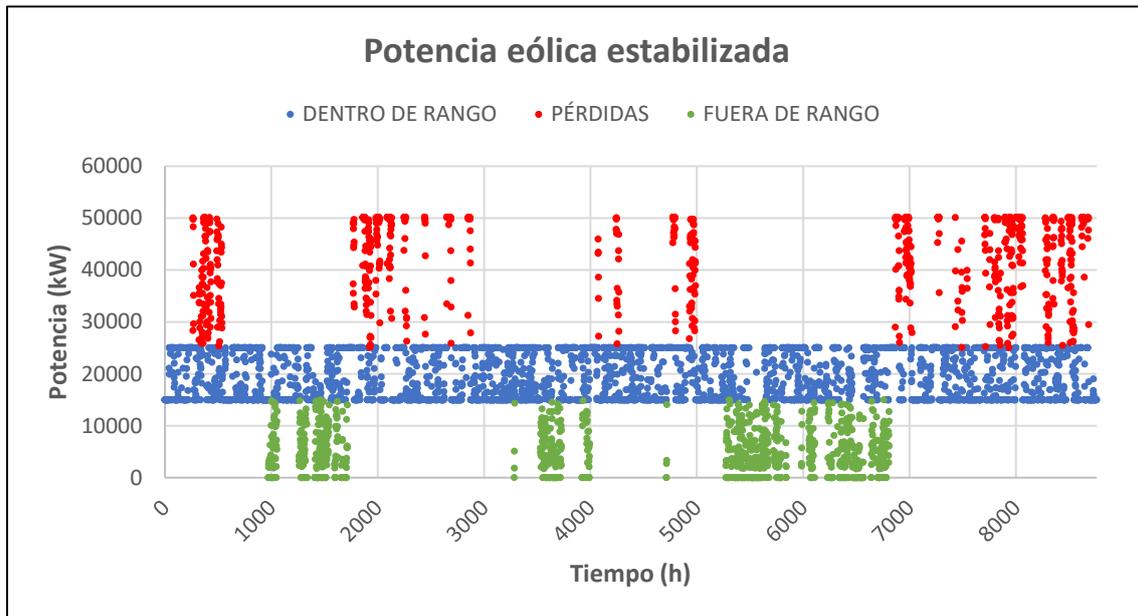


Figura B.3. Potencia eólica estabilizada (Estabilización anual)

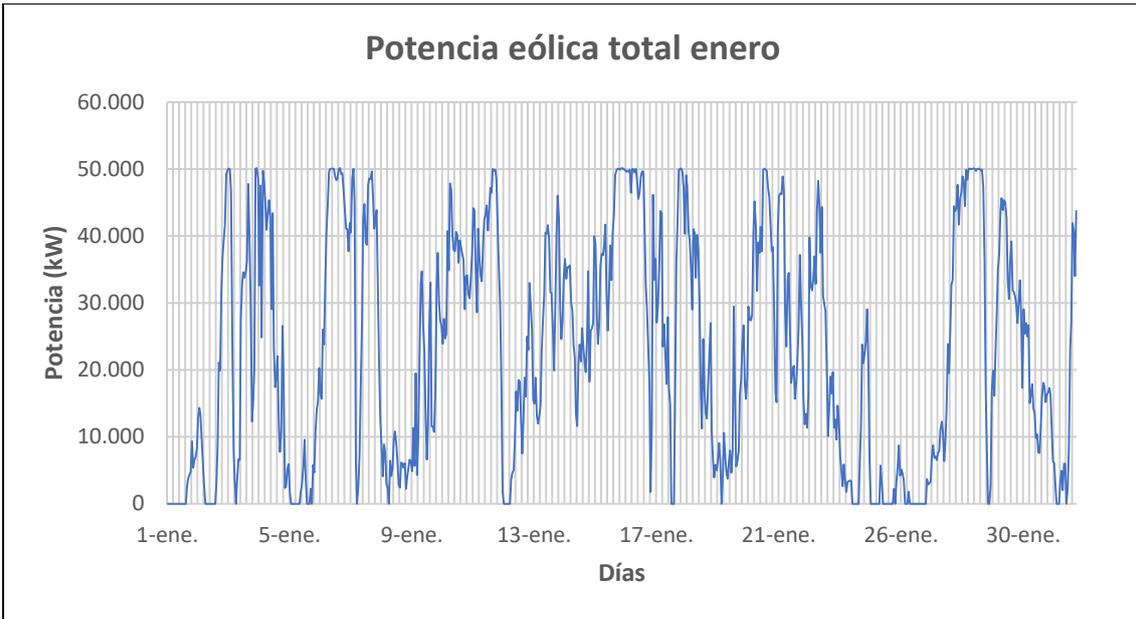
Con esta estrategia se tienen 40.515.681,52 kWh de energía perdida por encima de los 25 MW y 14.126.960,84 kWh de déficit de energía, ya que no ha podido ser compensada con éxito dentro del rango permisible. También se tienen 1.296 horas con déficit de energía a lo largo del año.

