

---

# Estudi de cas: logística per a l'obra civil

---

PID\_00266636

Enrique Martín Alcalde

---

Temps mínim de dedicació recomanat: 3 hores

---



**Enrique Martín Alcalde**

Doctor Enginyer de Camins, Canals i Ports, i màster en Shipping Business per la UPC-BarcelonaTech. Completa la seva formació amb un Programa de Direcció per EADA i estades internacionals en TUDelft (Països Baixos) i PNU (Corea del Sud). És director de l'Oficina Tècnica d'Innovació de l'Autoritat Portuària d'Algesires i consultor de logística en IDOM. Anteriorment va treballar al Centre d'Innovació del Transport (CENIT) i l'enginyeria TEC4. Compta amb més de 10 anys d'experiència en projectes d'innovació, consultoria i recerca. És autor de diverses publicacions sobre logística i transport marítim.

L'encàrrec i la creació d'aquest recurs d'aprenentatge UOC han estat coordinats pel professor: Eduard Josep Álvarez Palau (2019)

Primera edició: setembre 2019  
© Enrique Martín Alcalde  
Tots els drets reservats  
© d'aquesta edició, FUOC, 2019  
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona  
Realització editorial: FUOC

*Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars dels drets.*

# Índex

<b>1. Introducció al cas.....</b>	<b>5</b>
1.1. La indústria de l'energia eòlica .....	5
1.2. Els parcs eòlics .....	5
1.3. La cadena de valor de l'energia eòlica .....	7
<b>2. Descripció general del projecte.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Etapes i fases del projecte.....</b>	<b>11</b>
3.1. Preparació per a l'execució .....	11
3.2. Construcció i execució de l'obra civil .....	12
3.3. Operacions logístiques i de transport .....	18
3.4. Muntatge dels aerogeneradors .....	20
<b>4. Reptes logístics i de transport associats al projecte.....</b>	<b>22</b>
<b>5. Proposta tècnica per a donar solució als reptes logístics i de transport del projecte.....</b>	<b>23</b>
5.1. Dades de partida o condicionants per a dur a terme durant el repte .....	23
5.1.1. Origen i destinació dels aerogeneradors .....	23
5.1.2. Característiques dels aerogeneradors .....	23
5.2. Anàlisi i caracterització de la solució logística i de transport .....	24
5.2.1. Operativa portuària .....	24
5.2.2. Transport terrestre .....	28
5.2.3. Operacions de muntatge dels aerogeneradors .....	32
<b>Bibliografia.....</b>	<b>35</b>





## 1. Introducció al cas

### 1.1. La indústria de l'energia eòlica

L'energia eòlica és una font d'energia neta i inesgotable i, per tant, pertany al conjunt de les energies renovables. També s'inclou en el grup de les denominades energies alternatives per a combatre l'emissió de gasos d'efecte hivernacle i preservar el medi ambient. De fet, és l'energia alternativa més estesa a escala internacional per potència instal·lada (MW) i per energia generada (GWh).

Espanya és un dels principals països del món en integració de l'energia eòlica a la xarxa i el cinquè país del món en potència eòlica instal·lada (23.484 MW eòlics, repartits en 1.123 parcs eòlics de 807 municipis<sup>1</sup>), després de la Xina, els Estats Units, Alemanya i l'Índia. Cal destacar que, durant l'any 2018, el sector eòlic a Espanya va proveir el 19% de l'energia consumida, és a dir, l'equivalent a 12 milions de llars (AEE, 2018), a un preu mitjà de 12 cèntims d'euro per kWh.

<sup>(1)</sup><https://www.aeeolica.org/>

A escala internacional, l'energia eòlica instal·lada al món va créixer el 9,6% en 2018 fins a situar-se en 591.000 MW segons dades del Global Wind Energy Council (GWEC). La Xina lidera el rànquing, amb una potència total instal·lada de 211.392 MW, seguida dels Estats Units, amb una potència de 96.665 MW.

Finalment, cal indicar que la indústria de l'energia eòlica és de vital importància i clau per a complir l'objectiu europeu que el 32% del consum d'energia procedeixi de fonts renovables l'any 2030.

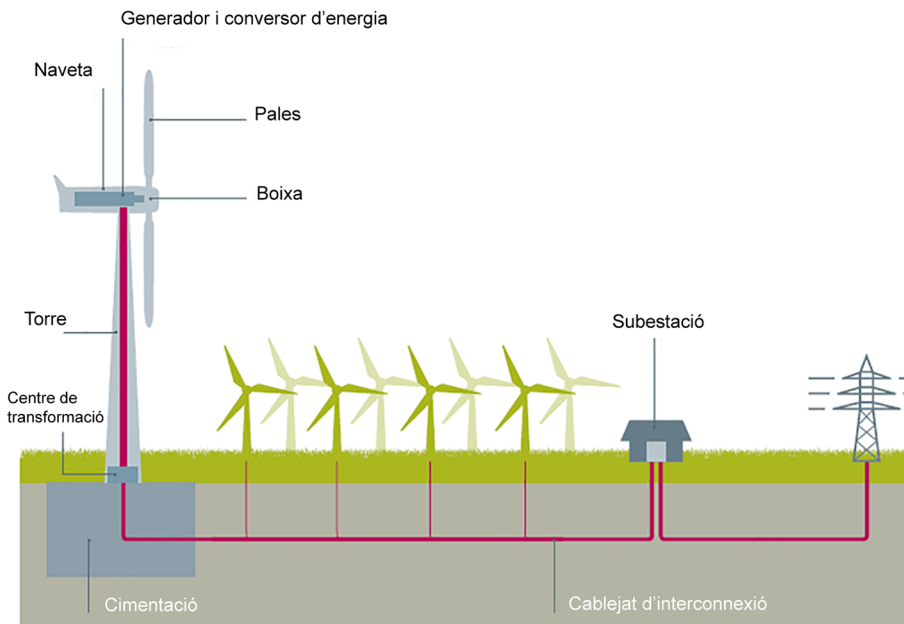
### 1.2. Els parcs eòlics

Un **parc eòlic** és una central on es produeix energia elèctrica a partir de la força del vent mitjançant la utilització d'energia cinètica produïda per efecte dels corrents d'aire mitjançant l'ús d'aerogeneradors, també coneguts com a aeroturbinas.

Els parcs poden constituir-se com a centrals de generació aïllada amb aprofitament directe (parcs amb un o dos aerogeneradors) o bé com a centrals amb connexió a la xarxa elèctrica de les aeroturbinas de gran potència.

La vida útil d'un parc eòlic se situa entorn dels vint anys. Un parc eòlic està format principalment per aerogeneradors, fonamentacions, camins interiors i accessos, subestació elèctrica i cablejat elèctric necessari (figura 1). Se solen situar en zones amb característiques específiques relatives a velocitat, freqüència i direcció del vent, i en general s'han d'instal·lar en sòls no urbanitzables. Al seu torn, s'han de situar a més d'un quilòmetre dels nuclis urbans per a evitar la contaminació acústica, i han de respectar l'avifauna de l'entorn. Per a això, si cal, caldrà instal·lar un pas per a aus migratòries entre grups d'aerogeneradors.

