

Capítulo 5

Planificación de un parque eólico

5.1.-Diseño preliminar

Una vez que se ha decidido llevar a cabo el proyecto de implantación de un parque eólico, el primer paso a dar es hacer un diseño preliminar. Teniendo en cuenta los condicionantes del proyecto como son:

- Máxima capacidad de evacuación de potencia.
- Área utilizable.
- Accesibilidad.
- Restricciones Medioambientales.
- Restricciones urbanísticas.
- Restricciones arqueológicas.
- Restricciones relativas a las telecomunicaciones.

Una vez son conocidos los condicionantes de proyecto es ya posible un diseño preliminar de parque eólico, que será un proceso necesariamente iterativo, muy dependiente de las características del aerogenerador preseleccionado.

El resultado de este diseño preliminar debe ser:

- Un área de afección.
- Una disposición general preliminar (layout).
- Un rango restringido de modelos de aerogenerador.
- Un diseño básico de las infraestructuras de evacuación.
- Un proyecto básico que permita la solicitud de las autorizaciones a los organismos que competan.

Del Diseño Preliminar debe extraerse el limitante fundamental de proyecto, que serán la capacidad de evacuación de potencia o el área utilizable. El hecho que sea una u otra condicionará completamente el diseño de la instalación.

Si la limitación es la capacidad de evacuación, conllevará al uso más eficiente de los emplazamientos, teniendo elevadas distancias entre máquinas. Usaremos aerogeneradores de tamaño medio.

Si la limitación es el área utilizable, esto no obligara a maximizar la potencia usando aerogeneradores de mayor tamaño y reduciendo las distancias entre las maquinas.

5.2.- Diseño de detalle

El proceso de diseño detallado es conocido como micrositing, precisa de la ayuda de herramientas informáticas específicas, que permiten determinar con razonable precisión la solución más favorable. El tipo de aerogenerador adecuado y el emplazamiento exacto. Aunque en cualquier caso su uso solamente es eficiente y fiable en manos expertas. Es importante destacar que la optimización seguirá criterios diferentes en función de área de implantación motivado esencialmente por los condicionantes impuestos por la administración (habitualmente por visibilidad, factor muy restrictivo en áreas poco montañosas y de población dispersa).

Otros aspectos a considerar son el impacto ambiental producido (muy distinto según las dimensiones de los equipos) y la accesibilidad.

Los datos de partida para la etapa de micrositing serán:

- Coordenadas UTM de los vértices que componen el polígono que inscribe el parque eólico, y coordenadas UTM de los aerogeneradores.
- Disposición de la evacuación factible.
- Orografía de la zona. Necesaria cartografía de detalle (1:1000 curvas de nivel 1 m). Vuelo o levantamiento.
- Características de terreno. Necesario estudio geotécnico completo de la zona.
- Características de las posibles maquinas a instalar.
- Requerimientos del tecnólogo. Áreas de maniobra viales, cimentaciones.
- Requerimientos de la administración. Estudio de impacto ambiental. DIA (Medio ambiente, patrimonio...).
- Requerimientos particulares, de ayuntamientos o de organismos afectados.

5.3.- Selección de Tecnologías. Equipos principales, los aerogeneradores

El proceso de selección es iterativo y se inicia ya durante la fase de diseño preliminar que nos restringe a un rango dimensional determinado.

La tramitación administrativa (por lo menos en España) es otro condicionante muy restrictivo y vinculado a los criterios de las Comunidades Autónomas:

- Existencia de planes industriales.
- Dificultad para re tramitar cambios de poca entidad.
- Criterios acientíficos de aprobación de proyectos.

Como consecuencia en la práctica resulta a menudo que las alternativas tecnológicas son muy escasas.