A la vista de los resultados, desde el punto de vista energético, se puede asegurar que esta estrategia anual es mejor que la del trabajo principal. Sin embargo, no consigue estabilizar la potencia eólica de manera más efectiva que la estrategia semanal del trabajo principal. Respecto a la estrategia semanal, con esta estrategia, aunque con diferencias por lo general pequeñas, no se consigue tener menos pérdidas de energía por falta de capacidad de almacenamiento, reducir el déficit de energía, ni que la energía entregada dentro de los márgenes establecidos sea mayor.

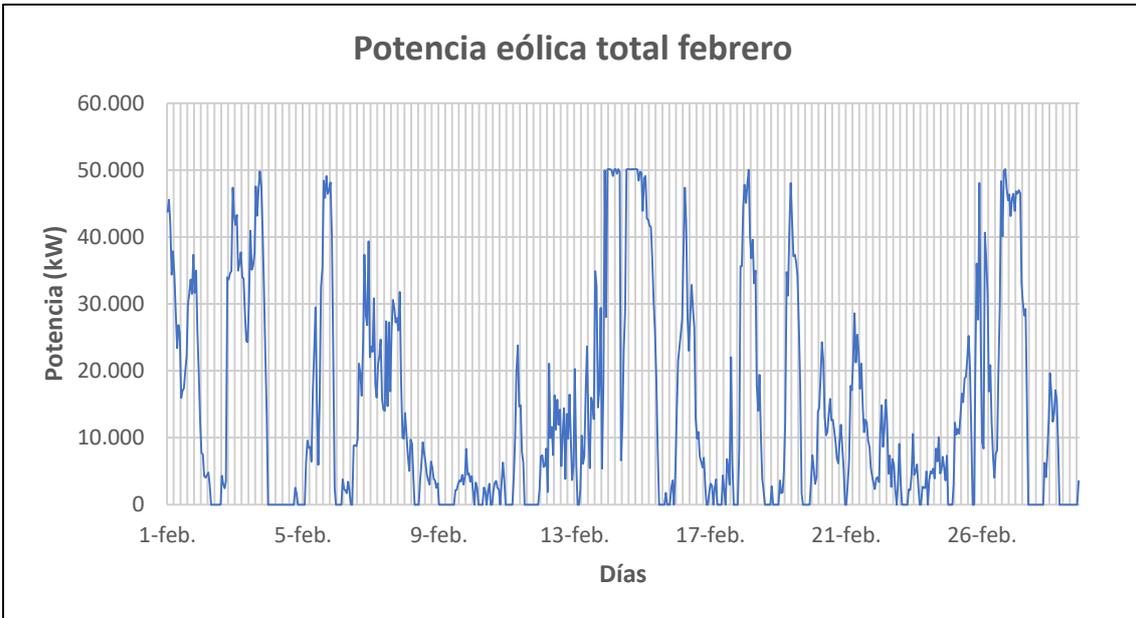
### B.3 Gráficas de potencia eólica

A continuación, se presentan las gráficas que han servido de orientación para determinar las fluctuaciones de la potencia eólica entregada por el parque. Además, también se han utilizado estas figuras para estimar el rango de fluctuaciones más adecuado para cada estrategia propuesta, incluida la del apartado anterior.