Figura 1. Esquema d'un parc eòlic connectat a la xarxa elèctrica, i elements d'un aerogenerador



Font: <http://www.comunidadism.es>

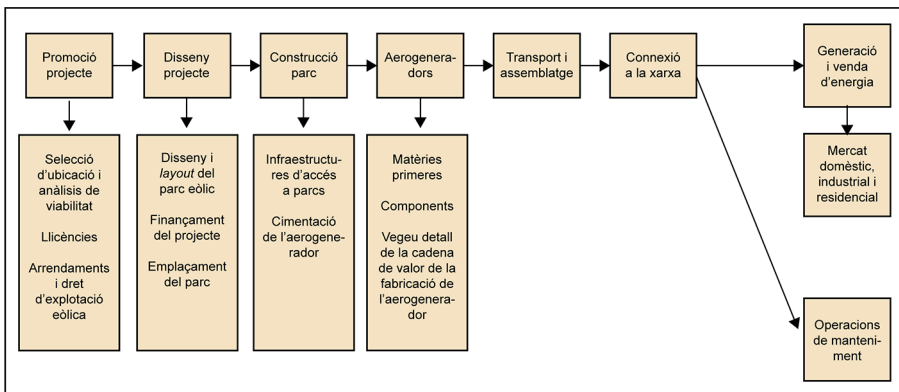
També cal tenir en compte que els aerogeneradors s'han de col·locar de manera òptima i que les turbines s'han de situar a certa distància les unes de les altres per qüestions d'aerodinàmica, ja que el pas del vent per les pales d'un aerogenerador genera turbulències. Com a norma general, la separació entre aerogeneradors és de cinc a nou diàmetres de rotor en la direcció dels vents dominants, i de tres a cinc diàmetres de rotor en la direcció perpendicular als vents dominants.

Finalment, des d'un punt de vista econòmic i d'inversió, cal tenir en compte que com més gran sigui la potència unitària dels aerogeneradors menor nombre d'unitats seran necessàries per al parc. Això comporta un estalvi en espai ocupat, ja que, encara que hagi d'haver-hi un major espai entre els aerogeneradors perquè són més alts i la regla general és separar-los al doble de l'altura de la torre, el nombre disminueix prou per a estalviar un espai considerable. Per la seva banda, l'obra civil en forma de camins entre aerogeneradors i fonamentacions es veu disminuïda significativament, igual que l'obra i l'equipament elèctric, ja que el nombre de metres de rasa i de cable de mitja tensió que transcorren pel parc és menor.

### 1.3. La cadena de valor de l'energia eòlica

Finalment, abans de procedir a analitzar el projecte de construcció del parc eòlic, és interessant analitzar la **cadena de valor de l'energia eòlica**, és a dir, identificar i caracteritzar els diferents passos des que s'estudia la viabilitat d'un parc eòlic fins que es connecta a la xarxa i se subministra l'energia als mercats domèstic, industrial i residencial.

Figura 2. Esquema de la cadena de valor de l'energia eòlica



Font: Universitat de Deusto

Tal com es mostra en la figura 2, la cadena de valor de l'energia eòlica es compon dels elements següents:

- La fase inicial consisteix a **promocionar el projecte**, que inclou, entre d'altres, seleccionar l'emplaçament i analitzar la viabilitat tecnicoeconòmica del projecte de parc eòlic. En aquesta fase també és necessari obtenir les autoritzacions de l'Administració pública i adquirir els arrendaments i els drets d'exploració eòlica. Així mateix, aquí es tracten els temes de finançament dels projectes i inversió.
- La segona fase consisteix a **dissenyar el parc eòlic** i la seva distribució.
- La tercera fase és **fabricar els aerogeneradors**, formats per nombroses parts i components.
- La quarta fase consisteix a **construir l'emplaçament**, que inclou preparar les vies d'accés i instal·lar les bases per als aerogeneradors (obra civil).
- Una vegada fabricat l'aerogenerador, es **transporten els components** fins a l'emplaçament del parc eòlic. Es tracta d'una fase crítica, ja que implica manejar components de formes especials, amb un gran pes i longitud.
- La sisena fase consisteix a **muntar i assemblar l'aerogenerador**.
- La setena fase és **connectar-lo a la xarxa i posar-lo en operació**, que inclou tant planificar el personal de l'emplaçament com engegar l'aerogenerador i gestionar les fallades i aturades. Aquí també té lloc la pre-

venció i la predicció, és a dir, planificar els serveis de prevenció (inspeccionar periòdicament els equipaments, canviar l'oli i filtres, calibrar sensors electrònics, netejar les pales) i organitzar els serveis per a reparar el mal funcionament dels components.

- La fase final de la cadena de valor consisteix a **generar i vendre l'energia**.

En aquest context, i atès el propòsit del mòdul de l'assignatura de logística sectorial, es dona especial importància a les fases d'obra civil, transport dels components de l'aerogenerador fins a l'emplaçament del parc eòlic i operacions de muntatge i assemblatge dels aerogeneradors.



Els aerogeneradors instal·lats tindran una potència nominal d'entre 3,0 i 4,5 MW, una altura de torre compresa entre 120 i 131 metres, un diàmetre entre 132 i 150 metres i una velocitat d'arrencada i parada de 3 i 25 m/s respectivament. El model d'aerogenerador utilitzat serà el de la companyia Vestas V150-4.2.

Actualment, el parc eòlic està en fase de projecte i s'espera que entri en operació a la fi de l'any 2022, moment en el qual també estarà llesta la línia d'alta tensió que s'està construint. La propietat i dret d'explotació del parc eòlic pertany a la companyia AES Colombia, propietària d'una de les plataformes tecnològiques més avançades de Colòmbia i responsable del 6% de la generació d'energia del país, tota 100% renovable<sup>2</sup>.

<sup>(2)</sup><https://www.aescol.com/>

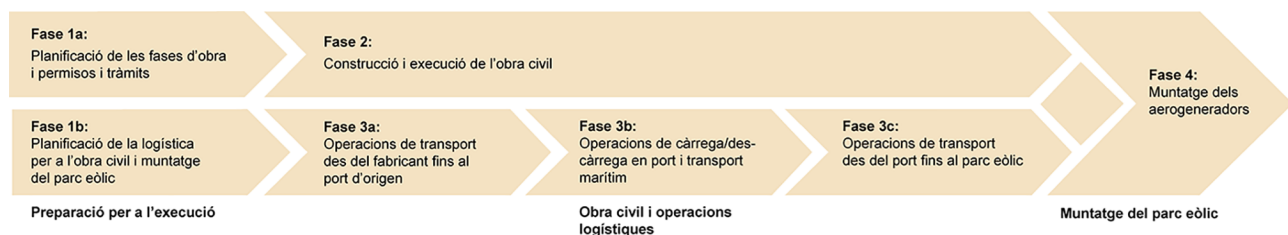
### 3. Etapes i fases del projecte

El projecte de **construir i muntar els parcs eòlics** s'ha estructurat en quatre etapes:

- preparació
- obra civil
- operacions logístiques i transport
- muntatge

I, al seu torn, el projecte s'ha dividit en set fases i subfases, en les quals la coordinació és crítica per a complir els temps i el pressupost assignats. Després de la fase de construir i muntar els aerogeneradors, hi ha la fase d'engegar-los i connectar-los al Sistema Interconectado Nacional (SIN) a partir de l'any 2022. La figura 4 mostra conceptualment la coordinació temporal d'aquestes fases i subfases de projecte.

Figura 4. Esquema conceptual amb les principals fases del projecte de construcció dels parcs eòlics



Font: elaboració pròpia

Tal com es veu, el projecte pren dues vies complementàries, que poden discórrer en paral·lel: obra civil d'una banda, i operativa logística i de transport de l'altra, que s'uneixen finalment amb l'operativa de muntatge dels aerogeneradors una vegada finalitzades les tasques de fonamentació i tinguem a disposició tant les grues que assistiran durant el procés d'assemblatge com les peces que componen els molins eòlics (torre, naveta, pales, caixa, etc.).