El contenido de una petición de ofertas formal debe incluir los siguientes apartados:

- Datos detallados de emplazamiento (plano topográfico, red de viales, ubicación prevista de los aerogeneradores,...).
- Datos de recurso eólico filtrados.
- Condicionantes ambientales.
- Características geotécnicas (sólo en casos especiales).
- Tipo de suministro requerido (sólo aerogeneradores, llaves en mano...).
- Condicionantes especiales impuestos por la entidad financiera (garantías, duración mínima de contrato de Operación y Mantenimiento-O&M...).
- Condicionantes impuestos por el gestor de la red de evacuación de energía (reactiva, prestaciones ante huecos de tensión...).
- Necesidades de documentación para el diseño de infraestructuras.
- Requisitos de comunicación.

Los criterios de selección no difieren esencialmente de los empleados en el resto de equipos de producción de energía:

- Precio vs capacidad de producción (análisis de rentabilidad).
- Costes de operación y mantenimiento.
- Garantías.
- Referencias.
- Implantación en el territorio.
- Perspectivas de desarrollo tecnológico.
- Solvencia empresarial del suministrador.

5.4.- Diseño de infraestructuras

Las infraestructuras necesarias para la instalación de un parque eólico se pueden agrupar en:

- Obra civil: Viales, plataformas, cimentaciones.
- Red de media tensión del parque.
- Subestación.
- Línea de evacuación.
- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

5.4.1.-Obra civil

Los trabajos de obra civil vendrán condicionados por la orografía del terreno y características geológicas del emplazamiento. Por tanto se requerirá un estudio geotécnico que aporte como mínimo los siguientes datos:

- Terreno natural de los viales, capacidad portante del mismo, excavabilidad, perfiles litológicos, estabilidad de taludes y características del suelo edáfico.
- Terreno natural en zapatas, características en cada uno de los emplazamientos de las zapatas, tensiones del terreno, estabilidad frente al vuelco, estabilidad frente al deslizamiento.

- Áridos para firmes y posibilidad de reutilización de materiales.
- Niveles freáticos, sismología, agresividad al hormigón...

Los trabajos de obra civil necesarios para la instalación del parque son:

- La adecuación de vías públicas de acceso. Reforma/ampliación de caminos existentes. Ejecución de nuevos viales.

En el diseño de viales se pretenderá, tanto por condicionantes ambientales como económicos, minimizar la longitud de los viales y minimizar el movimiento de tierras, adaptándose al perfil natural del terreno.

Los viales vendrán condicionados por los distintos requerimientos de máxima pendiente longitudinal y transversal, anchura mínima, altura libre (sobre todo en desmontes), radios de curvatura mínimos, rasantes y firmes adecuados al tráfico con suficiente capacidad portante.

5.4.1.1.-Realización de plataformas de acceso

Las plataformas de acceso a cada aerogenerador se usan para el ensamblaje del aerogenerador y montaje del mismo en su posición definitiva. En las plataformas lo que se pretende es conseguir el apoyo correcto de la grúa de montaje, por lo que el relleno con material no es tan crítico como en los viales.

El dimensionamiento de la plataforma vendrá dado por las necesidades del montaje. El incremento de potencia unitaria de los aerogeneradores y consecuente aumento de diámetros de rotor y altura de fustes, ha traído aparejado un importante incremento del área de las plataformas.

