

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Elèctrica

Títol: Parc Eòlic Offshore en Aigües Profundes

Document: 1. Memòria

Alumne: Miquel Ferrer Cerdà

Tutor: Josep Xargayó Bassets

Departament: EEEA

Àrea: ESA

Convocatòria (mes/any) juny/2015

Índex

1	INTRODUCCIÓ	5
1.1	Antecedents.....	5
1.2	Objecte	5
1.3	Especificacions i Abast	5
2	TECNOLOGIA EÒLICA.....	7
2.1	Comparació entre l'eòlica terrestre i l'eòlica marítima	7
2.1.1	Rugositat	7
2.1.2	Accessibilitat, instal·lació i manteniment	9
2.1.3	Consideracions generals	9
2.2	Desenvolupament de l'energia eòlica offshore a Europa	10
2.3	Desenvolupament de l'energia eòlica offshore a Espanya	12
3	ESTUDI D'EMPLAÇAMENT	13
3.1	Condicionants Mediambientals	13
3.2	Recurs Eòlic	14
3.3	Punt de Connexió	15
3.4	Característiques de la zona	16
3.4.1	Batimetria	16
3.4.2	Geotècnia	18
3.4.3	Oceanografia.....	18
3.4.4	Navegació	18
3.4.5	Pesca	19
3.4.6	Zones militars	19
3.5	Estudi potencial eòlic de la zona.....	19
3.5.1	Mesurament força dels vents.....	20
3.5.2	Distribució de Weibull	21
3.5.3	Rosa dels vents	22
4	AEROGENERADORS.....	23

4.1	Anàlisis i selecció en funció del mercat.....	23
4.2	Característiques especials en el medi marí.....	25
4.3	Components bàsics de l'aerogenerador.....	25
4.3.1	Rotor.....	26
4.3.2	Generador	27
4.3.3	Multiplicadora	28
4.3.4	Sistema de frens.....	29
4.3.5	Sistema de control	29
4.3.6	Protecció parallamps	30
4.3.7	Sistema contra incendis.....	30
4.3.8	Protecció a la corrosió	30
4.4	Corba de potència de l'aerogenerador	31
4.5	Estimació de l'energia produïda.....	32
4.5.1	Factor estela.....	33
4.6	Distribució dels aerogeneradors	34
4.7	Distància mínima permesa des de la costa.....	35
4.8	Sol·licitud de reserva de la zona	36
5	ANÀLISIS I SELECCIÓ DE PLATAFORMES	37
5.1	Anàlisi dels tipus de plataformes.....	37
5.2	Criteris de selecció	38
5.3	Protecció catòdica	40
5.3.1	Tipus de protecció	41
6	ANÀLISIS I SELECCIÓ DEL SISTEMA DE FONDEIG	43
7	SENYALITZACIÓ	44
8	ESTUDI DE L'INFRASTRUCTURA ELÈCTRICA	45
8.1	Sistema de transmissió AC o DC.....	46
8.2	Nivell de tensió del parc o amb subestació offshore	46
9	CONNEXIÓ INTERNA DEL PARC.....	48
9.1	Xarxa de Baixa tensió (690 V)	48

9.2	Compensació de potencia	49
9.3	Transformador de BT/MT	49
9.4	Posta a terra de l'aerogenerador	50
9.5	Cel·les de MT	51
9.6	Conductor de MT	52
10	SUBESTACIÓ DE TRANSFORMACIÓ	53
10.1	Nombre de transformadors i potencia instal·lada	55
10.2	Cel·les col·lectores CBGS amb aïllament de SF6	55
10.3	Transformador de Potencia AT	56
10.4	Transformadors de mesura	57
10.4.1	Transformadors monofàsic de mesura de tensió TT/TT	57
10.4.2	Transformador de mesura d'intensitat TT/II	58
10.4.3	Relés de protecció	59
10.4.4	Relé d'intensitat	59
10.4.5	Relé de tensió	60
10.4.6	Relé de vigilància de contacte a terra	60
10.4.7	Relé diferencial	60
10.4.8	Relé de distancia	60
10.5	Seccionador de sortida 120 kV	60
10.6	Interruptor de sortida de 120 kV en SF6	61
10.7	Embarat de 120 kV	61
10.8	Serveis auxiliars	62
10.9	Posta a terra de la subestació	63
11	EVACUACIÓ D'ENERGIA CAP A LA COSTA	64
11.1	Línia submarina de AT	64
11.2	Rasa de sortida a la costa	65
11.3	Línia soterrada de AT	65
11.3.1	Zones afectades	66
11.4	Connexió a la xarxa elèctrica a la subestació de llança	67

12	EVALUACIÓ IMPACTE AMBIENTAL.....	68
12.1	Característiques de l'aigua	68
12.2	Biocenosi Marina	69
12.3	Biocenosi marina. Els cetacis	70
12.4	Aus marines.....	71
12.5	Medi socioeconòmic	71
12.6	Paisatge	72
12.6.1	Els components	72
12.7	Renou.....	73
13	AVALUACIÓ ECONÒMICA DEL PARC EÒLIC.....	75
13.1	Inversió inicial	76
13.2	Costos Associats al parc.....	76
13.3	Amortitzacions	77
13.4	Ingressos	77
13.4.1	Retribució per facturació	77
13.4.2	Compensació per l'energia reactiva.	78
13.5	Conclusions de l'avaluació econòmica.....	79
14	RESUM DEL PRESSUPOST	80
15	CONCLUSIONS.....	81
16	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	82
17	BIBLIOGRAFIA	83
18	GLOSSARI.....	85
A.	CÀLCULS ELÈCTRICS	87

1 INTRODUCCIÓ

L'eòlica marina va començar a desenvolupar-se en el Mar del Nord y el Mar Bàltic, la primera instal·lació va ser al 1990 a Nøgersund (Suecia). Es tractava d'un aerogenerador de 225 kW situat a 350 metres de la costa, sobre una estructura de trípod enclavada al fons marí a 6 metres de profunditat.

1.1 Antecedents

La creixent demanda energètica ocasionada pel continu augment de la població, el desenvolupament dels països emergents, i l'augment de la qualitat de vida, etc. Constitueixen una problemàtica que ha de ser resolta amb un major aprofitament dels recursos energètics existents.

El pla energètic de Catalunya contempla una generació de 3500 MW d'energia eòlica per el 2015. Per a contribuir al compliment d'aquest pla i amb l'actual evolució de la tecnologia de plataformes flotants que fa possible la implementació de parcs eòlics en aigües profundes, i que soluciona la problemàtica de la costa espanyola, on a pocs km els emplaçaments presenten profunditats superiors a 50m. Es considera, doncs, interessant estudiar l'opció d'instal·lar un parc eòlic Offshore a la Costa Brava, obrint d'aquesta manera les portes a aquesta innovadora tecnologia.

1.2 Objecte

L'objectiu del present projecte es l'anàlisi de la viabilitat tant econòmica, com tècnica, d'instal·lar un parc eòlic offshore a la costa Brava, agafant com a referència els parcs offshore del nord d'Europa, tant els que s'estan construint com aquells que ja s'han connectat a la xarxa elèctrica i estan en plena operativitat.

1.3 Especificacions i Abast

Per a la realització de l'anàlisi s'estudiaran els principals fabricants especialitzats en la construcció de turbines offshore, així com les plataformes flotants i sistemes d'ancoratge més adients i utilitzades per la sustentació de tota l'estructura.

En funció del Mapa Eòlic de Catalunya i conjuntament amb el Mapa Eòlic Marí, atenent a les especificacions mediambientals, Geofísiques, batimètriques, oceanogràfiques, climàtiques, de Navegació i Pesca del mediterrani, es determinarà l'emplaçament concret del parc per tal d'obtenir el major aprofitament dels recursos.

En referencia al RD 1028 de 2007, del 20 de juliol, per el que s'estableix el procediment administratiu per a la tramitació de les sol·licituds d'autorització d'instal·lacions de generació elèctrica en el mar territorial i que contempla a l'article 2, els requisits dels parc eòlics. Estableix que les instal·lacions de generació d'energia eòlica marina que es pretenguin ubicar en el mar territorial, tindran un potencia instal·lada mínima superior a 50MW.

A afectes del citat per l'article anterior , s'estableix com a potencia a projectar per el present projecte la de 50MW, sempre contemplat la possibilitat d'ampliació d'aquesta.

2 TECNOLOGIA EÒLICA

Els parcs eòlics són àrees destinades a la producció d'energia elèctrica mitjançant l'energia eòlica. Per produir-la, s'empren aerogeneradors capaços de convertir l'energia cinètica de les partícules del vent en energia elèctrica. Els parcs que es troben a terra ferma, s'anomenen parcs eòlics terrestres, i els parcs que es troben dins del mar s'anomenen parcs eòlics marins o parcs offshore (terme anglosaxó que s'usa per definir aquests tipus de parcs). Per tant, serà necessari realitzar una comparativa entre la tecnologia eòlica terrestre i la marítima, establint d'aquesta manera els avantatges i desavantatges de cadascuna.

Degut al gran desenvolupament de la tecnologia en els països nòrdics, s'especificarà l'estat actual de desenvolupament de la tecnologia eòlica marina indicant quins són els països que més han invertit en aquesta tecnologia, i les condicions que els han portat a realitzar aquestes inversions.

Finalment, degut a un augment de la tecnologia eòlica en general, cada cop hi ha més empreses especificades en la construcció d'aerogeneradors, però la gran majoria estan especialitzades en turbines onshore, fent d'aquesta manera que la oferta de fabricants per a aerogeneradors offshore sigui menor.