#### 3.1. Preparació per a l'execució

Aquesta etapa preparatòria del projecte es porta a terme de manera separada entre la part d'obra civil i la part de logística i transport, i tenint en compte els requeriments d'equips, els costos d'obra i personal, la tramitació de permisos, la selecció de proveïdors, etc. A continuació, es detallen les principals tasques que cal fer en cada cas:

Taula 2. Desglossament d'activitats que formen part de l'etapa de preparació per a l'execució

Planificació de les fases d'obra civil	Planificació de l'operativa logística
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtenció de permisos operatius i d'obra: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ús de vies.</li> <li>– Obres de zona d'apilament temporal.</li> <li>– Obres o adequació de via principal.</li> </ul> </li> <li>• Selecció i contractació de proveïdors, contractistes de les obres civils i electromecàniques.</li> <li>• Permisos mediambientals.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anàlisi de rutes per a transportar les peces des de la fàbrica d'origen fins a l'emplaçament final.</li> <li>• Estudi tècnic de càrregues i verificació de radis de girs, pendents, interseccions, etc.</li> <li>• Selecció del port per a dur a terme l'operativa de càrrega i descarrega.</li> <li>• Contractes de noliejament (<i>charter party</i>).</li> <li>• Pla d'estiba i trincatge.</li> <li>• Sol·licitud dels permisos d'ús de vies de transport i utilització de maquinària i vehicles especials.</li> </ul>

### 3.2. Construcció i execució de l'obra civil

La construcció dels parcs eòlics porta associada una obra civil per a construir els camins i les plataformes que s'utilitzaran durant el muntatge dels aerogeneradors. Els vials i les plataformes romandran durant la vida útil de l'explotació amb la finalitat de poder fer operacions de manteniment.

Per tant, aquesta etapa té com a objectiu condicionar els accessos per a dur a terme el transport dels aerogeneradors i altres equips complementaris, i construir vies internes, infraestructures auxiliars d'enginyeria, edificis d'explotació, estació elèctrica per a transferir l'energia produïda per cada aerogenerador cap a la xarxa de la companyia elèctrica i, finalment, fer la fonamentació per a ancorar l'aerogenerador al terreny.

A continuació, s'indiquen de manera resumida les principals tasques projectades per a construir els cinc parcs eòlics, tenint en compte els requisits i recomanacions del fabricant Vestas.

#### 1) Construcció i adequació dels vials d'accés i interiors del parc eòlic

Les tasques o activitats que s'inclouen són:

- Abalisar les zones de treball.
- Adequar les superfícies d'apilament de materials.
- Fer el desembarassament i l'estassada.
- Esplanar i moure terres per a adequar el terreny.
- Construir el ferm amb materials no asfàltics (llast).
- Fer les obres de drenatge al llarg del traçat del vial.
- Eliminar els materials sobrants i les instal·lacions provisionals.
- Emmagatzemar i fer el tràfec d'olis i combustibles.

Els criteris de disseny exigibles per a traça els vials per al model d'aerogenerador escollit (Vestas V150 4.2) són:

#### Lectura recomanada

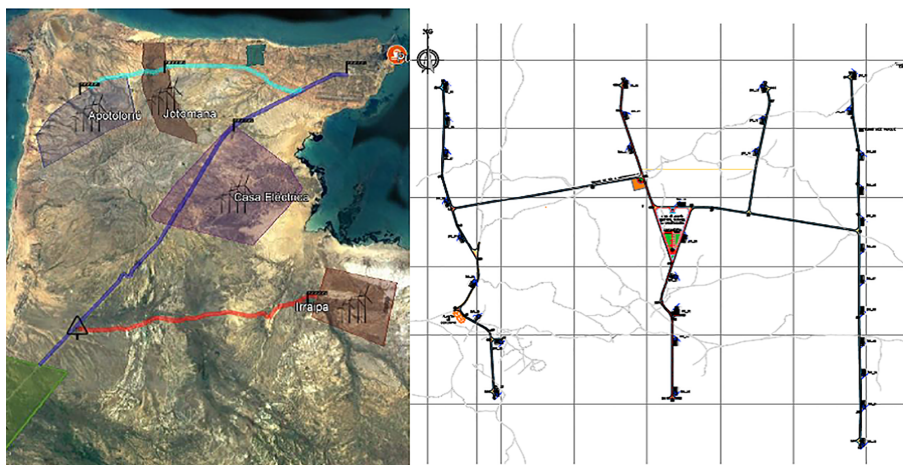
Vestas (2010). *Road, Crane Pad and Hardstand Specifications for Vestas Turbines Ranners* (Dinamarca): Technology R&D - Vestas Wind Systems A/S.



- Els vials d'accés al parc i els interns han de tenir un ample mínim de 5,5 metres amb un voral d'1 metre com a mínim.
- El pendent màxim longitudinal d'aquests vials ha de ser de 8 graus.
- El pendent màxim transversal (gradient) ha de ser de 2 graus com a màxim.
- La capacitat dels vials ha de ser de 17 tones de càrrega per eix i de 180 kN/m<sup>2</sup> com a mínim per a garantir un transport segur.
- El radi de curvatura (convexa i còncava) o acord vertical ha de ser de 200 metres com a mínim .
- Les interseccions dels vials d'accés als vials interns del parc han de tenir un radi de curvatura mínim de 45 metres.
- Per a les maniobres dels tràilers o camions a les interseccions (*hammerhead*) s'aconsella deixar un espai lliure en horitzontal i vertical de 75 metres com a mínim.
- Per a moure grues muntades a la zona d'obra, es recomana:
  - Un ample de via de 6,5 metres i un ample lliure d'11 metres.
  - Una capacitat de càrrega del terreny o ferm de 250 kN/m<sup>2</sup>.
  - Un pendent màxim longitudinal del 6%.

Alguns dels camins han de tenir caràcter provisional, per la qual cosa el seu ús es limita a aquesta primera fase d'execució de les instal·lacions. Uns altres, però, constituïran les pistes d'accés per al manteniment i el control operatiu que s'hagin de fer durant la vida útil del parc.

Figura 5. Vies d'accés als parcs eòlics i plànol de vies internes del parc eòlic d'Irraipa



Font: IDOM i elaboració pròpia

Tenint en compte els criteris anteriors i la situació actual de la zona de projecte (vegeu la taula 3), s'estima que l'adequació de les vies internes dels parcs eòlics requereix construir els tipus de via i terraplens següents:

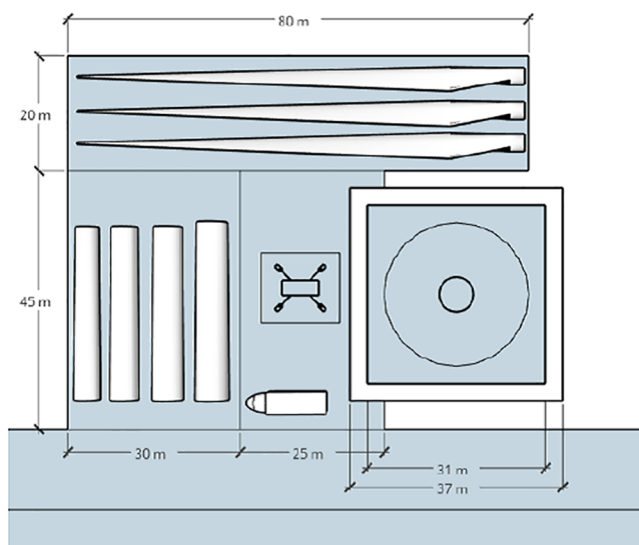
Taula 3. Detall de la vies internes projectades per als parcs eòlics

Projecte	Longitud (km)	Tipus de via	Terraplè (m <sup>3</sup> )
Irraipa	11	Tipus 1 (terraplè de 0,4 m)	56.000
Carrizal	39	Tipus 1 (terraplè de 0,4 m)	109.000
Casa Eléctrica	36	Tipus 2 (terraplè de 0,2 m)	50.000
Apotolorrú	15	Tipus 2 (terraplè de 0,2 m)	21.000
Jotomana	18	Tipus 2 (terraplè de 0,2 m)	25.000
Total	128		261.000

## 2) Construcció de les plataformes de muntatge i maniobra

Al costat de cada aerogenerador s'ha d'habilitar una àrea de maniobra (plataforma) que permeti apilar els elements de muntatge i permeti ubicar-hi grues i camions emprats en l'hissatge i muntatge de l'aerogenerador.

Figura 6. Exemple de planta de detall d'una plataforma de maniobra (proposta per al projecte)



Font: IDOM i elaboració pròpia

En aquest sentit, el fabricant danès Vestas recomana els paràmetres de disseny següents per a aquesta plataforma de muntatge:

- Zona de maniobra mínima de la grueta principal de 25 x 50 metres, disposada als voltants de la fonamentació de l'aerogenerador, per a acomodar la grueta.
- Pendent longitudinal i transversal, màxim de 2 graus, de la plataforma de muntatge.