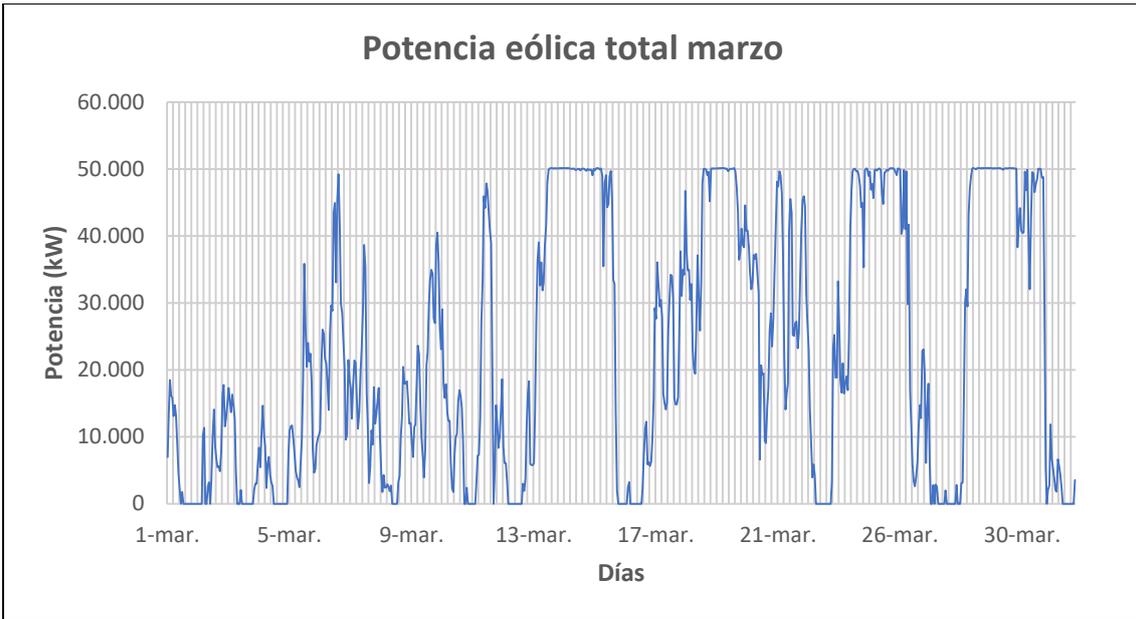
Las primeras gráficas corresponden a la evolución de la potencia eólica entregada por el parque en varios meses del año, después se han colocado aquellas que muestran la potencia entregada en días concretos del año.