2.1 Comparació entre l'eòlica terrestre i l'eòlica marítima

Per a realitzar una comparativa dels avantatges i desavantatges de les dues tecnologies, es tindran en compte els aspectes de la rugositat del terreny que afecta al comportament del vent, la accessibilitat i instal·lació als parcs, finalment es compararan els costos associats a la tecnologia i emplaçament.

2.1.1 Rugositat

Primerament s'ha d'esmentar que el principal avantatge d'una instal·lació eòlica marina es la rugositat, ja que aquesta en el mar es menyspreable comparada amb la terrestre, on el vent es troba frenat per culpa de la orografia del terreny.

S'ha de tenir present que el vent augmenta de velocitat conforme s'augmenta d'alçada justament per culpa de la rugositat.

Per tant, per el correcte funcionament de l'aerogenerador és recomanable que el vent impacti amb la mateixa velocitat a tots els punts de la àrea escombrada per les pales, tant el que estan més allunyats del terra com aquells més pròxims i aquest fet ho fa possible la baixa rugositat, ja que una alta rugositat farà disminuir la velocitat del vent (part de l'energia del vent es dissipa en forma de fricció amb el terra), i a més produirà un gradient de velocitats conforme es va augmentat l'alçada molt pronunciat, a més d'estar suportant un moment de forces perjudicials per la estructura i pel rendiment d'aquest.

Amb els punts anteriors s'arriba a la conclusió que pel mateix recurs eòlic, en una zona marítima s'obtindrà una major velocitat mitjana per a una alçada determinada (conseqüentment una major energia) a més de tenir un perfil de velocitat més homogeni, ja que la rugositat del mar al ser menor que la terrestre fa que el vent no es trobi frenat per culpa de la orografia del terreny.

A partir d'aquí, s'estableix uns certs nivells de rugositat anant de 0 fins 4. On la rugositat a nivell del mar és de classe 0, la de superfícies planes com ara pistes d'aeroport o zones paisatgístiques planes i obertes es de 0,5, mentre que la proporcionada per grans arbres o edificis s'estipula de classe 3 o 4.

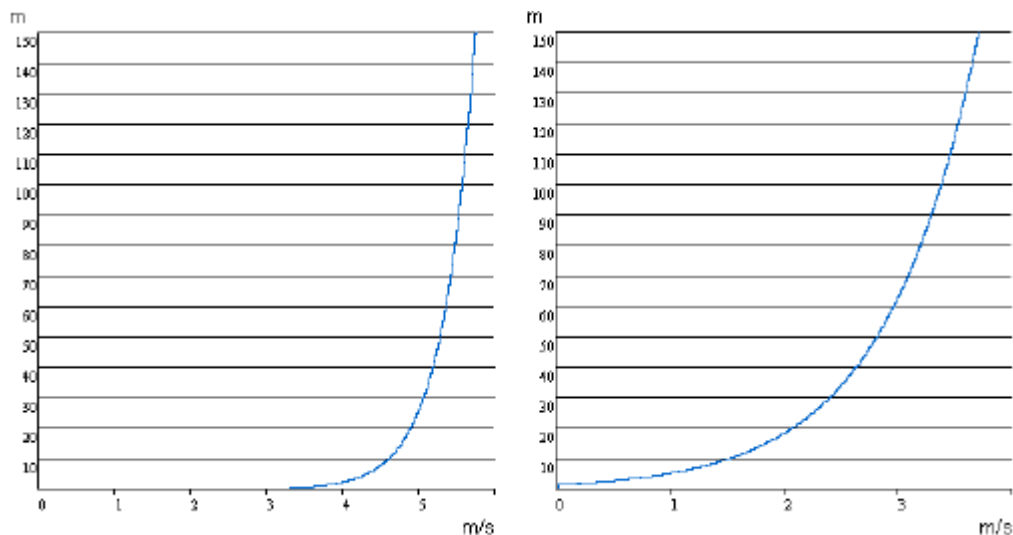


Figura1: Comparativa perfil de velocitats segons rugositats classe 0 (esquerra) i classes 4 (dreta)

La rugositat, per tant es culpable de la diferencia en el cisallament del perfil eòlic d'una superfície d'alta rugositat a una altre de baixa. En els gràfics s'observa com a una alçada de 80 metres, tot i tenir teòricament el mateix recurs eòlic, la velocitat el vent en el cas de major rugositat (dreta) és inferior al de menor rugositat.

A més, s'observa que en el cas de baixa rugositat o aquest cas en zona marina, serà necessària una major alçada de boixa a l'hora del dimensionament del molí ja que s'està treballant amb un menor cisallament, fet que provoca la obtenció d'una homogeneïtat acceptable del perfil de velocitats a una major alçada.

Un altre aspecte destacable és la baixa intensitat de les turbulències en les zones marines provocant un menor desgast de l'aerogenerador i per tant un major temps de vida útil.

2.1.2 Accessibilitat, instal·lació i manteniment

El principal inconvenient dels parcs offshore és justament que es troben al mig del mar i són de difícil accessibilitat, fet que provoca l'ús d'un gran nombre de recursos, tant per a la instal·lació, com per al manteniment, com ara: vaixells específics de grans dimensions per al transport dels components dels molins, la incorporació de grues de grans tonatges dins d'aquests vaixells, la posposició d'actuacions de manteniment a causa de les inclemències meteorològiques, el gran cost associat a les fundacions, etc. Aquests factors com ja es determinaran numèricament en l'apartat de pressupostos, ocasionen un sobre cost notable que, fins i tot, podria condicionar la viabilitat econòmica del parc eòlic offshore.

2.1.3 Consideracions generals

Finalment, amb els dos apartats anteriors, s'obté la conclusió de que energèticament parlant és més òptima la instal·lació d'un aerogenerador al mar, degut bàsicament: al baix cisallament del perfil de velocitats, a les baixes turbulències i a la major velocitat mitja del vent.

Per altra banda s'han de considerar les dificultats associades al manteniment, a la construcció a causa de la difícil accessibilitat i a les fundacions, que faran augmentar de forma notable tots els costos.

A més, s'ha de dir que la eòlica offshore presenta un potencial enorme, ja que ha de permetre la instal·lació de grans parcs (potències superiors a 100 MW equivalents al 10% d'una central nuclear) a una distància de la costa suficientment gran perquè no es vegin, de manera que s'estarà produint electricitat amb una font renovable, com es la eòlica, i amb un impacte visual nul, que era un dels principals inconvenients d'aquesta tecnologia.

2.2 Desenvolupament de l'energia eòlica offshore a Europa

Europa s'ha marcat objectius ambiciosos per el desenvolupament de les energies renovables. S'ha de aconseguir que un 20% de la energia consumida final sigui de origen renovable per l'horitzó del 2020. S'espera que l'energia eòlica marina faci una gran contribució a aquest objectiu.

Conseqüentment, se espera un ràpid augment en la construcció de parcs eòlic marins, especialment en el Nord i en el Mar Bàltic. Totes les granges eòliques s'hauran de connectar al sistema elèctric de potencia de les costes. Això planteja qüestions, com es connectarà la producció eòlica al sistema elèctric, com s'integraran els sistemes elèctric de potencia de cada nació de una manera eficient i segura.

Els primers parcs eòlics foren connectats al sistema elèctric de potencia a terra de forma individual. No obstant això, aquests parcs tenien un límit màxim de potencia i es trobaven relativament pròxims a la costa. Els parcs eòlic offshore del futur podran arribar a tenir una potencia instal·lada de varis milers de megawatts i arribaran a estar a mes de 200 km de la costa. En concret, en el cas d'aquests parc eòlics, s'agruparia la connexió elèctrica en el mar transportant l'energia generada al llarg de un conductor comú fins als punts de connexió a terra, sent així més eficients que les connexions individuals. Aquest disseny anomenats connexió concentrada, pot reduir costos, utilització del terreny i l'impacte ambiental de forma espectacular.

El primer parc eòlic offshore va ser inaugurat al 1991 a 2,5 km de la costa danesa a Vindeby. Desenvolupat per DONG Energy, disposava de onze turbines de 450kW amb una potencia total de la instal·lació de 4,5kW. Vint anys després, a finals dels 2010, és troben instal·lats al llarg de nou països 2946 MW de potencia eòlica offshore en 45 granges que s'estima que injecten 10,6 TWh a la xarxa europea.

Des de el principi de la dècada, més i més potencia eòlica ha estat connectada cada any. Encara tot i això, la proporció total de potencia eòlica offshore sobre la potencia eòlica total no aturat de créixer. En el 2001, els 50,5 MW de potencia eòlica marina representava 1% de la potencia eòlica anual total a Europa, els 883 MW instal·lats en 2010 representaven un 9,5% del mercat eòlic Europeu.