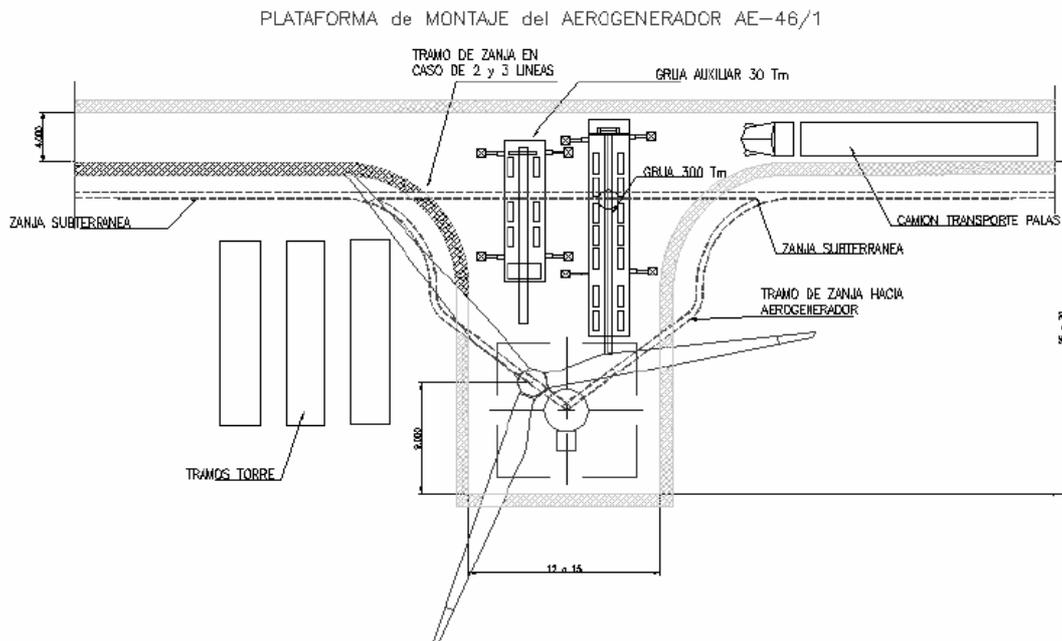


Figura 5.1: Disposición en plataforma de grúas y transporte para el montaje de aerogenerador MADE-AE46. Fuente: Endesa Cogeneración y renovables.

5.4.1.2.-Construcción de cimentaciones

Las cimentaciones deben poder soportar adecuadamente el aerogenerador bajo las condiciones más extremas a las que pueda estar sometido. Normalmente se diseñan para la carga de viento máxima en un periodo de 50 años. El fabricante del aerogenerador es quien define, a partir de los datos de viento que se le proporcionan, las cargas que debe soportar la cimentación. Si se desea, también puede incluir en su suministro, el diseño de la cimentación, para lo que debemos proporcionarle los datos geotécnicos del emplazamiento.

Una cimentación típica puede ser de forma hexagonal o cuadrada, con una dimensión máxima de 15 m y unos 2 m de profundidad. Se lleva a cabo en una excavación y en hormigón armado. En casos particulares donde la resistencia del terreno es muy baja, puede ser necesario pilotaje en la cimentación.

La realización de la cimentación se acompaña con la de la red de tierras de cada aerogenerador.



Figura 5.2: Cimentación convencional para un aerogenerador de 850 kW, 55m de altura y 52 de diámetro de rotor. Fuente: Endesa Cogeneración y renovables

5.4.1.3.-Edificios auxiliares (Control, taller, almacén...)

El edificio de control esta destinado a: taller de mantenimiento, sala de control, vestuarios, almacén, despachos, área de residuos, etc., según las dimensiones y requerimientos de la organización de la explotación del parque. Es conveniente, además de su funcionalidad, cuidar aspectos como su integración en el paisaje, singularidad arquitectónica y posible empleo para instituciones regionales.

Es habitual compartir el edificio de control con las instalaciones que albergan las infraestructuras eléctricas interiores de la subestación de evacuación, especialmente cuando se quiere evitar la proliferación de edificaciones en el entorno.

5.4.2-Red de Media Tensión

El sistema eléctrico de un parque eólico está constituido por:

1-*Elementos de aerogenerador*, formado por los siguientes elementos:

- Generador, cuadros de protección, cables conexión de baja tensión.
- Transformador elevador, baja/media tensión y conductores para la conexión celdas-transformador.
- Celdas de media tensión.

2- *Red subterránea*, conformada por los siguientes elementos:

- Conductores de media tensión, terminales de conexión y empalmes.
- Otras infraestructuras: Red de tierras y cables de comunicaciones.

La red de media tensión (MT) se encarga de enlazar eléctricamente los aerogeneradores hasta la subestación de transformación. La instalación es habitualmente subterránea para reducir el impacto ambiental que implicaría un tendido aéreo y reducir el riesgo que implicaría dicha red aérea para las maniobras de mantenimiento de los aerogeneradores (que podrían requerir de uso de grúas).