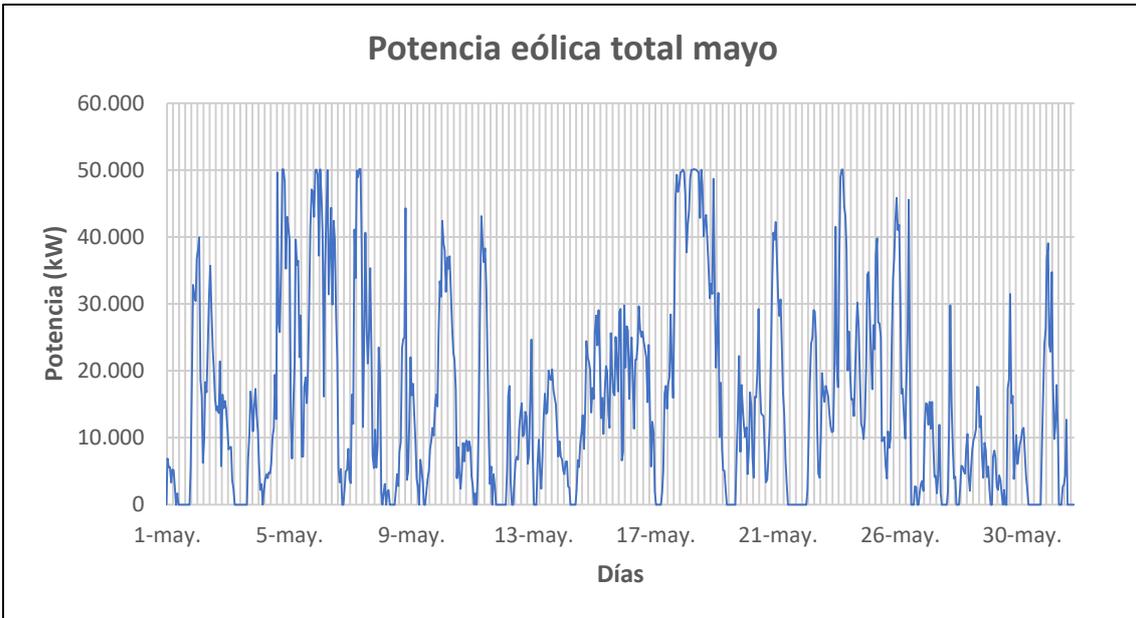
*Figura B.4. Potencia eólica total entregada durante enero*



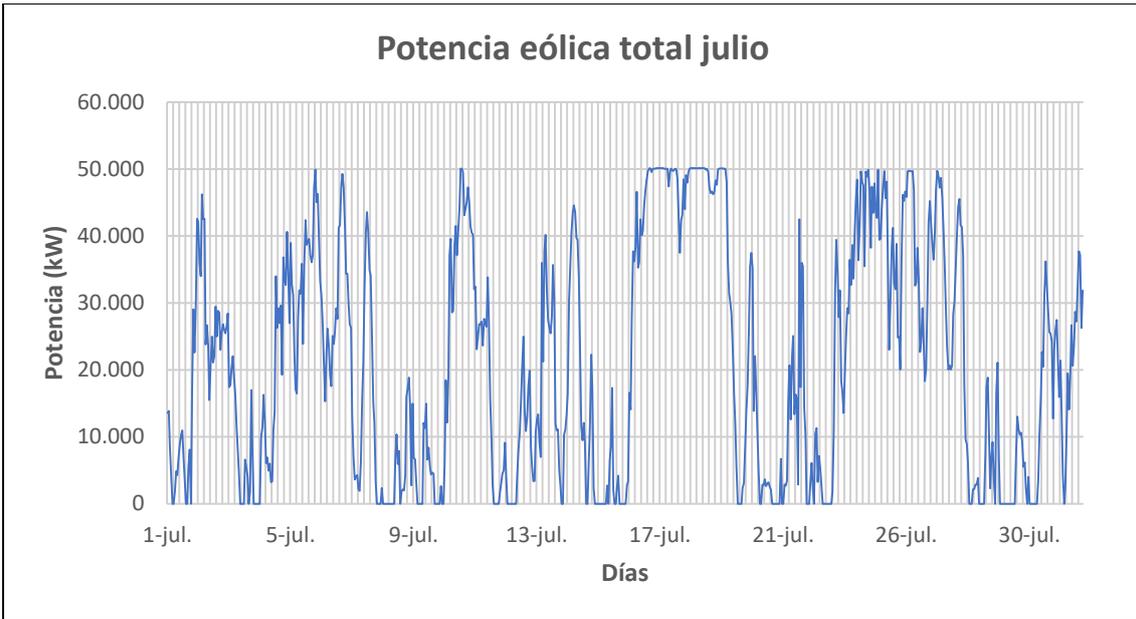
*Figura B.5. Potencia eólica total entregada durante febrero*