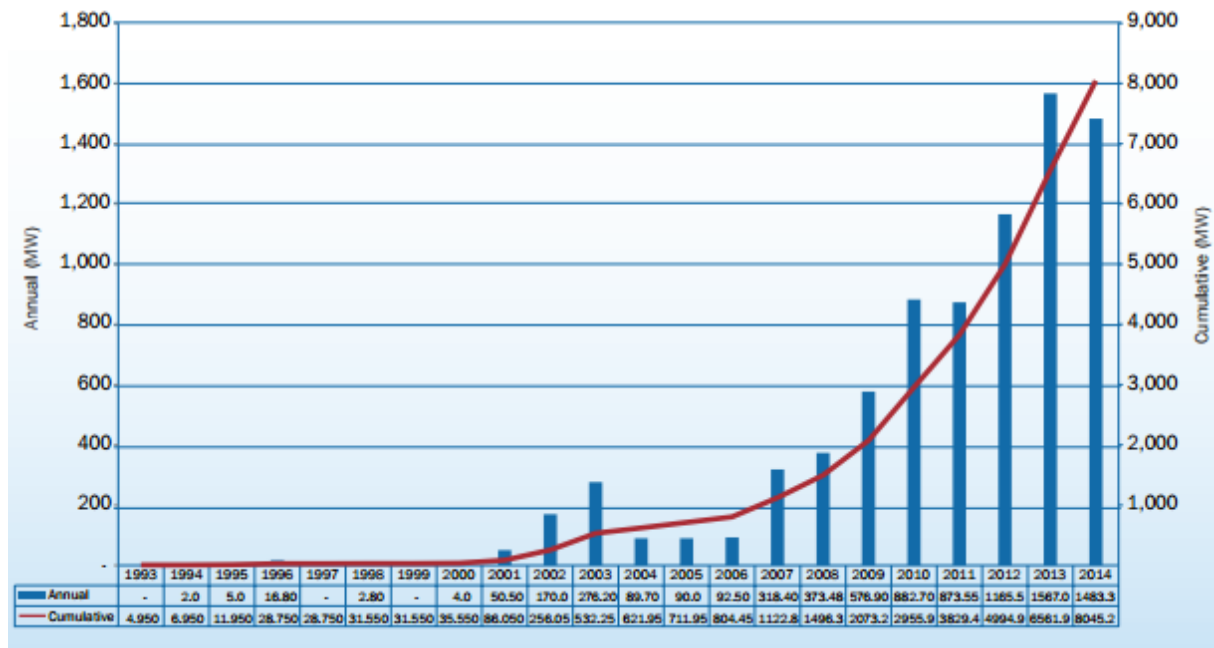


Figura 2: Potencia eòlica offshore acumulada anualment

A la figura anterior es pot observar el creixement anual de la potencia eòlica offshore en la Unió Europea.

A mesura que la indústria evoluciona, els parcs eòlics marins es construeixen més lluny de la costa i en aigües profundes, això reflecteix la planificació de l'espai marítim nacional i vent disseny de promotors de parcs per aprofitar millor els recursos energètics al mar. El 2012 la profunditat mitjana de l'energia eòlica marina era de 22m . La distància mitjana a la costa era 29 quilòmetres.

Doncs bé, dels projectes en construcció, acceptats o prevists, la profunditat mitjana i distància a la costa augmentarà, els projectes anunciats són fins a 200 km de la costa i en profunditats d'aigua de fins 215m . La tendència cap a aigües més profundes , a l'alta mar del sector eòlic també està desenvolupant turbines més grans . La potencia mitjana de turbines connectat durant 2012 era de 4 MW , enfront dels 3,6 MW en 2011 . El 2012 , dels 38 nous models de turbines eòliques en alta mar, només el 9 (24%) la potencia nominal era de menys de 5 MW. El restant 29 (76%) eren màquines més grans. Els dissenys marins profunds s'hauran d'adaptar a aquest augment de mida de la turbina per aconseguir l'òptim l'equilibri entre la producció d'energia i el cost.

2.3 Desenvolupament de l'energia eòlica offshore a Espanya

Des de l'entrada del protocol de Kyoto els països participants han estat unint esforços per arribarà als objectius plantejats, i en aquest aspecte Espanya encara que actualment no ha arribat a la seva meta si que s'ha mostrar interessat en complir amb el pactat de forma que fins el 2012 incentivava el desenvolupament de parcs eòlic onshore, i alhora amb el seu compromís mediambiental sobre principis de seguretat i qualitat del subministrament, que es veuen reflectits en la sostenibilitat, de la mateixa forma que s'ha mostrat compromesa amb el desenvolupament d'energies alternatives, entre les que es destaca la generació de energia eòlica offshore.

Espanya ha estat treballant amb la creació d'un marc regulador de recolzament, que anys erera es convertia en un limitant per el desenvolupament d'emplaçaments de generació d'energia eòlica offshore ja que aquest no existia, i que actualment, gracies a la seva creació, ha permès pensar en el desenvolupament d'aquest tipus d'emplaçaments en diverses zones del país.

Gracies al marc regulador Espanya s'està posicionant per a l'energia eòlica flotant al Mediterrània i altres zones costaneres, Gamesa i Acciona involucrats en projectes offshore d'aigües profundes. El HiPRWind finançat per la UE, projecte les bases per al lliurament d'informació, amb turbines capaces de generar entre 10 MW i 20 MW d'energia . Una plataforma de prova es construirà enfront de la badia de Biscaia .

El projecte ZÈFIR és també un projecte conjunt de sis a vuit plataformes flotants i turbines amb una capacitat màxima de 50 MW que s'instal·laren al final de 2013.

3 ESTUDI D'EMPLAÇAMENT

Donada la batimetria abrupte que es troba a les costes de l'estat Espanyol, on a poca distancia de la costa la profunditat pren valors de 200m. S'ha establert que la infraestructura serà un parc eòlic offshore flotant en aigües profundes, entenent com a tals aquelles amb una profunditat major de 150m. La potencia a instal·lar serà de 50MW amb 10 aerogeneradors de 5 MW.

3.1 Condicionants Mediambientals

A la hora de la selecció de la zona s'ha de tenir en molt en compte les condicions ambientals, ja que és un dels punts més restrictius del projecte, degut a que Espanya conta amb una gran riquesa de flora i fauna. A més a la província de Catalunya, a la zona de la Costa Brava és on si concentra la major quantitat d'espais naturals protegits.

Des del punt de vista mediambiental s'ha pres com a criteri principal per a la selecció de l'emplaçament, que la instal·lació del parc eòlic no afecti a ningun espai natural protegit. Descartant així la zona del Cap de Creus i la de les Illes Medes.

Seguint aquest criteri, s'ha utilitzat per a la selecció de l'emplaçament el plànol de "Zonificació ambiental marina per a parcs eòlic a Espanya", proporcionat per IDAE, en el qual apareixen les zones considerades com a aptes, zones amb condicionants i les zones de exclusió o no aptes.

En el present projecte, s'ha seleccionat per a l'emplaçament la Costa Brava. Bona part de aquesta zona apareix en groc, per tant es tracta d'una zona amb condicionants ambientals que s'hauran de complir, ja pel contrari el projecte es podria veure compromès, si més no també es veu una zona en verd més enllà del Cap de Creus per sobre de Llança, que es zona apte i lloc seleccionat.

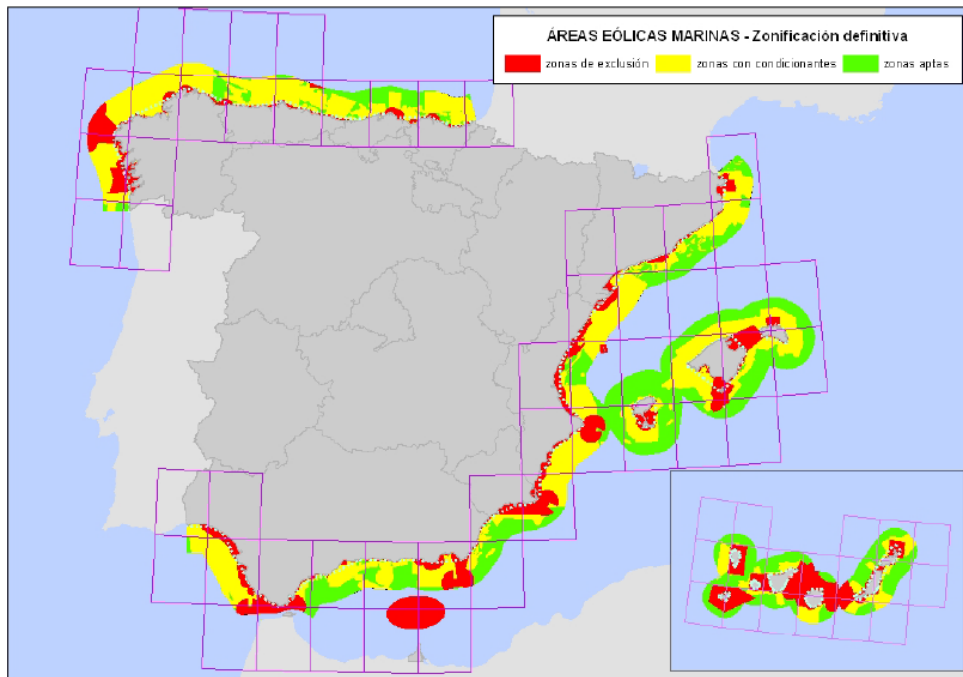


Figura3: Zonificació ambiental marina per a parcs eòlics a Espanya de l' IDAE

En qualsevol cas, els estudis que es duren a terme serviran per a conèixer de forma detallada els valors ambientals de la zona seleccionada per a la instal·lació del parc eòlic. Per altre banda, s'ha de destacar els efectes ambientals positius de les energies renovables i en concret la dels parcs eòlics marins. Així que la experiència de projectes de parc eòlics offshore al Nord de Europa aporta conclusions positives, en el que es refereix a les afectacions mediambientals a les fases de construcció i explotació.

3.2 Recurs Eòlic

Anteriorment mitjançant el mapa de zonificació marina s'ha definit situar el par eòlic entre la zona de Llançar i Cap de Falco. Aquesta zona es idònia degut a que, és una zona apte segons el IDAE, ara cal determinar si la zona seleccionada posseeix un recurs eòlic adequat per a la implementació d'un parc eòlic offshore.

A continuació es mostra el mapa eòlic de Catalunya, desenvolupat per la empresa Meteosim Truewind, mitjançant tecnologia puntera. L'estudi del recurs eòlic es troba a lliure disposició publica per a la consulta i utilització.