- Zona de dipòsit temporal per a la naveta (*nacelle*), de 7 x 50 metres, dins del radi de treball de la grua principal.
- Zona d'apilament temporal per a les pales de 20 x 80 metres dins del radi de treball de la grua principal.
- Zona d'apilament temporal per als trams de torre de 30 x 45 metres dins del radi de treball de la grua principal.
- El ferm d'aquesta zona, per sota de la plataforma de muntatge, és aconsellable que sigui de llast natural o artificial, amb el 0% de pendent i una capacitat portant de 250 kN/m<sup>2</sup> com a mínim.

Les accions d'execució de la plataforma són idèntiques a les que s'han exposat per als vials d'accés, i les necessitats de superfície per al projecte eòlic són les següents:

Taula 4. Superfície requerida per a les plataformes de muntatge

Parc	Aero-generadors	Tipus de sòl	Àrea plataformes (m <sup>2</sup> )	Volum plataformes (m <sup>3</sup> )
Irraipa	33	Tipus 1	134.475	53.790
Carrizal	65	Tipus 1	264.875	105.950
Casa Eléctrica	60	Tipus 2	244.500	48.900
Aptolorry	25	Tipus 2	101.875	20.375
Jotomana	30	Tipus 2	122.250	24.450
Total	213		867.975	253.465

### 3) Construcció i adequació d'un campament d'obra

Dins de la zona d'obra s'ha d'habilitar una campa (esplanada de terreny condicionat) com a instal·lació auxiliar, en la qual se situarà el campament d'obra i zones d'apilament de materials, equips i mitjans. Aquesta zona també ha de tenir un punt net, dotat de contenidors per a segregat residus i, a més, un espai per a rentar formigoneres.

### 4) Construcció de les edificacions annexes

Construcció dels edificis d'explotació relacionats amb les operacions de control i a la subestació col·lectora de la planta.

El centre de control del parc és més o menys complex, i alberga generalment els llocs de comandament per a control i manteniment, magatzem i serveis administratius. Per a això, es requereix una planta rectangular (de 10 metres d'ample, 25 de llarg i 6 d'alt) i construccions auxiliars per a proveir aigües i fer el sanejament. Les accions principals del procés són:

- adequació de superfícies d'apilament
- desembarassament i estassada
- esplanació i excavació
- realització d'estructures civils (edificis i fosses)
- Ús de vehicles i maquinària específica

### 5) Sabates i fonamentació dels aerogeneradors

L'execució de les fonamentacions de la torre s'ha de fer amb formigó armat i, en funció del tipus de terreny, pot ser del tipus sabata superficial o fonamentació mitjançant estaquas. Els procediments constructius que cal seguir són:

- Excavar el forat (4-5 metres de profunditat) per a la sabata superficial amb maquinària pesant o amb la màquina d'estaquas a les zones d'Irraipa, Carrizal i algunes de Casa Eléctrica.

S'estima que almenys el 50% dels aerogeneradors del parc eòlic del projecte requerirà fonamentacions amb 24 estaquas per aerogenerador d'1 metre de diàmetre i entre 16 i 20 metres de profunditat. El rendiment de la màquina és de dues al dia.

En el cas de les sabates, i si les característiques del terreny ho requereixen, s'han d'emplenar amb pedres i formigó (llast artificial) fins a la cota requerida.

En total s'estima que serà necessari excavar i moure aproximadament 375.000 m<sup>3</sup> de terra.

- Col·locar formigó de neteja o d'anivellació (capa de 10 a 15 centímetres i pendents de 0,2 a 1%), sobre el qual s'instal·la el ferrallatge de l'armadura inferior. S'ha d'emprar acer del tipus B500-SD amb diferents diàmetres.
- Inserir i posicionar la virolla a l'excavació.
- Ferrallar l'armadura superior, en la qual s'introdueix una part del ferro a través de la virolla per assegurar-ne la unió amb la llosa de formigó.
- Crear la llosa de formigó per formar la sabata de l'estructura eòlica mitjançant una bomba de formigonada.

La virolla o fust, una vegada formigonada per dins i per fora, sobresurt de 40 a 50 centímetres sobre el nivell de la plataforma per a facilitar l'operació amb la resta dels trams de la torre.

#### Virolla

Ancoratge de la torre eòlica que s'introdueix en la fonamentació.

Les dimensions de la plataforma o esplanada de les torres també venen establertes pel fabricant Vestas i han de ser de planta circular amb un diàmetre de 23 metres, una llosa d'1 metre de cantell, un con d'1,7 metres de cantell i un fust de 0,5 metres d'altura.

Figura 7. Detall de la fonamentació de planta circular d'una torre eòlica



Font: <http://www.arquitecturaenacero.org>

A continuació, es resumeixen els **treballs de fonamentació** projectats per al parc eòlic:

Taula 5. Fonamentacions profundes i superficials per als aerogeneradors

Parcs	Aerogeneradors	Fonamentació superficial		Fonamentació profunda			Total
		Volum formigó (m <sup>3</sup> )	Pes acer (t)	Estaques (Q)	Excavació per parc (m <sup>3</sup> )	Formigó (m <sup>3</sup> )	Formigó total (m <sup>3</sup> )
Irraipa	33	26.705	2.938	792	12.441	12.441	39.145
Carrizal	65	52.600	5.786	1.560	24.504	24.504	77.105
Casa Eléctrica	60	48.554	5.341	0	0	0	48.554
Jotomana	25	20.231	2.225	0	0	0	20.231
Apotolorrú	30	24.277	2.670	0	0	0	24.277
Total	213	172.367	18.960	2.352	36.945	36.945	209.312

## 6) Instal·lació elèctrica (subestació)

El sistema elèctric del parc eòlic té per objecte transferir l'energia produïda per cada aerogenerador cap a la xarxa del SIN, ja que l'energia elèctrica no es pot emmagatzemar en grans quantitats. Per al projecte en qüestió, s'estima que es requerirà una subestació per parc i potser una subestació elèctrica per a la connexió amb el SIN.

Aquesta connexió i complex de subestacions hauran d'estar compostos pels elements següents:

- Instal·lació elèctrica de baixa tensió (BT): pot ser interna en cada aerogenerador o bé externa.
- Xarxa subterrània de mitjana tensió (MT): connecta els aerogeneradors entre ells i a la subestació del parc eòlic.
- Presa de terra: a més de les canalitzacions descrites, cada aerogenerador ha d'estar proveït d'una canalització específica per a la xarxa de terra, amb excavació d'una rasa d'un metre de profunditat per 0,40 d'amplària, reblida amb terra vegetal i material procedent de la mateixa excavació o préstec.
- Subestació transformadora MTIAT: és una estructura prefabricada mixta que transforma l'electricitat de MT de les línies de transmissió del parc en valors de tensió superiors (AT).
- Evacuació en alta tensió (AT): la manera més eficient de transportar l'energia produïda pel parc eòlic és l'alta tensió, que comporta disminuir les pèrdues a causa de caigudes de tensió per resistència i reactància.

### 7) Rases, cablejat i clavegueram

L'enterrament dels cables de tensió s'ha de dur a terme en rases contigües als vials o bé mitjançant creuaments o arquetes d'entroncament.

Aquestes rases per a cablejat es reforcen amb una capa de formigó i una estructura metàl·lica perquè l'aigua fluent no en deteriori la superfície i els conductors quedin al descobert.

La secció d'aquestes rases és formada pels elements següents: material de farciment, placa de protecció, material procedent de l'excavació i ciment a la capa superior. Els cables han d'anar a la part inferior de la capa de farciment.

Per a dur a terme el conjunt d'actuacions i procediments de construcció indicats, cal usar retroexcavadores, plantes de formigó, bombes de formigó, màquines d'estaques i plantes de doblegatge i tall d'acer.