El rango óptimo del nivel de tensión de operación se sitúa entre los 10 y los 30 kV, habiendo adoptado muchos fabricantes de aerogeneradores la tensión de 20 kV como estándar de diseño. En muchos casos, sin embargo para parques de elevada potencia es más adecuado el empleo de redes de 30 kV. Para su determinación se debe tener en cuenta:

- Costes de instalación: Coste 30 kV > Coste 20 kV (mayor aislamiento)
- Pérdidas de energía: Pérdidas 20 kV > Pérdidas 30 kV.

En general, tensión de 30 kV se justifica si:

- El parque o agrupación de parques son de elevada potencia (alrededor de 100 MW).
- Grandes distancias entre aerogeneradores o a la subestación transformadora.

El diseño de la red de MT afecta sensiblemente a la economía del proyecto tanto en términos de inversión como de pérdidas energéticas por efecto Joule. En general, el diseño óptimo responde a una red radial con secciones crecientes a medida que nos acercamos a la subestación de transformación, dado que cuanto más cerca de la misma mayor intensidad circula por el conductor ya que más aerogeneradores están aportando su potencia.

Es conveniente ajustar los cálculos de pérdidas energéticas a la distribución de Weibull de parque con el fin de no sobredimensionar los conductores e incrementar inútilmente la inversión.

El conductor se seleccionará en función de la tensión nominal de funcionamiento y el tipo de sistema en el que se va a emplear, (en función de tratamiento de las faltas a tierra -norma IEC 60502):

- Aislamiento 12/20 para U_n de 20 kV y 18/30 para U_n de 30 kV

Habitualmente cable unipolar, de Aluminio, con aislamiento de material sintético:

- RHZ1, polietileno reticulado opcionalmente con obturación longitudinal
- En casos de humedad permanente, es conveniente el uso de etileno-propileno DHZ1.

Las secciones habituales son: 150, 240, 300, y 400 mm². Para el cálculo de la sección debe tenerse en cuenta la intensidad máxima admisible en servicio permanente, la intensidad máxima admisible en cortocircuito durante el tiempo que dure el mismo y la máxima caída de tensión admisible (en general 3%), además de la optimización económica (Ley de Kelvin).

La ley de Kelvin dicta que la sección del conductor económicamente óptima es aquella que hace los costes de la inversión iguales a los costes anuales originados por las pérdidas en dicho conductor.

La ejecución de la zanja es crucial para asegurar la durabilidad de la instalación. Según las características de terreno puede ser recomendable el empleo de tubo corrugado en lugar de tendido directo sobre lecho de arena. Ello tiene consecuencias en relación con las necesidades de arquetas de empalme, posible protección ante la

presencia de roedores, selección de cable por las distintas necesidades de refrigeración...



Figura 5.3: Ejecución de una arqueta de empalme en la red de MT

Fuente: Endesa Cogeneración y renovables.

Es importante la adecuada definición de la sección de la canalización en base a:

- Ubicación de la canalización (campo a través, bajo viales, carreteras asfaltadas...).
- Necesidades de disipación de calor.
- Protección de conductores MT y comunicaciones.

Dentro de la red de media tensión están las celdas de media tensión ubicadas en el interior del fuste de aerogenerador. Las celdas utilizadas en los centros de transformación de los aerogeneradores suelen ser modulares, para facilitar el paso por la puerta de la torre y, en caso de avería de una posición evitar la substitución de todo el conjunto.

Características de las celdas de media tensión:

- Aislamiento, 24 o 36 kV en función de la tensión nominal.
- Intensidad nominal adecuada.
- Corriente de cortocircuito adecuada.
- Tamaño. Se emplea aislamiento en SF6 para reducir sus dimensiones con respecto a las de aislamiento con aire y por su independencia de las condiciones ambientales (recordemos que los parques eólicos se ubican normalmente en ambientes de climatología extrema).
- Adecuación a Reglamento (señalización distancias...).
- Enclavamientos de seguridad.

Características de los Transformadores:

En general los transformadores de interior de aerogenerador son de tipo seco con aislamiento en resina epoxi y ventilación tipo AN.