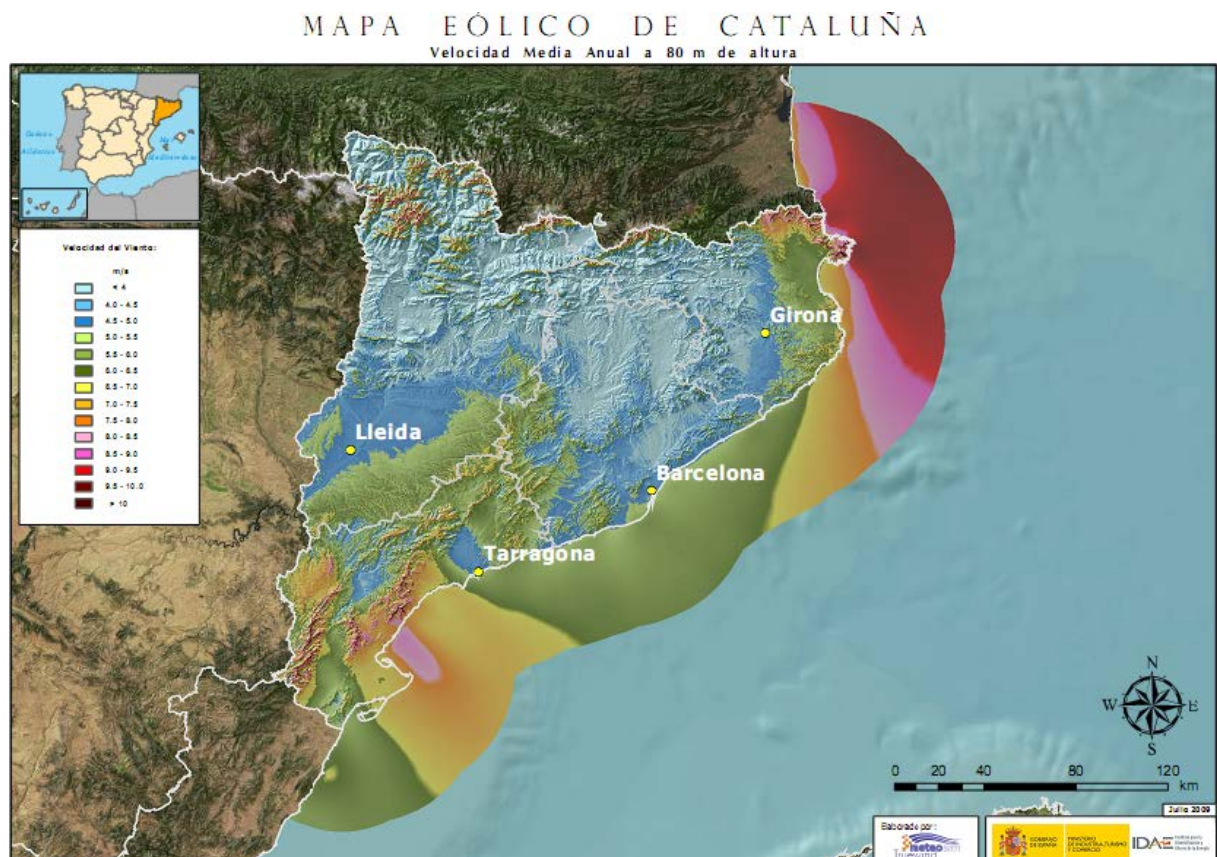


Figura 4: Mapa Eòlic de Catalunya

Com es pot observar en el mapa, les velocitats mitjanes existents en el lloc d'emplaçament estan compreses entre 9-10 m/s. En un posterior estudi del recurs s'analitzarà en major profunditat.

3.3 Punt de Connexió

Per a la connexió del parc eòlic, segons el mapa elèctric d'Espanya disposem de varies opcions, les subestacions de Llança, Torre del Vent i Figueres amb capacitat suficient per a l'evacuació de la energia generada. Finalment s'ha optat per la subestació de Llança per ser la mes propera a l'emplaçament del parc i no necessitar tanta infraestructura de transport.



Figura 5: Mapa Elèctric d'Espanya de REE

A més posteriorment es realitzarà un estudi per determinar, si es mes adient una subestació offshore o onshore. El fet de instal·lar una subestació elèctrica offshore a escassa distancia de parc eòlic, permetria evitar pèrdues de potencia, ja que la transmissió d'electricitat menor mestres major sigui el seu voltatge. Per altre banda una realitzar la subestació onshore, disminuiria el preu d'instal·lació i les dificultats que suposa implementar una subestació offshore.

3.4 Característiques de la zona

Per tal de realitzar un posicionament adequat del parc eòlic s'han tingut en compte altres factors condicionats, les mareas, la batimetria, la navegació, etc., ja que podrien ser un factor important alhora de selecciona l'enclavament de les plataformes i cimentacions dels ancoratge.

3.4.1 Batimetria

La batimetria representa la morfologia o relleu del fons marí. Consisteix en determinar les profunditats mesurant el temps que tarda una ona acústica, enviada des de un vaixell, en viatjar a través de l'aigua fins el fons marí i retorna. Mesurant el temps de propagació i

coneixent la velocitat del so en el medi aquàtic, es determina la profunditat a la qual es troba el fons.

Per a determinar la batimetria es disposa de dos mètodes, mitjançant tecnologia mono-ona o multi-ona.

Amb el sistema mono-ona, s'emet una sola ona acústica i s'obté la profunditat en un punt. D'aquesta forma a mesura que el vaixell avança, s'obté un perfil del fons marí.

Per el que fa el sistema multi-ona, on s'utilitzen varies ones a l'hora, que formen una franja transversal a la navegació del vaixell (Figura 4) generant una imatge del fons marí a mesura que aquets avança, completat així el mapa batimètric.

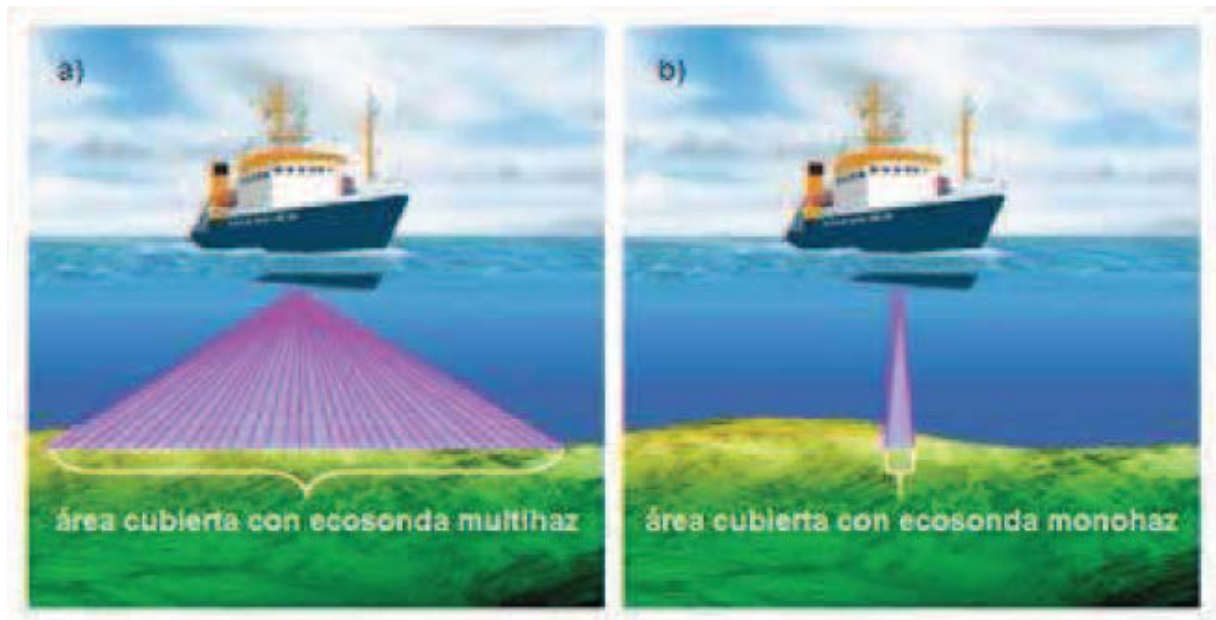


Figura 6: Representació batimetries mono-ona i multi-ona.

Mitjançant aquesta tecnologia podem estudiar les profunditats en el lloc d'emplaçament del parc, les quals ens determinaran la millor tecnologia a utilitzar per el suport dels aerogeneradors.

3.4.2 Geotècnia

Mitjançant aquets tipus d'estudis es pretén conèixer de forma detallada la geologia de la zona de implementació que ens permetrà realitzar un disseny de les estructures de subjecció i dels suports.

Els medis mes utilitzats per a la realització d'aquets tipus de estudis de geotècnia son les plataformes "Jack up" i vaixells de geotècnia.

El fons marí existent a la zona d'emplaçament del parc es de predomini rocós en zones de predomini arenós.

3.4.3 Oceanografia

Per el desenvolupament d'un parc eòlic offshore es molt important l'estudi dels processos que es desenvolupen en el mar, per això es convenient consultar diferents fons d'informació existents i realitzar campanyes de caracterització oceanogràfica. Amb tot això podrem obtenir la següent informació.

Ones (altura, període, direcció), Corrents (intensitat, direcció), Marees (nivells màxims i mínims), Propietats de l'aigua(Oxigen 5, salinitat, pH, Temperatura)

Un cop recopilada la informació, es procedirà a establir les diferents zones d'exposició de l'estructura, realitzar un estudi detallat de les carreges mediambientals sobre estructura-aerogenerador, estudis de sedimentació i realitzar un estudi de la protecció contra la corrosió.