### 3.3. Operacions logístiques i de transport

Les **operacions de logística i transport** associades a la construcció d'un parc eòlic suposen una de les fases més complexes. Això és degut, d'una banda, a la necessitat d'un transport amb equip especialitzat per moure les peces de grans dimensions (estructures molt pesades i voluminoses) que conformen els

aerogeneradors port a port i porta a porta, i d'altra banda, la pròpia logística de les grues i la maquinària que es requereix per a l'hissatge, el muntatge i l'assemblatge dels aerogeneradors (torre, pales, toro, góndoles, etc.).

Referent al **transport port a port**, resulten claus les operacions següents:

- Contractació d'un buc sencer, o pòlissa de noliejament d'un buc i concert de les pòlisses d'assegurança corresponents a càrrec del projecte. En el transport de grans càrregues, se solen diferenciar dos tipus de relacions contractuals: la relació contractual del client (importador o exportador de càrregues de projecte) amb l'operador logístic que organitza l'operació, i la relació contractual de l'operador logístic amb les empreses transportistes que executen el transport. Tots dos tipus de relacions presenten elements fonamentals que cal tenir en compte, com la distribució de responsabilitats, entre d'altres. (Bohoyo, 2017).
- Operacions portuàries de càrrega i descarrega:
  - Recepció de les peces al port d'origen fins a l'embarcament.
  - Estiba i desestiba de les peces i components dels aerogeneradors.
  - Trincatge de les peces per a un transport segur.
  - Recepció de les peces al port de destinació i apilament (dipòsits duaners o fiscals).
- Tràmits per al despatx duaner.
- Transport marítim entre ports.

Cal indicar que tant les operacions de càrrega i descarrega de les peces com el seu trincatge s'han de fer segons el pla d'estiba corresponent i tenint en compte les indicacions que estan explícites del manual de subjecció de la càrrega (CSM) del vaixell, basat en els principis establerts en el codi CSS. En aquest manual es documenten els tipus de càrrega per a les quals un vaixell és adaptat per al transport, i com ha de ser carregada, estibada i assegurada.

Per això, en els contractes de noliejament corresponents, el noliejador o carregador i/o els asseguradors de la càrrega solen incloure un requisit referent al nomenament d'un expert en costos independent, la responsabilitat del qual és revisar, aprovar i monitorar totes les operacions de càrrega, estiba i assegurament de la mercaderia.

En el transport **porta a porta**, destaquen les fases següents:

- Transport terrestre des de la fàbrica fins a la zona de recepció del port d'origen.
- Transport terrestre des de la terminal portuària de descàrrega fins a la zona d'apilament als voltants del port.

#### Lectura recomanada

L. Bohoyo Acosta (2017). *Los riesgos en el transporte de carga de proyecto*. Màster en Negoci i dret marítim (promoció 2016-2017). Madrid: IME i Universitat Pontificia Comillas.

#### Lectura recomanada

Organització Marítima Internacional (OMI). *CSS Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (resolució A.714(17), novembre de 1991). Comitè de Seguretat Marítima

- Transport terrestre fins a la zona d'apilament del parc eòlic.

Cal tenir en compte que la velocitat mitjana de circulació dels equips de transport és de 10 a 15 km/h i que es tracta generalment d'equips amb un llit alt extensible per a les pales, de sòl baix per a trams curts de torre, navetes i boixes, i de tipus direccionable per als trams més llargs.

Finalment, el **transport de grues** (del tipus gelosia sobre erugues o cadena) i **equips d'hissatge** per a muntar els aerogeneradors es fa fins a la zona de muntatge al parc eòlic per via terrestre, i per a això s'utilitzen les vies d'accés adaptades per a transportar i moure els aerogeneradors.

### 3.4. Muntatge dels aerogeneradors

Finalment, conforme l'obra civil arriba a la fase final, i una vegada s'han transportat i apilat els components fins al punt d'ancoratge, es procedeix a muntar i assemblar els aerogeneradors. Per a això, es fa ús d'una grua de grans dimensions, que s'empra per al rotor i la naveta, i una altra de dimensions menors i més fàcil de moure, per als primers trams de la torre.

Figura 8. Detall del procés de muntatge d'uns aerogeneradors



Font: <https://blog.structuralia.com/>

En termes generals, el muntatge dels aerogeneradors es fa d'acord amb cinc fases:

- 1) Muntatge de la base de la torre de l'aerogenerador.
- 2) Muntatge dels segments de la torre.
- 3) Muntatge de la naveta sobre la torre.  
La naveta se sol hissar de manera completa, encara que també es pot hissar de manera modular si els aerogeneradors són molt grans, generalment superiors a 4 MW.
- 4) Assemblatge del rotor amb les pales de l'aerogenerador.
- 5) Assemblatge del rotor i les pales amb la naveta.



Convé indicar que el rotor es pot hissar muntat des del sòl en posició horitzontal, i per a això és necessari utilitzar dues grues (una vegada que sobrepassa una altura determinada es col·loca en posició d'ancoratge), o bé es pot hissar amb la caixa unida a la naveta i després unir les pales una a una.

Finalment, una vegada muntat l'aerogenerador, es connecten els sistemes elèctrics i hidràulics que permetran posar-lo en funcionament.

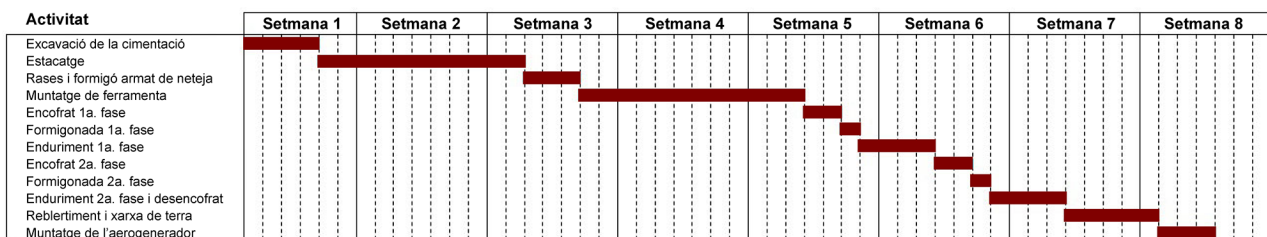
Figura 9. Detall del procés de muntatge de les pales



Font: <https://blog.structuralia.com/>

Per a dur a terme el muntatge complet d'un aerogenerador, tenint en compte les fases prèvies d'obra civil i preparació, s'ha estimat una durada total de 53 dies per aerogenerador amb pilotatge; en aquest procés les activitats de pilotatge i muntatge d'acer són les de major durada (vegeu el diagrama de Gantt). Per als aerogeneradors que requereixen fonamentació superficial (sabata), s'estima una durada aproximada de 38 dies de treball.

Figura 10. Detall del procés de muntatge d'un aerogenerador que requereix pilotatge a la zona de projecte



Font: IDOM i elaboració pròpia

## 4. Reptes logístics i de transport associats al projecte

El projecte de construcció dels parcs eòlics a la zona de la Guajira presenta un gran repte logístic relacionat amb **el transport i el moviment dels aerogeneradors** fins a la zona de projecte, inclosos tant l' **operativa portuària** com el **transport terrestre de traginament**. La zona del projecte, tal com s'ha vist en els apartats anteriors, és de difícil accés per vies terrestre i marítima, per la qual cosa és necessari analitzar les diferents alternatives de rutes i adequacions viàries per a escometre el projecte.

D'altra banda, i en menor grau de complexitat, hi ha el repte associat al **muntatge dels aerogeneradors**.

En aquest context, a continuació, s'indiquen els **reptes específics** relacionats amb l'etapa operativa i logística del projecte.

### Operativa portuària

- 1) Quin tipus de vaixell és necessari per a transportar els aerogeneradors?
- 2) Quin port s'escollirà per a dur a terme les operacions de càrrega i descarrega de les peces dels aerogeneradors, segons les condicions d'atracada, capacitat del moll i zones d'apilament per a recepcionar les peces?
- 3) Quin tipus de maquinària es necessita per a fer les operacions de càrrega i descarrega, transport interior al port i manipulació a la zona d'apilament?