- Potencia superior a la nominal de aerogenerador.
- Se debe tener en cuenta la altitud a efectos de aislamiento y refrigeración.
- Protecciones Eléctricas: En el lado baja tensión (BT) con interruptor automático y en el lado de media (MT) con ruptofusible.
- Protección térmica, provoca la apertura del seccionador carga.
- Protección Mecánica: Envoltorio que evite contactos con partes activas.

La red de tierras

La red de tierras de un parque eólico se conforma de:

- Malla de puesta a tierra del aerogenerador, de cable trenzado de cobre, conductor desnudo de sección habitual 50 mm². Conectado al acero de la cimentación y conectados a la red de tierras del parque. En los casos donde el terreno requiera una mayor cantidad de electrodo para conseguir la resistividad óptima se dispondrán picas para mejorar el electrodo de puesta a tierra.

- Conductor de unión de la red de tierras de parque. Cable trenzado de cobre, conductor desnudo de sección habitual 50 mm².
- Soldadura aluminotermicas para la unión de los conductores de tierra.

Infraestructura de comunicaciones

Infraestructura de comunicaciones interconecta los aerogeneradores y se lleva a cabo mediante cable de fibra óptica (multimodo o monomodo en función de las distancias). Se deberá definir el esquema de conexión entre aerogeneradores, que no tiene por que ser idéntico al esquema de conexión eléctrico.

El cable de fibra óptica presenta las siguientes ventajas:

- Gran ancho de banda que permite la transmisión de un volumen de datos superior.
- Gran velocidad de transmisión (10 Mbits/sg).
- Fácil detección de averías
- Fácil adición de nuevos canales
- Inmunidad ante la interferencia de campos magnéticos y radiación nuclear.

5.4.3.-Subestación

La Subestación se encarga de interconectar la red de media tensión del parque con la red de alta tensión (AT). Se compone de:

- Celdas de MT.
- Transformador principal MT/AT.
- Celdas o apartamenta de AT.
- Embarrado de AT.
- Equipos de medida.
- Equipos de protección.
- Equipos de comunicaciones.
- Servicios auxiliares.

Las celdas de media tensión actúan como elemento de protección de cada una de las líneas de MT procedentes de los aerogeneradores.



Figura 5.4: Celdas de MT durante la fase de montaje de la subestación. Fuente: Endesa Cogeneración y renovables.

El diseño de la subestación de un parque eólico no difiere en esencia de una subestación de distribución. Al igual que en éstas, habitualmente el transformador MT/AT dispone de un sistema de regulación en carga que permite modificar en determinados momentos, y sin interrumpir el servicio su relación de transformación facilitando de esta manera el mantenimiento de la tensión en unos niveles aceptables para el sistema.



Figura 5.5: Transformador principal. Fuente: Endesa

El aparellaje en AT se instala normalmente a intemperie. El empleo de sistemas blindados o híbridos no es frecuente dado su mayor coste y la inexistencia de limitaciones de espacio en las subestaciones.



Figura 5.6: Aparellaje subestación intemperie. Fuente: Endesa

5.4.4.-Línea de Alta Tensión

La conexión de la subestación de parque eólico con la red de la compañía eléctrica puede realizarse de distintas formas según la potencia del parque y las características de la red. En general, distinguiremos:

- Línea dedicada (solución más frecuente)

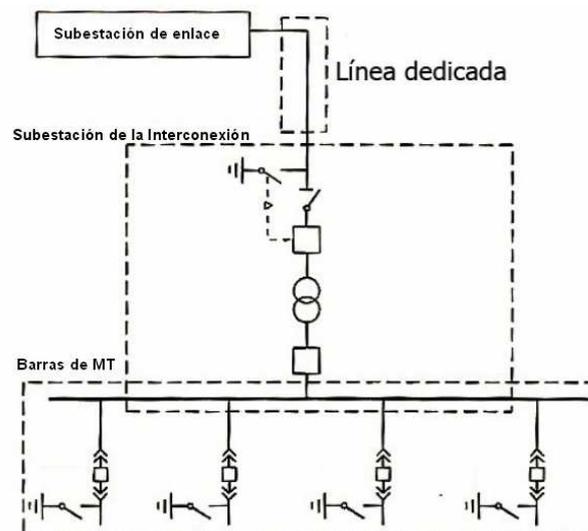


Figura 5.7: Unifilar. Línea de evacuación de potencia. Línea dedicada.