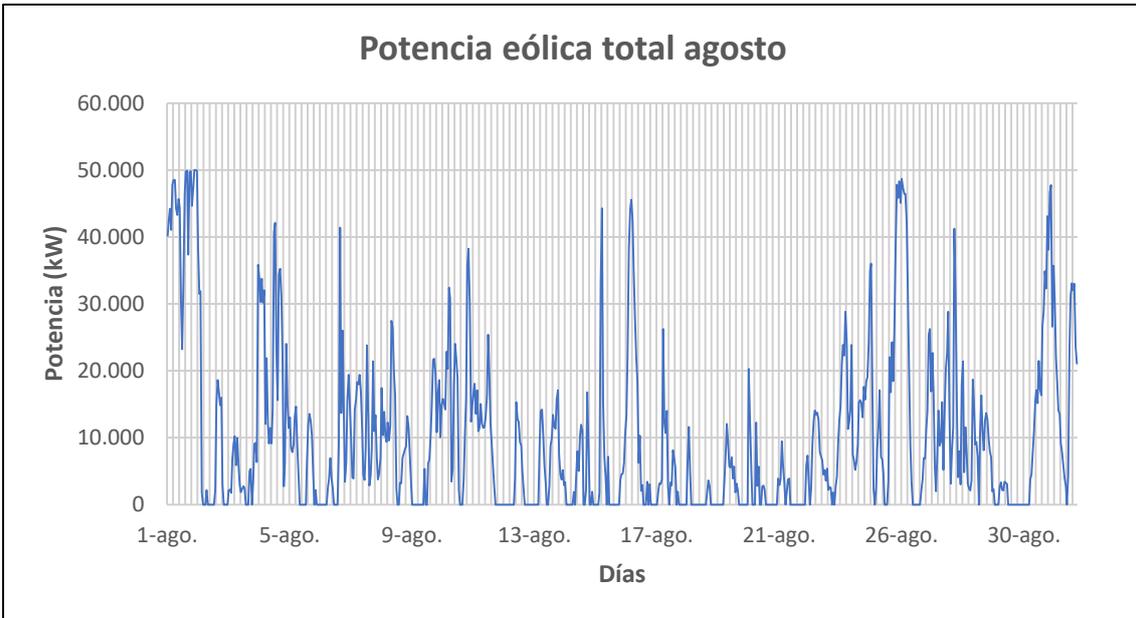
*Figura B.6. Potencia eólica total entregada durante marzo*