### Transport terrestre de traginament

- 1) Quines opcions de rutes i alternatives de transport estan disponibles des del port escollit fins a la zona de projecte?
- 2) Com cal transportar els diferents components dels aerogeneradors des del port escollit fins a la zona de projecte?
- 3) Quin tipus d'equips i unitats de transport es requereixen per a transportar els components dels aerogeneradors?

### Operacions de muntatge dels aerogeneradors

- 1) Quina tipologia de grua convé utilitzar per a muntar els aerogeneradors?
- 2) Com es transportaran els equips de muntatge?

## 5. Proposta tècnica per a donar solució als reptes logístics i de transport del projecte

### 5.1. Dades de partida o condicionants per a dur a terme durant el repte

#### 5.1.1. Origen i destinació dels aerogeneradors

##### Origen

La instal·lació de Vestas que proporcionarà els aerogeneradors per als parcs eòlics en construcció se situa a l'estat de Ceará (Brasil), concretament entre els municipis d'Aquiraz i Verife-Itaitinga, a uns trenta quilòmetres del port de Fortaleza, des d'on les peces dels aerogeneradors es transportaran per via marítima.

##### Destinació final

La destinació final, tal com hem dit, és la regió de l'Alta Guajira, prop del municipi d'Uribia.

#### 5.1.2. Característiques dels aerogeneradors

Ateses les característiques de vent de la zona (categoria IEC IIIB - 3,0-7,5 m/s) i la capacitat d'entrega desitjada per connectar al SIN (693MW), als parcs eòlics s'utilitzarà el model d'aerogenerador del fabricant Vestas V150-4.2. Les seves dimensions per al transport que cal tenir en compte són les següents:

Taula 6. Caracterització dels aerogeneradors per a planificar la logística i el transport

Component	Dimensions	Valors
Aerogeneradors	Nombre d'aerogeneradors necessaris	153 unitats (capacitat unitària, de 4 a 4,2 MW)
Dimensions del rotor/boixa	Diàmetre del rotor/boixa	150 m
	Àrea de moviment circular ( <i>swept area</i> )	17,671 m <sup>2</sup>
	Longitud de tram màxima	5,5 m
	Altura de tram màxima	3,8 m
	Amplada de tram màxima	3,8 m
	Pes	38 t

Component	Dimensions	Valors
Dimensions de les pales	Longitud de les pales	73,7 m
	Amplada màxima de la pala ( <i>chord distance</i> )	4,2 m
	Pes de les pales	18 t/pala
Dimensions de la torre	Altura de la torre	120 m
	Trams de la torre	10-38 m
	Nombre de trams	6
	Pes de la torre	34-67 t
Dimensions de la naveta	Altura (en transport / instal·lada)	3,4 m / 6,9 m
	Longitud	12,8 m
	Amplada	4,2 m
	Altura	7,0 m
	Pes	110-120 t

Font: www.vestas.com

## 5.2. Anàlisi i caracterització de la solució logística i de transport

### 5.2.1. Operativa portuària

Quin port s'escollirà per dur a terme les operacions de càrrega i descarrega de les peces dels aerogeneradors segons les condicions d'atracada, capacitat del moll i zones d'apilament per a la recepció de les peces?

D'acord amb la ubicació de la fàbrica de components dels aerogeneradors en l'estat de Ceará (Brasil), s'ha cregut convenient que **el port d'origen i, per tant, de recepció, apilament i càrrega de les pales, navetes i rotors sigui el port de Fortaleza** (també conegut com a Porto do Mucuripe), situat a 30 quilòmetres de distància, amb un calat mitjà de 14 metres i una extensa superfície d'emmagatzematge pavimentada (> 171.000 m<sup>2</sup>).

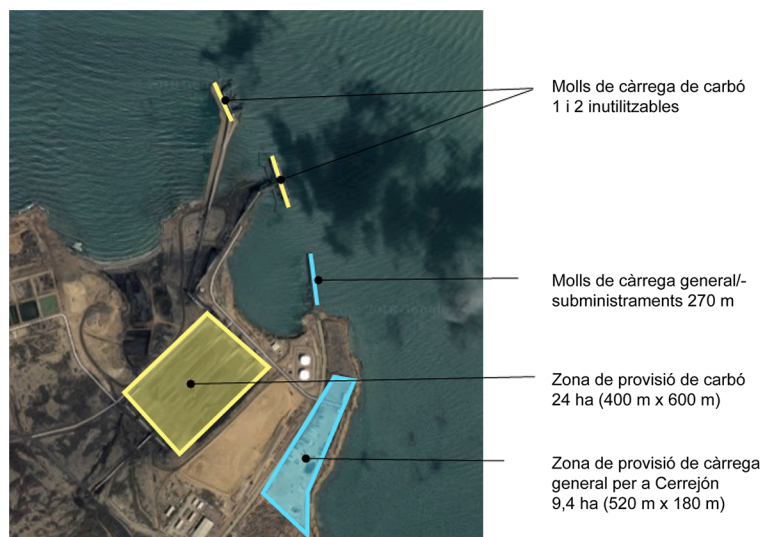
D'altra banda, entre les diferents opcions per a dur a terme l'operativa portuària a la zona de destinació (voltants del parc eòlic en construcció) destaquen les següents:

Taula 7. Alternatives de port de destinació als voltants dels parcs eòlics en construcció

Port candidat	Característiques del port
Puerto Santa Marta (Sociedad Portuaria)	Moll per a càrrega general de 240 metres de longitud i 13 metres de calat. Hi ha possibilitat d'accedir al moll amb grues (en aquest port s'han mantingut càrregues extradimensionades). Hi ha un pati per a emmagatzemar càrrega general, encara que és compartit (5 ha). Distància al parc eòlic més proper superior a 250 quilòmetres.
Puerto Brisa	Port multipropòsit al corregiment de Mingueo, municipi de Dibulla (departament de la Guajira). Moll amb una longitud i calat suficients. Hi ha possibilitat d'accedir al moll amb grues. Hi ha una campa d'apilament propera, en la qual actualment s'emmagatzema carbó. Es requereixen permisos d'ús. Distància al parc eòlic més proper superior a 200 quilòmetres.
Puerto Bolívar	Situat a la badia Portete, al nord de la Guajira. Especialitzat en l'exportació de carbó i amb capacitat per rebre vaixells de fins a 175.000 tones de pes mort, amb 300 metres d'eslora i 45 metres de mànega. Moll privat per a càrrega general amb una longitud superior a 250 metres i calat de 9,5 metres. Hi ha possibilitat d'accedir al moll amb camions i grues auxiliars. Hi ha disponibilitat de campa d'apilament a prop. Proximitat als parcs eòlics (inferior a 35 km).

Entre les opcions anteriors, s'ha considerat que la **millor**, ateses les característiques del moll, la disponibilitat d'una campa per a l'apilament temporal i la proximitat als parcs eòlics, és **Puerto Bolívar** com a port de destinació i recepció dels aerogeneradors.

Figura 11. Vista en planta del Puerto Bolívar i la zona de descàrrega dels aerogeneradors



Font: IDOM i elaboració pròpia

Les instal·lacions portuàries dedicades a la càrrega general (zona ombrejada en blau de la figura 12) presenten les característiques físiques següents:

Taula 8. Dimensions màximes dels vaixells de càrrega general que poden operar a Puerto Bolívar

Dimensions màximes dels vaixells al moll de càrrega general	Eslora: 175 m Mànega: 32 m Calat: 9,5 m
Dimensions d'accés al moll i capacitat portant	Ample d'accés al moll: >5 m Capacitat portant del moll: 0,2 MPa Espai suficient per al gir de camions i vehicles especials

### Quin tipus de vaixell i característiques es necessiten per a transportar els aerogeneradors?

Per a determinar les característiques que han de tenir els vaixells que transportaran les peces dels aerogeneradors des del port de Fortaleza fins a Puerto Bolívar, s'han tingut en compte els factors següents:

- Tipus de vaixells compatibles amb el transport d'aerogeneradors (vaixells de càrrega general multipropòsit amb grues a bord o vaixells del tipus *heavy lift*) i que operen a la regió marítimoportuària.
- Restriccions físiques que presenta el moll per a càrrega general a Puerto Bolívar.
- Necessitats de càrrega i dimensions de les peces dels aerogeneradors (vegeu la taula 5). En aquest sentit, l'element o peça més pesant, i per tant que condiciona més, és la naveta de l'aerogenerador, amb un pes de 150 tones, i, quant a dimensions, el més llarg són les pales, amb una longitud propera a 74 metres.