Fuente: Endesa Cogeneración y renovables.

- Línea de enlace (aceptable sólo en determinadas ocasiones)

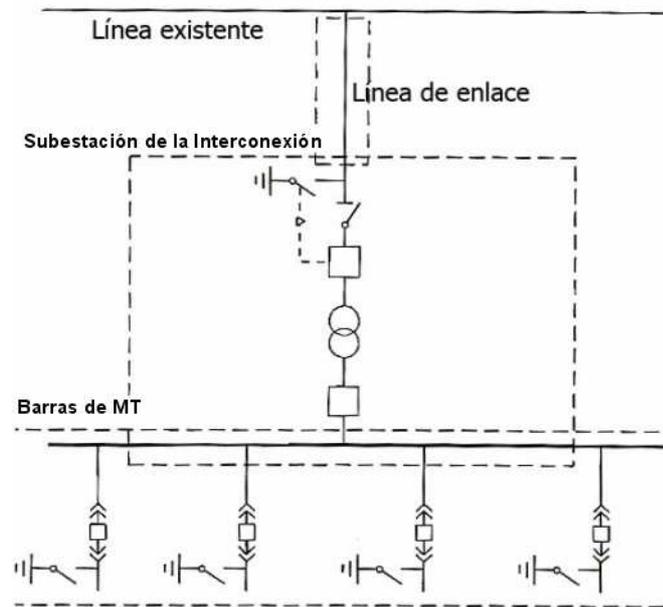


Figura 5.8: Unifilar. Línea de evacuación de potencia. Línea enlace.

Fuente: Endesa Cogeneración y renovables.

- Doble circuito entrada-salida (alternativa técnicamente más adecuada)

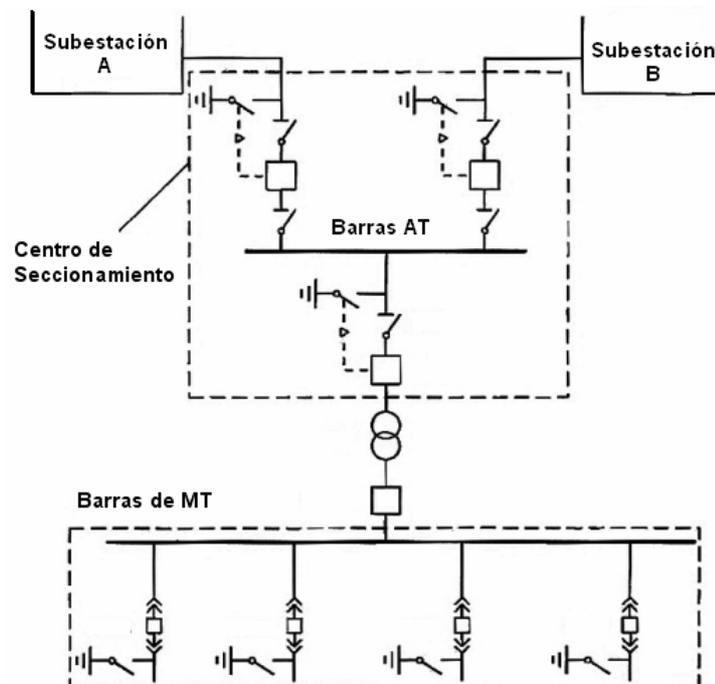


Figura 5.9: Unifilar. Línea de evacuación de potencia. Circuito entrada - salida.

Fuente: Endesa Cogeneración y renovables.

5.4.5.- SCADA

Adicionalmente a los equipos esenciales, para el funcionamiento de parque eólico es importante contar con anemómetros permanentes. Estos equipos permiten comprobar el buen funcionamiento de parque y la adecuación del mismo a los resultados previstos en el plan de negocio.

