

Conclusiones y líneas futuras

5.1 Conclusiones

En este proyecto se ha abordado el diseño óptimo de una interconexión eléctrica submarina con generación eólica offshore, conectada a dos países diferentes. La optimización del sistema implica la selección, por separado, de las características técnicas de cada uno de los tramos que lo componen. En el diseño de cada tramo implica la elección de: la potencia nominal, tecnología, secciones, número de conductores, etc. Para ello es necesario tener en cuenta el modo en el que afectan al resultado del problema: la inversión inicial, ingresos y costes de las pérdidas eléctricas. Ingresos y pérdidas son proporcionales al flujo de potencia que a su vez dependen de los precios de venta en los países por lo que también hay que estudiar cuidadosamente la tarifa de acceso, ya que influirá en los flujos de potencia.

El objetivo del problema es obtener la configuración del sistema eléctrico que permita maximizar la rentabilidad del proyecto. Para ello hay que calcular los flujos de potencia mediante un proceso de toma de decisiones en función de, además de la capacidad máxima de la línea, los precios de mercado, la tasa de acceso, el flujo inyectado por los parques eólicos y el inyectado por los países. Con el fin de evaluar dicha rentabilidad se ha generado un conjunto de escenarios correspondientes a la potencia inyectada por los parques y precios horarios que permiten evaluar de forma realista la evolución de dichas variables a lo largo del tiempo. Finalmente para realizar la optimización se ha recurrido a un planteamiento secuencial. Por un lado, para un valor determinado de la potencia objeto, la optimización mediante la exploración de todo el espacio de soluciones (todas las alternativas de diseño posibles). Por otro lado, la selección de la potencia óptima de cada tramo se ha realizado mediante un algoritmo de optimización metaheurístico.

La metodología propuesta se ha probado de forma satisfactoria mediante la evaluación de un grupo de casos, que cubre desde el planteamiento clásico con un único enlace eléctrico por parque hasta la interconexión más compleja descrita. Los resultados muestran que la herramienta propuesta permite afrontar de forma efectiva el problema descrito, teniendo en cuenta todas las variables que intervienen en el mismo de forma que se maximice la rentabilidad del proyecto. En estos resultados se muestra como se permite obtener configuraciones diferentes para cada tramo teniendo en cuenta los

flujos de potencia por cada uno de ellos de forma que se maximice la rentabilidad total del proyecto. Además, se han realizado varios ensayos de sensibilidad en los que se pone de manifiesto cómo afecta a la rentabilidad los precios de la tarifa de acceso, mostrando que dicho parámetro ha de ser seleccionado tras un minucioso análisis. Puesto que existe un valor de la tarifa, dependiendo de las condiciones externas del problema, para el que se consigue un equilibrio entre cantidad de flujo e ingresos que permite la maximización de la rentabilidad.

5.2 Líneas futuras

El trabajo aquí presentado solo se puede considerar como una metodología inicial para lo que pudiera suponer en un futuro una red eléctrica submarina de complejidad equiparable a la existente en tierra firme. La posibilidad de nuevas líneas de trabajo son innumerables dada la gran cantidad de variables que llegan a intervenir en el problema de una forma directa o indirecta. A continuación se presentan algunas ideas sobre las que se podrían encaminar los siguientes pasos hacia un estudio más completo:

- La estructura del sistema eléctrico de este estudio solo estaba compuesta por dos tramos permitiendo la conexión de una única planta eólica. Esta situación encuentra sentido actualmente ya que la mayoría de parques offshore en la zona del mar del norte se encuentran en las costas británicas. Sin embargo, en un futuro cercano estos parques offshore se llegaran a encontrar en la gran mayoría de países o con otros parques ubicados en la misma zona. Sería en esta situación en la que interesaría conocer el comportamiento de un nuevo sistema estructurado en varios tramos que permitirían la conexión de varios parques (o agrupaciones de parques) con diferentes países en lo que sería una red a gran escala submarina que podría tener estructura radial o mallada. Esta situación implicaría la resolución de un problema de gran complejidad para el que los métodos y conclusiones presentadas en este trabajo podrían servir como punto de partida.
- Sistemas de almacenamiento masivo de energía eólica. El viento es una fuente muy variable, lo que implica una generación que no siempre se adapta a las demandas energéticas del mercado. La inclusión de un sistema de almacenamiento energético como: las pilas de hidrógeno, el almacenamiento de aire comprimido o el bombeo de agua permitirían un mejor reparto de la generación del parque. De esta forma se obtendrían unos mayores ingresos por parte del parque en función del precio del mercado. Además este planteamiento también puede ser usado desde el punto de vista del operador del sistema, en cuyo caso la adaptación de la carga permitiría un sistema eléctrico de menor

potencia nominal con la correspondiente disminución de la inversión y mejora de la rentabilidad.

- Este trabajo se ha centrado exclusivamente en el análisis de la rentabilidad desde el punto de vista del operador de la red submarina. Sin embargo, existen otros posibles planteamientos como la consideración del beneficio global teniendo en cuenta la rentabilidad de los parques y de los países involucrados en su conjunto. Otra posibilidad, sería afrontar dicho problema mediante teoría de juegos, ya que los intereses de cada una de las partes involucradas (operados del sistema, parques eólicos, países) son, en cierta medida, divergentes.
- La consideración de modelos de mayor realismo para la generación de escenarios. En el presente estudio se ha tenido en cuenta la evolución a lo largo del tiempo de la generación eólica así como los precios de venta de la energía. Sin embargo, aunque el modelo de generación de escenarios empleado es efectivo para la evaluación de la metodología propuesta, existen diferentes aspectos que podrían dotarse de mayor realismo:
 - Potencia inyectada por los parques eólicos. En este trabajo se han generado los escenarios de potencia inyectada a través de la distribución de Weibull y curva de potencia del aerogenerador. Sin embargo, en una situación más realista sería necesario tener en consideración las pérdidas de generación como consecuencia del efecto de las estelas.
 - Precios de mercado. Los precios de mercado han sido generados considerando que se comportan como una distribución normal. No obstante, el comportamiento de los precios puede ser generado mediante técnicas más realistas considerando, adicionalmente, el efecto que tendría sobre dichos precios las aportaciones de potencia por parte de los generadores eólicos así como el trasvase de potencia entre países.