3.4.4 Navegació

Se presentat especial atenció als aspectes relacionats amb la navegació, ja que el parc es trobarà ubicat entre els ports de llança i Portbou. Se seleccionat una ona on la instal·lació del parc no afecta a l'activitat, ja que els dos ports on la seva producció es majoritàriament pesquera.

La informació relativa a la navegació s'ha obtingut a partir de cartes nàutiques i de la informació disponible en els ports de la zona, amb el fi de no dificultar les maniobres d'aproximació, no ocupar zones destinades al fondeig d'embarcacions ni dificultar a les rutes de navegació.

En qualsevol cas, el parc eòlic disposarà de la senyalització adient, com el abalisament dels aerogeneradors, el que facilitarà la visibilitat de la instal·lació a efectes de la navegació marina, tant a les seves proximitats com a l'interior del seu perímetre, en el cas de que alguna embarcació es sortís de la ruta de navegació o alguna petita embarcació si s'aproximes.

3.4.5 Pesca

Analitzats els tipus de pesca, les cartes nàutiques i la informació bibliogràfica amb el fi de seleccionar un emplaçament que no afecti ningun dels vaixells i reserves de pesca existents, ni piscifactories de la zona, per tant es pot determinar que l'emplaçament seleccionat es idoni, ja que no es veu afectat per cap dels condicionats citats.

3.4.6 Zones militars

S'han estudiat en detall la informació continguda en les cartes nàutiques amb la finalitat de seleccionar una zona que no afectes a cap àrea militar o d'exercicis militars. Per tant a la zona de implementació ni es troba ninguna àrea de us militar ni d'exercicis militars.

3.5 Estudi potencial eòlic de la zona

Un cop escollits es aerogeneradors, es procedirà a la realització d'un estudi que ens determinarà l'energia produïda per a cada molí, amb la finalitat de determinar la potencia generada pel parc eòlic.

Abans de la realització de l'estudi, es important establir alguns conceptes previs necessaris per a determina la qualitat de l'energia produïda per un molí, com ara la corba de potencia i la corba de Weibull.

Per a la industria eòlica és molt important poder modelitzar la variació de les velocitats del vent, ja que d'aquesta manera poden es poden construir turbines que s'adaptin millor als

recurs eòlic del que es disposa, i d'aquesta forma poder calcular de forma adequada la energia produïda pels aerogeneradors i conseqüentment la retribució econòmica estimada.

Aquesta distribució ha de contemplar que el vent, en la gran majoria d'emplaçaments, al llarg de l'any sol ser suau i es de estranyar els forts vendavals. Dons aquesta variació del vent es descriu amb la funció de Weibull.

3.5.1 Mesurament força dels vents

Les dades meteorològiques utilitzades provenen de la balisa de mesura d'aigües profundes MEDITERR6, de Ports de l'estat. Aquesta informació es contrastada amb l'atles eòlic proporcionat per IDAE.

La xarxa de d'aigües profundes esta formada per 13 balises Seawath i 3 Wavescan. Les instruments estan ubicats en punts amb profunditats entre 200 i 800 metres i mesures paràmetres oceanogràfics i meteorològics. Les dades son transmeses cada hora via satèl·lit i es troben a disposició publica a la pagina de l'organisme. La balisa a partir de la qual s'han obtingut la informació per el present projecte es la que apareix marcada amb la lletra L i es del tipus Wavescan.

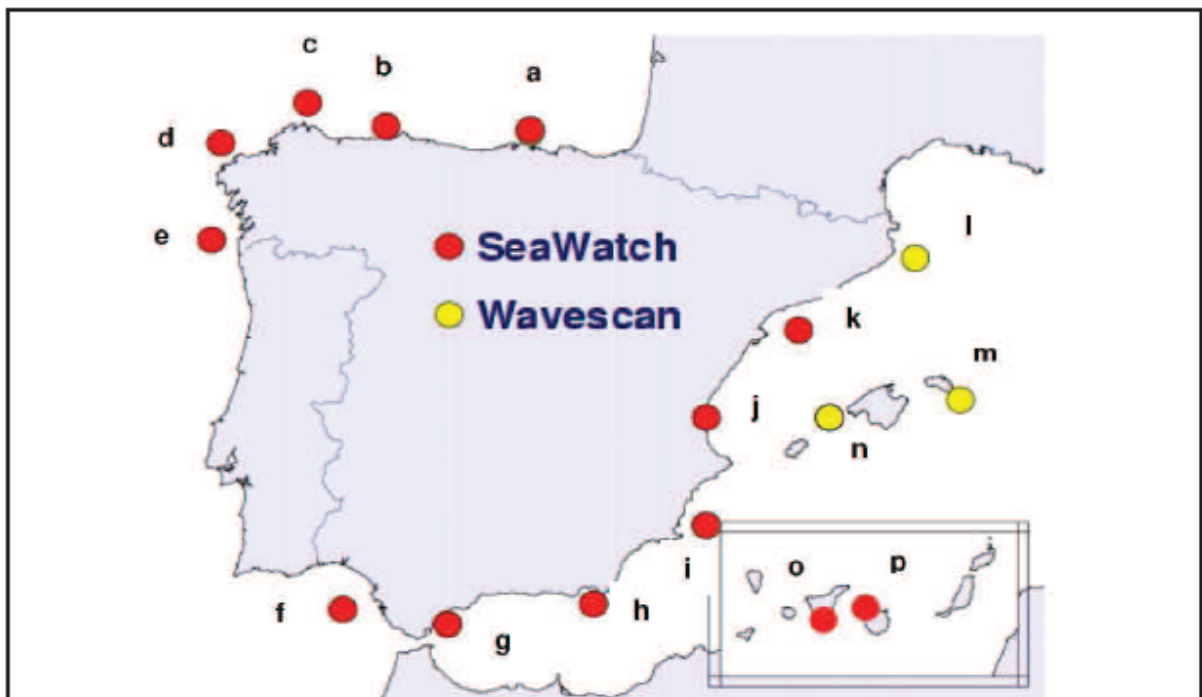


Figura 7: Xarxa d'aigües profundes de Ports de l'Estat.

Les balises oceanogràfiques ens faciliten dades com onades, corrents, vents i altres variables físiques. Les dades recaptades per a l'estudi del potencial eòlic son referent al vent, amb les variables de la freqüència, direcció i força.

Dirección	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Potencia (%)	Weibull C (m/s)	Weibull K
N	8.08	7.434	2.57	8.08	2.196
NNE	3.65	5.152	0.45	5.65	1.951
NE	2.97	4.763	0.32	5.266	1.836
ENE	2.55	4.64	0.25	5.319	2.005
E	2.86	6.051	0.65	6.556	1.696
ESE	3.28	5.445	0.52	5.948	1.793
SE	4.23	5.701	0.63	6.183	2.099
SSE	5.15	7.273	1.6	7.782	2.001
S	7.32	8.845	3.72	9.519	2.245
SSW	5.13	8.286	2.49	9.008	1.977
SW	3.21	7.178	1.1	7.878	1.9
WSW	1.71	5.303	0.28	5.703	1.613
W	1.21	4.631	0.12	4.989	1.7
WNW	2.96	8.059	1.54	8.667	1.708
NW	23.24	13.485	55.21	15.873	2.232
NNW	22.46	11.714	28.56	13.122	2.393

Figura 8: Dades de Vent a 3.50 ° E, 42.50°N.

3.5.2 Distribució de Weibull

La distribució de Weibull s'empra per realitzar una modelització del vent centrant-se bàsicament en 2 paràmetres, el d'escala i el de forma. El paràmetre d'escala representa que tant Ventós es l'emplaçament, de manera que a major paràmetre d'escala més ventós serà l'indret. Per altra banda, el paràmetre de forma indica com de punxeguda es la funció, és a dir si les velocitat del vent tenen tendència a aproximar-se a un cert valor aquest paràmetre tindrà un valor elevat, el qual està compres entre 1 (funció exponencial) i 3 (funció normal).

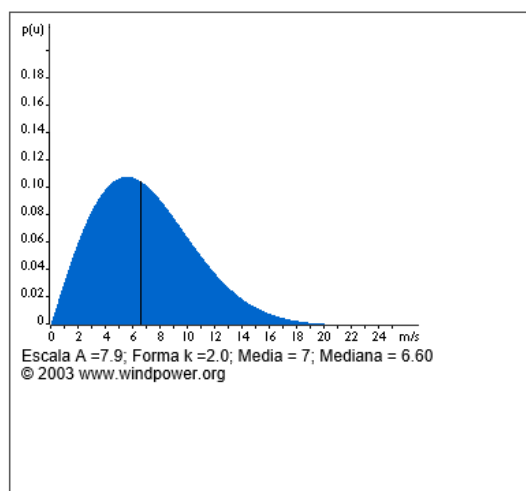


Figura 9: Corba de Weibull

La meitat de l'àrea blava que està a l'esquerra de la línia negra vertical a 6.6 m/s. Aquest 6.6 m/s són la mitjana de distribució, això significa que la meitat del temps el vent bufarà a menys velocitat i la meitat de temps bufarà a més velocitat. La velocitat mitja de l'emplaçament és de 7 m/s. La velocitat mitjana és realment la mitjana ponderada de les observacions de la velocitat del vent que tindrem en aquest emplaçament.

Com es pot observar, la distribució de les velocitats del vent no és simètrica. A vegades hi hauran velocitats de vent molt altes, però són molt rares. D'altra banda, les velocitats de vent de 6.6 m/s són les més comunes. Els 6.6 m/s és anomenat valor modal de la distribució, si multipliquem cada petit interval de velocitat del vent per la probabilitat de tenir aquesta velocitat particular, i els sumem tots, obtindrem la velocitat mitjana.

3.5.3 Rosa dels vents

La representació més corrent de distribució direccional del vent es la anomenada Rosa dels vents, que representa el percentatge de temps en que el vent prové d'una determinada direcció.