*Figura B.7. Potencia eólica total entregada durante mayo*



*Figura B.8. Potencia eólica total entregada durante julio*



*Figura B.9. Potencia eólica total entregada durante agosto*

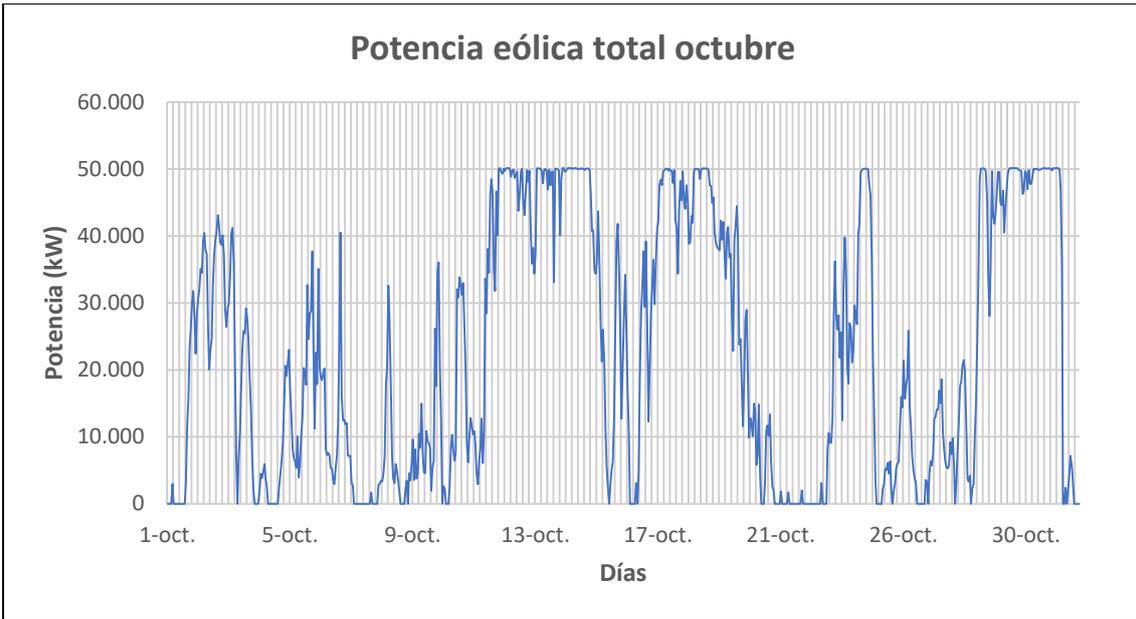


Figura B.10. Potencia eólica total entregada durante octubre

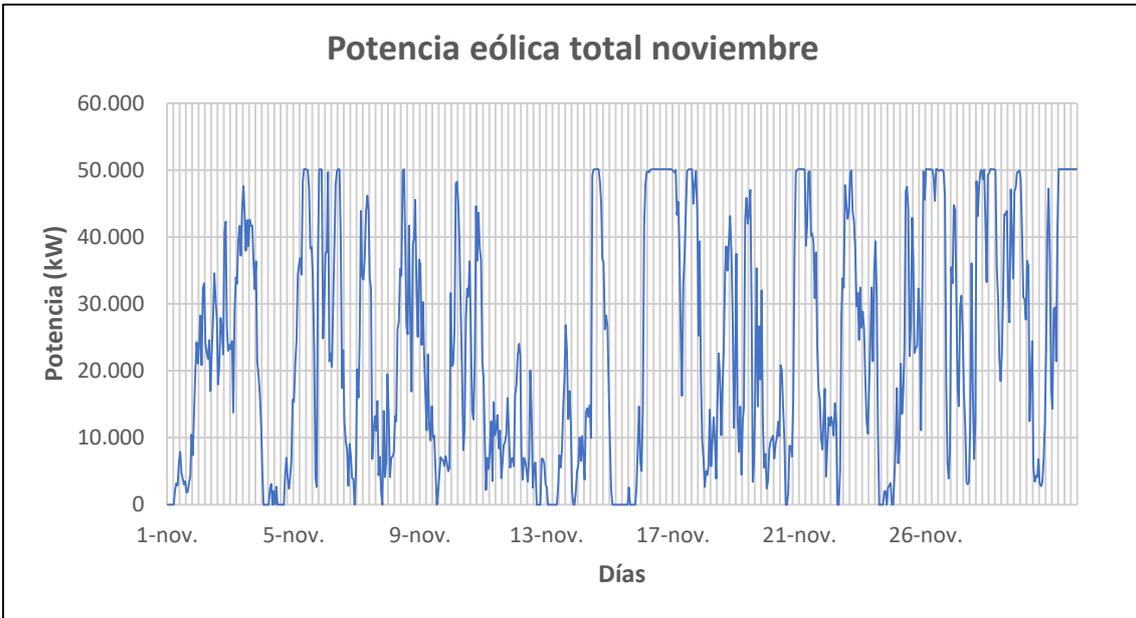


Figura B.11. Potencia eólica total entregada durante noviembre

Queda claro que en todos los meses hay fluctuaciones muy grandes entre los 0 y 50 MW, muchas veces en cuestión de pocos días. Para poder hacerse una mejor idea de cómo varía la producción de energía se representan las curvas de entrega de potencia para días sueltos, elegidos de forma que representen tanto los periodos donde la producción varía mucho como aquellos donde se mantiene constante a cierto nivel de potencia.