Segons aquestes característiques, a continuació es fa una proposta de vaixells de càrrega general que són aptes per a dur a terme el transport de les peces:

Taula 9. Vaixells de càrrega general aptes per a transportar els aerogeneradors i operar als ports de Fortaleza i Bolívar

Vaixell	Tipus	Eslora (m)	Mànega (m)	Calat (m)	Grues
Condor Bilbao	Càrrega general	144,85	22,00	7,10	2 x 150 t 1 x 80 t
Ocean Freedom	Càrrega general	153,52	23,45	7,40	2 x 400 t
ABB Vanessa	Càrrega general	139,93	21,01	6,20	2 x 180 t
BBC Sapphire	Càrrega general	153,45	23,20	6,60	2 x 400 t 1 x 80 t
BBC Russia	Càrrega general	147,00	22,80	6,60	2 x 250 t

En aquests vaixells, les pales dels aerogeneradors han d'anar posicionades en una estructura que suporti de dotze unitats (tres altures i quatre unitats per fila) a la coberta principal. Les seccions de les torres eòliques han d'anar estibades també a la coberta principal amb uns suports als extrems i protegides amb una escuma de polietilè d'alta densitat juntament amb imant (*magnet foam*) per a fixar-les a la càrrega i així protegir-les de possibles danys durant l'operativa portuària. Les navetes i els rotors han d'anar a l'interior dels cellers del vaixell de càrrega general.

Figura 12. Transport marítim i operacions portuàries de càrrega i descarrega de pales eòliques i trams de torre d'aerogeneradors



Font: <http://www.kaleidologistics.com>

### Quin tipus de maquinària es necessita per a fer les operacions de càrrega i descàrrega, transport interior al port i manipulació a la zona d'apilament?

A causa del reduït espai útil al moll, la descàrrega dels elements s'ha de fer directament al camió que transporti les peces a la zona d'apilament per mitjà de les grues del mateix vaixell, assistida per dues **grues mòbils de gelosia auxiliar o telescòpiques** al moll de descàrrega. Per tant, el moviment amb el temps més compromès en el trasllat dels diferents elements és el de la mateixa descàrrega del vaixell al camió.

La **campa o zona d'apilament** té una superfície de  $50.000 \text{ m}^2$  i se situa a 3,5 quilòmetres del moll, amb un pendent màxim en el recorregut del 4,8%. Per a cada aerogenerador, s'ha estimat una superfície màxima necessària d'uns  $2.000 \text{ m}^2$ , repartits de la manera següent:  $600 \text{ m}^2$  per als trams de torre,  $20 \text{ m}^2$  per a la caixa,  $65 \text{ m}^2$  per a la naveta,  $675 \text{ m}^2$  per a les pales i uns  $600 \text{ m}^2$  addicionals per a zones de pas i maniobra.

Aquesta zona d'apilament ha de tenir dos punts d'entrada i dos de sortida als extrems, de manera que els camions no interfereixin en les labors de descàrrega en cobrir les rutes del port a la zona d'apilament i de la zona d'apilament als parcs.



Figura 13. Ubicació de la zona d'apilament de peces i ruta fins al moll de descàrrega



Font: IDOM i elaboració pròpia

A la zona d'apilament de peces són necessàries **grues auxiliars per a carregar i descarregar els equips an la campa** del mateix tipus que les emprades al moll de descàrrega, això és, **grues mòbils de gelosia auxiliar o telescòpiques**.

Tenint en compte les dades anteriors, que la durada del cicle (descàrrega del vaixell al camió, transport a la zona d'apilament, descàrrega en campa, tornada al moll) és de 2 a 3 hores i la limitació d'espai al moll, s'utilitzaran **tres camions perquè funcionin en «mode desfilada»**, de manera que en cap cas els equips de descàrrega del buc no n'hagin d'esperar cap.

### 5.2.2. Transport terrestre

**Quines opcions de rutes i alternatives de transport estan disponibles des del port escollit fins a la zona de projecte?**

La zona d'apilament als voltants del port està situada a 7 quilòmetres del parc edic del projecte més proper (Casa Eléctrica) i a 30 quilòmetres del parc més llunyà (Carrizal), i les rutes possibles a cadascun dels cinc enclavaments del projecte són:

- **Ruta A.** És la via que comunica el nucli urbà d'Uribia amb Puerto Bolívar, és propietat del Cerrejón i té condicions per a transportar càrrega sobredimensionada. En total, es recorren aproximadament 32 quilòmetres sobre aquesta via per a arribar a l'entrada del projecte més apartat del port, Carrizal.
- **Ruta B.** És la via que comunica el quilòmetre 2 de la ruta A fins als parcs d'Apotolorrú i Jotomana. Es recorren aproximadament 13,3 quilòmetres fins a Apotolorrú i 8,5 fins a Jotomana.



- **Ruta C.** És la via d'accés al parc eòlic d'Irraipa. És la que està en pitjor estat i necessita adequar-se completament per a contrarestar els efectes de l'hivern. És un trajecte de 14 quilòmetres aproximadament.

Les **distàncies aproximades** que cal recórrer entre Puerto Bolívar i els parcs eòlics s'indiquen en la taula següent:

Taula 10. Rutes alternatives de transport i distància entre la zona d'apilament portuària i les zones de projecte

Parc	Aerogeneradors	Ruta A	Ruta B	Ruta C	Total
Irraipa	33	15,50 km	-	12,00 km	<b>27,50 km</b>
Carrizal	65	25,70 km	-	-	<b>25,70 km</b>
Casa Eléctrica	60	7,30 km	-	-	<b>7,30 km</b>
Apitolorru	25	2,70 km	13,30 km	-	<b>16,00 km</b>
Jotomana	30	2,70 km	8,50 km	-	<b>11,20 km</b>

Quant al **temps de viatge de la rotació camp-parc-camp**, a partir de les dades anteriors es pot estimar que, en el cas extrem del parc eòlic més allunyat (27,5 km), seran necessàries prop de vuit hores per a completar l'anada, la descàrrega i la tornada a la campa d'apilament (10-15 km/h de velocitat mitjana). I, per a la ruta més curta, s'estima un temps de rotació aproximat de tres hores i mitja.

**Com cal transportar els diferents components dels aerogeneradors des del port escollit fins a la zona de projecte? Quin tipus d'equips i unitats de transport es requereixen per a transportar els components dels aerogeneradors?**

El transport dels aerogeneradors des del port fins a la zona de construcció dels parcs eòlics es fa per carretera i per les vies indicades anteriorment. Per a això, s'han de sol·licitar els permisos de transport especial corresponents i el transport ha d'anar escortat pels equips de seguretat de la regió.