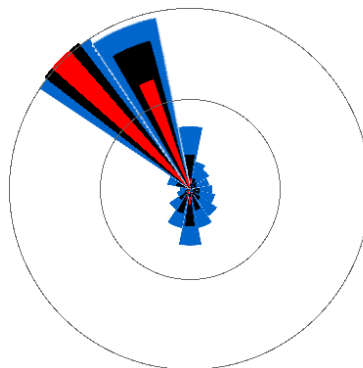


Figura 10: Rosa dels Vents

Observant la distribució direccional, es adient realitzar una orientació del parc ortonormal NE per tal de aprofitar al màxim el vent dominat a la zona, i disminuir així el costant posicionament de l'aerogenerador i treball del sistema de control per el seguiment del vent. D'igual forma s'hi s'orienta el parc en direcció del vent dominant el sistema de tensat del fondejat de les plataformes no sofrirà tant de balanceig.

4 AEROGENERADORS

Els aerogeneradors son la part principal en un parc eòlic ja que s'encarreguen de la transformació de l'energia. La majoria de fabricants de molins de vent offshore partiren sobre el disseny i fabricació dels aerogeneradors en terra per donar lloc a les turbines offshore. Arrel d'això s'ha estandarditzat com a instal·lació habitual el tipus tri-pala i orientació sobrevent.

4.1 Anàlisis i selecció en funció del mercat

Existeix una ampla varietat de fabricants de aerogeneradors a nivell mundial. Actualment, pocs es dediquen exclusivament al disseny de maquines offshore, però si que quasi tots han desenvolupat tecnologia específica per emplaçaments marins. La següent figura apareixen representats els principals fabricants del sector juntament amb la quota de mercat i els MW instal·lats fins el 2013.

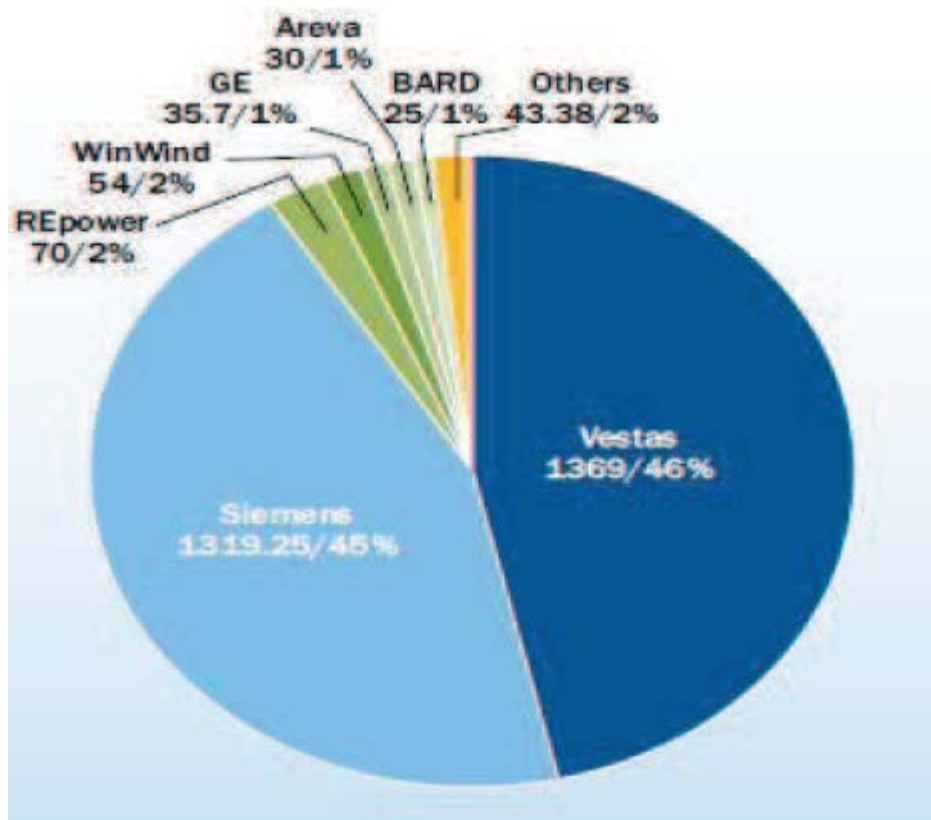


Figura 11: Quota de mercat per fabricant 2013.

Es pot veure com Vestas i Siemens Windpower son els dos fabricants que dominen el mercat, amb una quota de més del 90% i quasi 2.700 MW instal·lats entre els dos. Per altre banda, Repower, Winwind i BARD disposen d'una quota de mercat molt inferior, amb prou feines un 2%, encara que mantenen la seva aposta per el desenvolupament de la tecnologia offshore amb dissenys particulars pel l'entorn marí.

Per el que fa als models de aerogeneradors més instal·lats fins a la data, veiem que el mercat segueix la mateixa tendència, a sent els models de Simens SWT 107- 3.6 MW, Vestas V-90, Siemens 2.3MW i Vestas V-80 els més sol·licitats.

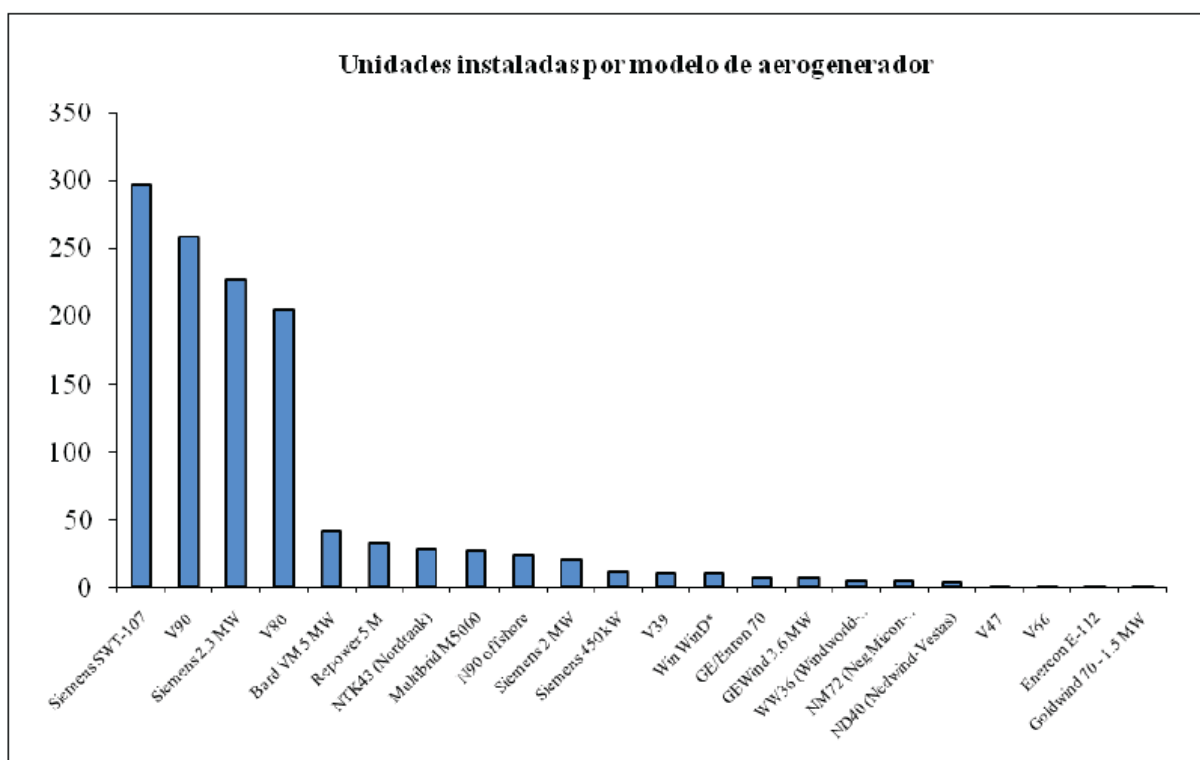


Figura 12: Unitats instal·lades per model d'aerogenerador.

En quant a l'estudi del mercat realitzat i centrar-nos en tecnologia offshore, ens trobem que el fabricant BARD desenvolupa 100% la seva tecnologia en l'àmbit de turbines marines. No obstant això, ens decanem per un aerogenerador amb experiència i resultats bons resultats al llarg dels anys.

El aerogenerador seleccionat serà Repower de 5MW, fabricant Alemany, amb experiència en els parcs de Thornton Bank.

4.2 Característiques especials en el medi marí.

No s'ha d'oblidar que a l'entorn marí és especialment agressiu i reuneix certes condicions per a les que els aerogeneradors han de estar preparats. És per això, que existeixen una sèrie de característiques que distingeixen els aerogeneradors utilitzats en parcs terrestres dels que s'utilitzen en projectes offshore. A continuació es descriuen les diferències més significatives:

Els aerogeneradors hauran de ser especialment robustos i fiables, amb el fi de maximitzar la seva disponibilitat. Això resulta fonamental degut al difícil accés i la necessitat d'una meteorologia adequada, lo que allarga notablement els temps i costos de reparació.

Amb la mateixa intensió, es necessari també la implementació de redundàncies en els principals sistemes d'actuació, sonorització i protecció. Així mateix és de vital importància per aquest aspecte la modularitat dels diferents components.

El sistema de impermeabilitat i control de la humitat són fonamentals, per permetre al generador un funcionament adequat exclòs a l'ambient exterior de la salinitat.

Els ànodes de sacrifici són imprescindibles a la hora de protegir el aerogenerador contra la corrosió de les corrents galvàniques.