*Figura B.12. Potencia eólica total entregada durante el 12 de enero*



*Figura B.13. Potencia eólica total entregada durante el 18 de febrero*



*Figura B.14. Potencia eólica total entregada durante el 15 de marzo*



*Figura B.15. Potencia eólica total entregada durante el 16 de mayo*



*Figura B.16. Potencia eólica total entregada durante el 16 de julio*



*Figura B.17. Potencia eólica total entregada durante el 9 de agosto*



*Figura B.18. Potencia eólica total entregada durante el 15 de agosto*



*Figura B.19. Potencia eólica total entregada durante el 12 de octubre*

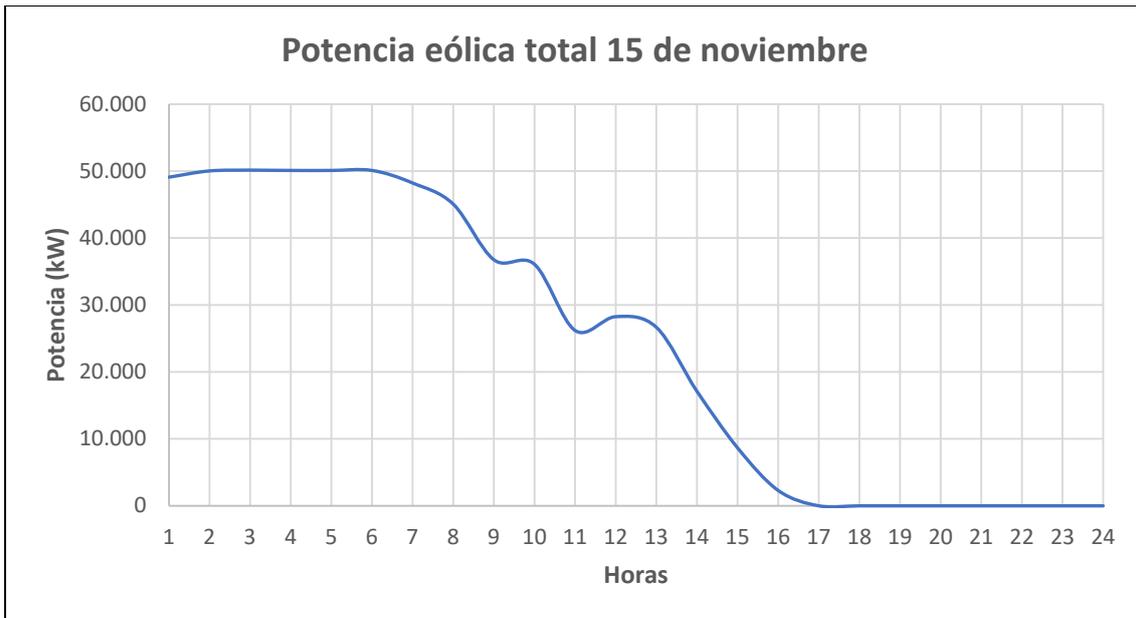


Figura B.20. Potencia eólica total entregada durante el 15 de noviembre

Se observa como la producción de energía en días como el 12 de enero, 18 de febrero y 16 de julio varía del mínimo (0 MW) al máximo (50 MW) o viceversa en cuestión de pocas horas. En días como el 15 de marzo y el 12 de octubre la producción de energía eólica se mantiene constante al máximo de potencia durante casi 24 horas. Durante los días 16 de mayo y 9 de agosto, por ejemplo, la entrega de potencia oscila entre valores que no son demasiado dispares, teniendo en cuenta las variaciones que aparecen en otros casos, aunque si se presentan algunos valles en ciertos momentos del día de más de 20 MW. Por otro lado, en días como el 15 de agosto la producción es prácticamente inexistente hasta que en cierto momento del día hay un pico de más de 40 MW y en otros casos, como el del 15 de noviembre, la evolución de la potencia entregada se puede explicar dividiendo el día en 3 periodos iguales de 8 horas cada uno, donde la producción se mantiene constante al máximo durante el primer tramo, luego disminuye a lo largo de 8 horas para mantenerse constante al mínimo en el tercer periodo.