Como complemento, es importante contar con un SCADA que recopile, en tiempo real, los principales parámetros operativos: viento, producciones individuales, prealarmas, niveles de tensión, et,. todo orientado a asegurar la correcta operación del parque y averiguar posibles causas de desviación, permitir la realización de cálculos relacionados con los parámetros de garantía, etc.

5.5.- Construcción

La construcción de un parque eólico, desde un punto de vista exclusivamente técnico, no presenta dificultades, sin embargo la coexistencia de otros factores ajenos a los puramente relacionados con la ingeniería hace que pueda llegar a ser una tarea muy compleja.

La gestión de la construcción debe conjugar:

- La concurrencia en un mismo emplazamiento, de distintos contratistas, con prioridades y necesidades distintas: la obra civil (y sus subcontratistas), la infraestructuras eléctricas y el acopio y montaje de aerogeneradores.
- Servicios de dirección de obra, geotecnia y topografía.
- Coordinación de seguridad y salud.
- Requisitos medioambientales estrictos y cambiantes según los momentos de año.
- Seguimiento ambiental y arqueológico.
- Posibles conflictos con propietarios derivados de expropiaciones.
- Posible contestación social.
- Trabajo en situaciones meteorológicas con frecuencia extremas.

Y todo lo anterior restringido por unos plazos, presupuestos y calidades estrictos impuestos por el promotor, las entidades financieras y el operador de parque.

Es esencial la coordinación por parte de gestores expertos que puedan tomar decisiones con agilidad, que controlen el presupuesto de proyecto y que sean conscientes de los riesgos asumidos.

Es esencial adaptar la planificación a las realidades del proyecto, como son la topología del terreno, la climatología, estado de las autorizaciones, etc. y a los ritmos de construcción y montaje de acuerdo con el tamaño de las infraestructuras.

Existen riesgos importantes vinculados a la construcción:

- Errores en la planificación:
 - Influencia económica muy negativa de retrasar el inicio de la explotación.
 - Pérdida de credibilidad ante las administraciones.
 - Gran dependencia del suministrador de aerogeneradores.
 - Las infraestructuras de evacuación no siempre dependen del Promotor.
- Riesgos económicos, generadores de desvíos presupuestarios.

Deben implementarse mecanismos de control que permiten minimizar estos riesgos:

- Establecer una planificación de detalle y detectar puntos críticos.
- Planificar con antelación las actividades con interacción con terceros (ej. Conexión con la red).
 - Diversificar la contratación de proveedores. Evitar la dependencia de un único Contratista.
 - Trabajar con proveedores con experiencia en instalaciones similares.
 - Hacer un seguimiento exhaustivo de los puntos críticos: presencia en obra de representante del Promotor reuniones semanales de seguimiento.
 - Estimación de presupuesto en base a ofertas, anteproyectos y sobre todo teniendo en cuenta la experiencia previa.
 - Contratación de obra (entera o por paquetes) bajo la modalidad llave en mano, asegurando que la oferta se ajusta con precisión a los trabajos que realmente se requieren.

5.6.- Puesta en servicio

La puesta en servicio se inicia con la energización de la línea de Alta Tensión y prosigue con la de la subestación, operaciones que, en condiciones normales, suelen requerir entre 5 y 10 días, atendiendo a la necesaria participación de personal de la compañía eléctrica distribuidora para la comprobación de equipos de medida coordinación de protecciones, pruebas de teledisparo, documentación contractual; persona de la administración para actas de puesta en marcha y legalizaciones adicionales; la contrata que ha realizado la obra y especialistas.

Una vez realizado, el proceso continúa con la energización de las celdas de MT de cada uno de los centros de transformación de los aerogeneradores, momento a partir de cual se dispone ya de tensión en cada aerogenerador y se realizan pruebas del correcto funcionamiento. Es posible su puesta en servicio, operación que suele durar entre 1 y 2 días por unidad.

Las labores posteriores a la puesta en servicio son recepción provisional de las instalaciones, formación del personal de explotación de la instalación, seguimiento de funcionamiento durante período de garantía y la recepción definitiva de las instalaciones.