Els generadors han de contar amb sistema adequat d'abalisament tant aeronàutic (llums d'obstrucció) com marí (llums d'obstrucció, reflector de radar, marcació visible de l'estructura, botzines antiboira)

Estructuralment, s'han de revisar el rang de freqüències pròpies de l'aerogenerador i del conjunt aerogenerador-plataforma flotant.

4.3 Components bàsics de l'aerogenerador

En el present apartat s'estudiaran els components bàsics i la estructura que componen un aerogenerador. El conjunt de aerogenerador es compon principalment de tres parts, el rotor, la gòndola i la torre. Segons la tecnologia a l'interior de la gòndola ens podem trobar diferents elements, essent de especial importància el generador. El cablejat i el transformador elevador es troben a l'interior de la torre, essent també habitual trobar-ho a l'interior de la gòndola. Per

el que fa al cablejat no només inclou el sistema de generació elèctrica, sinó que també costa de cablejat pel sistema de control. A la següent figura, es poden veure els diferents elements que consta un aerogenerador.

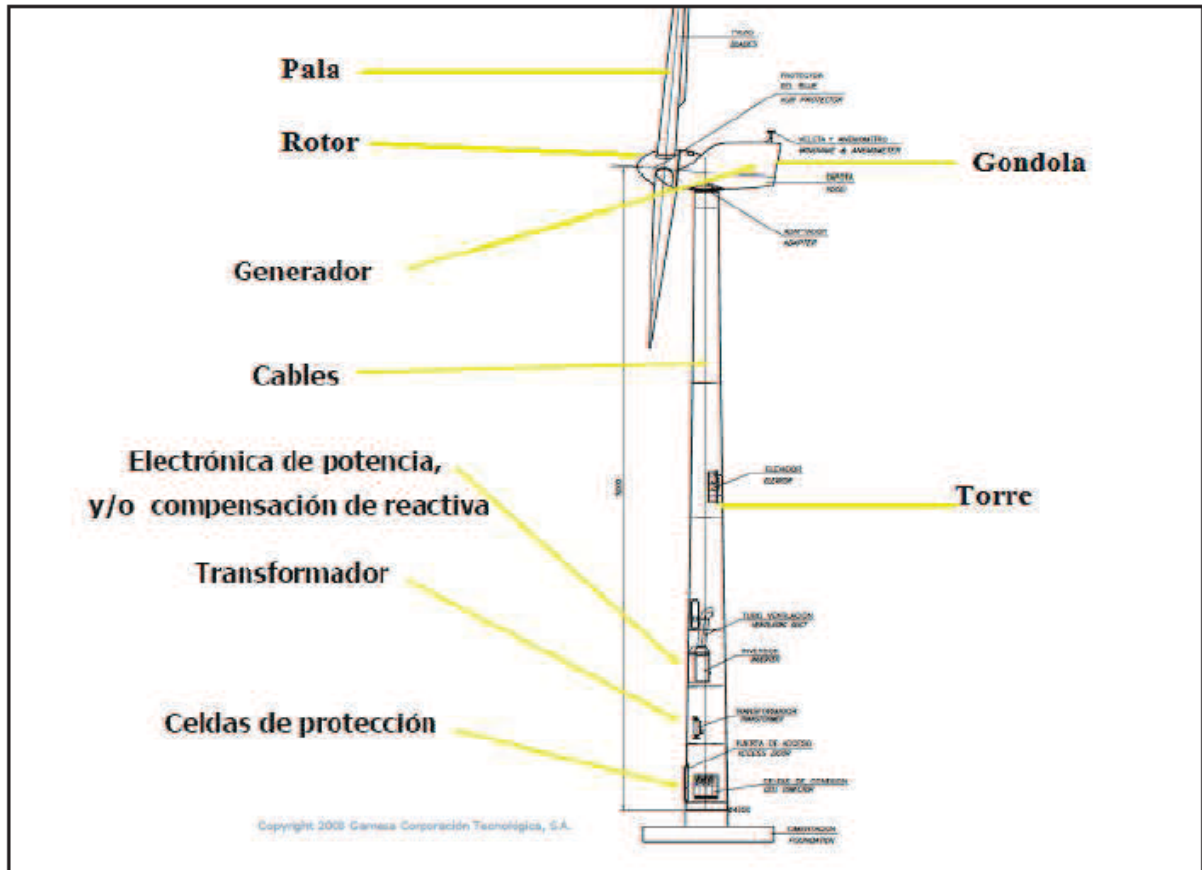


Figura 13: Components basic de l'aerogenerador

4.3.1 Rotor

El rotor es l'element que permet el moviment de rotació de l'aerogenerador. Esta format principalment per les pales i la caixa que transmet el moviment de rotació a un eix que connecta amb la caixa de canvis.

Les pales son de plàstic reforçades amb fibra de vidre de alta qualitat (GRP). Les puntes de les pales poden pivotar fins un angle de 85° respecte el cos principal, de la pala, actuant com a fre aerodinàmic. A les puntes d'aquestes s'hi ha integra parallamps per tal de desviar les sobretensions atmosfèriques.

Característiques principals del Rotor	
Nombre de Pales	3
Velocitat del Rotor	7.7/12.1 r.p.m (+15%)
Diàmetre	126 m
Àrea escombrada per les pales	12.469 m ²
Regulació de potencia	Per efecte Stall
Velocitat del vent d'activació	3-4m/s

Taula 1: Fitxa tècnica del rotor

4.3.2 Generador

El generador es l'element de la gòndola que transforma l'energia mecànica de rotació existent a l'eix d'alta velocitat, en energia elèctrica, basant-se en el principi de inducció electromagnètica de Faraday i en la llei de la força magnètica de Laplace.

Existeixen dos tipus de generadors de corrent alterna, els asíncrons i el síncrons.

Els generadors Síncrons, es caracteritzen per la relació existent entre la velocitat de gir i la freqüència de la tensió induïda en el rotor, es a dir si es manté constant la velocitat de gir s'aconsegueix una freqüència constata, i de aquí la denominació de Síncron. En aquets tipus de generadors, el camp inductor es generat per el debanat del rotor mitjançant el pas de una corrent elèctrica continua.

Els generadors Asíncrons, son el més utilitzat per la seva robustes i simplicitat dels seus elements. Aquest tipus de generadors son impulsats per velocitats superiors a la de sincronisme, comportant-se com a generador de corrent alterna de freqüència igual a la de la xarxa. El principal inconvenient es la instal·lació d'una bateria de condensador per tal de compensar la potencia reactiva subministrada per el generador i així millorar el factor de potencia.

Des de la caixa multiplicadora es transmet la potencia a l'eix del generador mitjançant una acoblament.

Els generador del aerogenerador seleccionat es asíncron de doble alimentació, on el rotor esta debanat mitjançant uns anells lliscants, aquets no esta directament connectat a la xarxa sinó que s'intercala un sistema electrònic de potencia que el desacobla d'aquesta i permet controlar les variables internes, per tal d'obtenir així la característica de velocitat variable sense sortir-se dels límits establerts per la freqüència de la xarxa.

Generador	
Tipus	Asíncron de doble alimentació
Pot. Nominal (kW)	5.27
Parell Nominal (entrada) (kNm)	42.09
Velocitat nominal (r.p.m./min)	1.212
Rendiment a P. Nominal	0.96

Taula 2: Dades del Generador

4.3.3 Multiplicadora

La velocitat del rotor per ella mateixa no es suficient per fer girar l'alternador ja que es inferior a 200 r.p.m. en conseqüència es requereix de una seria d'engranatges per obtenir una velocitat angular de sortida elevada, per a poder vèncer el parell que oposa el generador.

El multiplicador es un element ubicat a l'interior del bastidor, on la seva missió es precisament la de adaptar l'interval de gir de la turbina eòlica a la del generador elèctric. El sistema esta format per l'eix del rotor de l'aerogenerador (eix primari) d'entrada a baixa velocitat, acoblat a l'eix del generador (eix secundari) de sortida a alta velocitat.

Hi ha dos tipus de eixos de caixes multiplicadores, els eixos planetaris i els de acoblament cònic. Els primer els eixos d'entrada i sortida don coaxials, i presenten l'avantatge de proporcionar multiplicacions de velocitat més elevades amb un espai de temps més reduït, però presenten un manteniment complexa. Per el que fa als cònics els eixos son perpendiculars, aquests estan a disposició en el marcat en tota la gama de potencies, sent un sistema bastant utilitzat.

Transmissió	
Tipus	3 etapes planetaris
Relació Transmissió	1:78.6
P. Nominal (kW)	5.63
Parell Nominal (kNm)	4.30
Rendiment a P. Nominal	0.97

Taula 3: Dades Multiplicadora

El multiplicador del aerogenerador escollit presenta tres etapes, la primera esta formada per un tren de engranatges planetaris de parell elevat, la segona i tercera per engranatges cilíndric

dentats. L'engranatge planetari fa que el disseny sigui molt compacte, permetent transmetre un parell elevat des de el rotor.

4.3.4 Sistema de frens

Els sistema de frens principal esta constituït per el fre aerodinàmic de les puntes de les pales. El fre secundaries un fre de disc. Ambos sistemes permeten desaccelerar l'aerogenerador en qualsevol condició fins arribar a un estat de seguretat. Com fre d'estacionament existeix un fre mecànic de disc aplicat a l'eix de la sortida de la caixa multiplicadora, utilitzat per a bloquejar la maquina en cas de averia o per a la realització de tasques de manteniment.

4.3.5 Sistema de control

Les turbines incorporen dos anemòmetres cada una. Un s'utilitza per el control de la turbina i l'altre per a la monitorització. En la pantalla de control situada en el quadre elèctric es poden monitoritzar i verificar les dades de explotació, i controlar les funcions com l'arrencada, parada i seguiment de la direcció del vent. La turbina esta equipada amb un sistema de control remot, la transferència de dades es realitza per línia de comunicació de dades.