Quant als **tipus de mitjans de transport terrestre**, s'han d'utilitzar diferents solucions de semiremolcs ja adaptats per a transportar aerogeneradors. Entre les diferents alternatives, destaquen les següents:

Taula 11. Tipus de semiremolcs per al transport terrestre de les peces dels aerogeneradors

Tipus de semiremolcs	Unitat de càrrega recomanada per transportar
Plataforma de llit fix o extensible (simple/doble/quàdruple) i corona giratòria de dos a set eixos amb capacitat de 120 tones.	Trams de torre o altres peces llargues.
Navetes de llit baix (fix o extensible) d'ús polivalent amb una càrrega útil de 180 tones.	Seccions de torre, generadors elèctrics, pales i concentradors, naveta, maquinària d'obra.
Navetes de llit rebaixat amb rodes posteriors giratòries amb una càrrega útil de fins a 150 tones.	Navetes, caixa, maquinària d'obra, grues especials.
Semiremolcs especials per al sector eòlic amb eixos pendulars, llit extensible des de 18 fins a 64 metres, rodes posteriors giratòries i coll de cigne ajustable ( <i>super wing carrier</i> ).	Pales dels aerogeneradors (74 metres)

Font: [www.nooteboom.com](http://www.nooteboom.com)

Tal com es veu, a causa de les diferents característiques dels components, es necessiten almenys tres tipus d'equips:

- Semiremolc especial de llit extensible amb eixos pendulars i rodes posteriors giratòries per a transportar les pales.
- Semiremolc de llit rebaixat amb rodes posteriors giratòries per a transportar la naveta i la caixa (capaç de carregar també els trams més curts de la torre).
- Semiremolc de llit baix i d'ús polivalent per a transportar la resta de trams de les torres.

En aquest context, cal indicar que per a transportar les navetes i les caixes dels aerogeneradors hi ha diverses opcions en funció de les restriccions de pes en algun tram de la ruta (transportar els components junts o per separat) o del muntatge i assemblatge al lloc de projecte. En aquest sentit, les opcions de transport són les següents:

- Transportar la caixa i la naveta per separat o alhora.
- Transportar la caixa i la naveta per separat sense que la naveta tingui el generador instal·lat.
- Transportar la naveta sense generador, multiplicadora ni caixa (per separat).
- Transportar tots els components per separat (naveta, caixa, generador, multiplicadora i tren de potència).

La decisió final també està condicionada pel pressupost disponible.

Figura 14. Transport per carretera de les pales dels aerogeneradors



Font: <http://www.kaleidologistics.com>

Finalment, referent al nombre d'unitats de transport requerides per a transportar les peces fins als parcs eòlics, s'ha considerat que als parcs hi ha la possibilitat d'emmagatzemar els diferents elements, de manera que es pot garantir l'arribada de les peces abans del muntatge.

Per això, tenint en compte els temps de desplaçament i que disposem de tres equips de transport especialitzats per a les pales, trams de torre i navetes, respectivament, es considera oportú que es facin dos viatges complets al dia per equip.

D'aquesta manera, per a un aerogenerador format per tres pales, sis trams de torre i una naveta completa, es necessiten els viatges i dies de treball següents des de la zona d'apilament Puerto Bolívar fins als parcs eòlics:

Taula 12. Detall del moviment de peces per carretera i estimació temporal per aerogenerador

Equip/Peça	Viatges/Dia	Moviment peces dia -2	Moviment peces dia -1	Dia de muntatge
Equip 1. Semiremolc de llit baix	Viatge 1/2	Tram torre 1/6	Tram torre 5/6	Apilament, muntatge i disposició per a l'hissatge.
	Viatge 2/2	Tram torre 2/6	Tram torre 6/6	
Equip 2. Semiremolc de llit rebaixat	Viatge 1/2	Tram torre 3/6	Naveta	
	Viatge 2/2	Tram torre 4/6	Boixa	
Equip 3. Semiremolc especial	Viatge 1/2	Pala 1/3	Pala 3/3	
	Viatge 2/2	Pala 2/3	-	

Tal com es veu, per a moure un aerogenerador complet es requereixen tres unitats de transport des del parc eòlic fins a la campa a prop de Puerto Bolívar i dos dies complets de treball per a transportar les onze peces completes que el componen. Aquests equips són compatibles amb un equip de muntatge als parcs eòlics.

En cas de fer el muntatge de diversos aerogeneradors en paral·lel, es podria incrementar un torn més per dia o incrementar el nombre d'unitats de transport i en parc.

### 5.2.3. Operacions de muntatge dels aerogeneradors

#### Quina tipologia de grua convé utilitzar per a muntar els aerogeneradors?

A partir de les dimensions (grandària i pes) de les peces dels aerogeneradors, es requereixen grues de muntatge desplaçables per carretera i pels vials interns a les zones de projecte amb capacitat per a hissar el rotor de l'aerogenerador a 120 metres d'altura, tenint en compte que el pes de la naveta és de 110 a 120 tones.

En aquest sentit, les opcions de grua disponibles en el mercat són:

- Grua mòbil telescòpica amb capacitat per a 750 tones de càrrega màxima i abast de 120 a 130 metres, amb un sistema de travada del tipus I, ploma abatible, xassís tot terreny de nou eixos sobre erugues i desplaçable en carretera (p. ex., Liebherr LTM 1750-9.1).
- Grua de gelosia sobre cadenes de 120 a 130 metres d'abast amb ploma, sistema Derrick i ploma fixa, amb capacitat per a 600 tones (p. ex., Liebherr LR 1600/2). Es pot traslladar per carretera i, desmuntada, té una amplària de tres metres.
- Grua mòbil telescòpica amb menor capacitat per a muntar els segments baixos de les torres. Es requereix poc espai per a muntar-la i és aplicable universalment (p. ex., Liebherr LTM).

En aquest sentit, s'estima que un equip de treball que munti les bases de les torres i un altre que munti en paral·lel els segments alts de les torres, les navetes, les pales i les boixes donaria **una productivitat de dos a tres aerogeneradors per setmana**, amb el suport dels equips de transport indicats anteriorment, que són capaços de transportar les onze peces d'un aerogenerador en dos dies complets (en dos torns per dia).

El **primer front** estaria format per **una grua mòbil telescòpica** de menor capacitat (LTM), i el **segon front**, per maquinària més especialitzada i de gran capacitat formada per **una grua de gelosia sobre cadenes** (Liebherr LR 1600/2), recolzada per una grua telescòpica auxiliar que ajudaria a verticalitzar els diferents components.

Finalment, convé indicar que les operacions logístiques de muntatge són molt complexes i requereixen equips i personal especialitzat. D'altra banda, les condicions meteorològiques han de ser necessàriament favorables: no es poden hissar peces amb vents superiors a 12 metres per segon.



## Bibliografia

Les principals **fontes d'informació** que han servit de base per a elaborar el present mòdul se citen a continuació.

**Bohoyo Acosta, L.** (2017). *Los riesgos en el transporte de carga de proyecto*. Màster en Negoci i dret marítim (promoció 2016-2017). Madrid: IME, Universitat Pontificia Comillas.

**Davide Parrilli, M. (coord.); Álvarez, I.; Elola, A.; Lorenz, O.; Rbellotti, R.** (2012). *Análisis de la cadena de valor de la industria eólica vasca: oportunidades y ámbitos de mejora*. Bilbao: Orkestra - Institut Basc de Competitividad, Fundació Deusto, Universitat de Deusto.

**Galán Soraluze, F.** (2009). *Anchoring wind towers using an embedded steel section*. *Revista de Obras Públicas* (núm. 3503, pàg . 35-48).

**IDOM** (2018). *Due diligence técnica para la compra de 5 proyectos eólicos*.

**Liebherr-Werk GmbH** (2018). *Tecnología punta de Liebherr. Grúas para la energía eólica*. Ehingen (Alemanya).

**Organització Marítima Internacional (OMI)** (1991). *CSS Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing* (resolució A.714(17)). Comitè de Seguretat Marítima

**Pinilla Agudelo, G.** (2014). *Notas sobre la vegetación desértica del Parque Eólico Jepírachi, Alta Guajira, Colombia*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (núm. 38, pàg. 43-52).

**Talayero Navales, A.; Telmo Martínez, I.** (2011). *Energía eólica*. (2a. ed.). Prensas Universitarias de Zaragoza.

**Vestas** (2010). *Road, Crane Pad and Hardstand Specifications for Vestas Turbines*. Randers (Dinamarca): Technology R&D, Vestas Wind Systems A/S.