Característiques principals del sistema de control:

Tipus: Autòmat programable, Remote Field Controller (RFC)

Connexió a la xarxa interconnectada: controlada per tiristors

Abast de monitorització: control remot de més de 300 paràmetres diferents.

Registre de Dades: Dades de producció, llistes d'estats com funció de filtres, tendències a curt i llarg termini.

Visualització: PC tipus panell per a quadre elèctric i software de monitorització.

4.3.6 Protecció parallamps

La protecció parallamps i sobretensions atmosfèriques de l'aerogenerador s'han executat conforme a EC61024 i DIN VDE 0185.

4.3.7 Sistema contra incendis

Per a la determinació de les proteccions contra incendis a que és puguin donar lloc a les instal·lacions elèctriques d'alta tensió, a més de altres disposicions específiques en vigor, es tindran en compte:

La possibilitat de propagació de l'incendi a altres part de la instal·lació

La presència o absència de personal de servei permanent en la instal·lació.

La naturalesa i resistència al foc de la estructura suport de l'edifici i de les seves cobertes.

La disponibilitat de medis públics de lluita contra incendis.

Es col·locarà un extintor de eficàcia 21 B dintre de la torre, junt a la porta d'accés, d'acord amb el MIE-RAT punt 4.1. i s'ubicarà a l'interior de la torre de l'aerogenerador. Aquest tipus d'extintors son ideals en el cas de produir-se focs d'origen elèctric. Si existeix un personal de manteniment amb la missió de vigilància i control de les instal·lacions que disposin de personal fixe, aquets hauran de dur com a mínim als seus vehicles extintors d'eficàcia 89 B, no essent precisos en aquest cas.

4.3.8 Protecció a la corrosió

El aerogenerador Repower, complirà amb els requisits:

Recobriments especial múltiple segons DIN EN ISO 12944.

Recobriments efectius addicionals a la zona de la torre i del fonament.

Instal·lació dels components elèctrics complets a la sala de maquinària.

Refrigeració i ventilació dels components per intercanvi de calor

Sense aspiració d'aire humit i salat a la sala de màquines.

4.4 Corba de potencia de l'aerogenerador

Defineix la potencia elèctrica en funció de la velocitat del vent. Es nul·la fins una velocitat mínima o d'arrencada v_a i a partir d'aquesta creix ràpidament (aproximadament al cub de la velocitat), creixent així mateix el regim de gir del rotor. Quan el vent arriba a una velocitat v_n , entre 10 i 15 m/s, els mecanismes de limitació es posen en funcionament, i la potencia de sortida i el regim del rotor se mantenen constants aproximadament. Aquesta potencia es denomina potencia nominal, P_n , i es manté fins els 29 m/s. A partir de aquí, v_{pa} , la potencia de sortida cau ràpidament o se anul·la el funcionament, pues comencen a actuar els mecanismes de protecció, frenada del rotor per evitar riscos. La velocitat del vent de supervivència pot estar al voltant 5 a 60m/s.

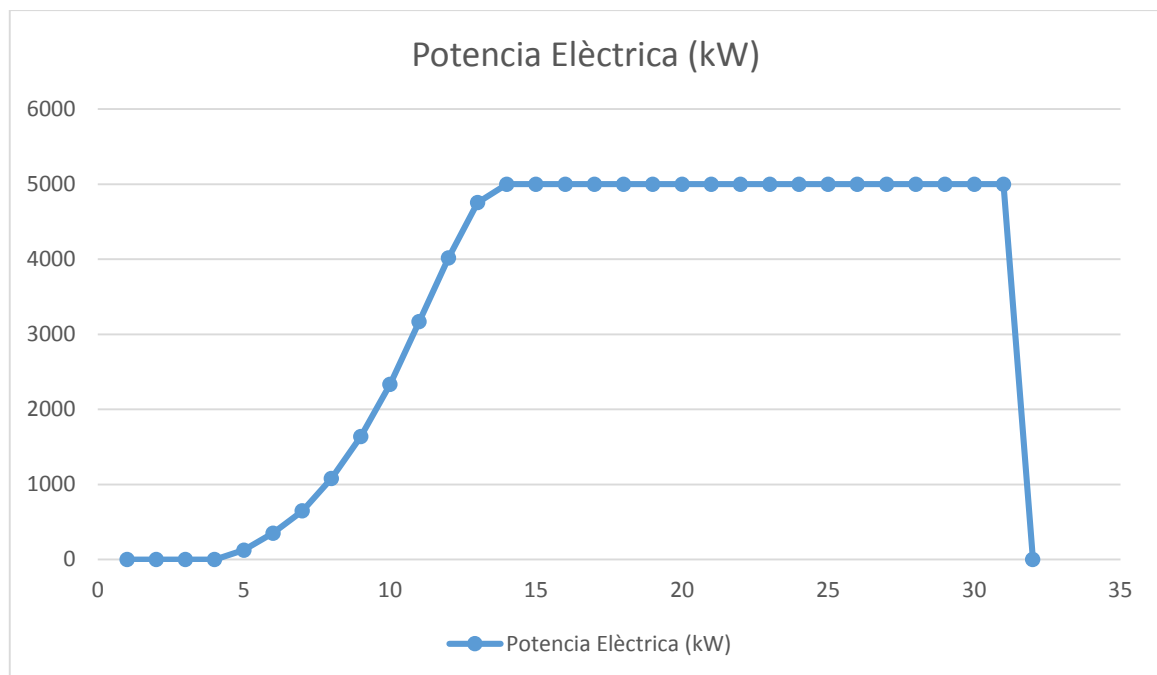


Figura 14: Corba de Potencia Aerogenerador

La figura anterior mostra la corba de potencia de la turbina, per el que fa a la següent figura ens mostra el gràfic de regulació d'aquest per canvi de pas o pèrdua d'aerodinàmica.

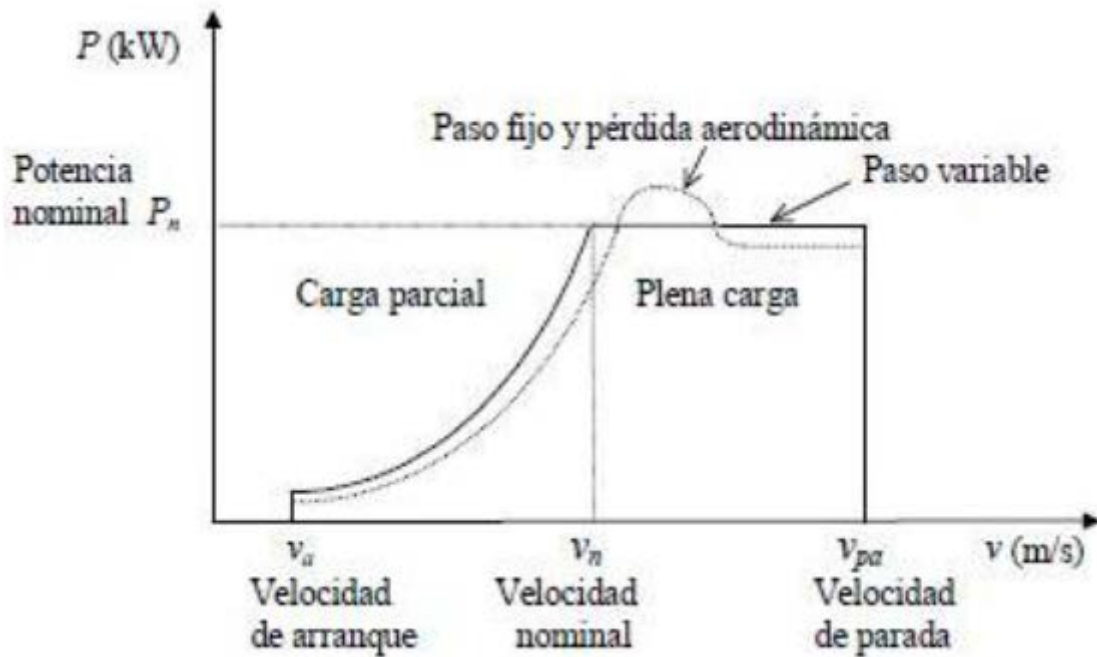


Figura 15: Gràfic corba de control de l'aerogenerador

4.5 Estimació de l'energia produïda

Per tal de poder quantificar de forma acurada la quantitat d'energia que produirà un aerogenerador en un any, s'ha de recórrer a la seva corba de potència (que ens dóna la quantitat de potència que entrega quan el vent bufa a una certa velocitat) i la corba de weibull (que dóna la probabilitat de que bufi el vent a una certa velocitat), llavors es realitza el producte entre les dues corbes. Tot i això tenint en compte que un any té 8760 hores.

Segons les dades obtingudes de la corba de weibull, ens dóna un valor de mitjana de velocitat del vent que predomina a la zona de 6.6 m/s. Amb aquest valor de vent i la taula de la corba de potència de l'aerogenerador podem obtenir una estimació d'energia generada per cada moli.

Realitzant una interpolació en els valors de generació de l'aerogenerador s'obté que per un vent de 6.6 m/s aquest genera una potència elèctrica de 907.8 kW·h, si un any són 8760 h la producció anual de valor mitja per un aerogenerador són de 7952.33 MW/Any. Si en el parc es disposa de 10 aerogeneradors, la producció teòrica total del parc seria de 79.52 GW/Any.

L'energia obtinguda es teòrica, per tal de obtenir una estimació més precisa s'han d'aplicar uns factor de correcció per pèrdues per indisponibilitat de màquines, pèrdues per transport i pèrdues per manteniment.

Les pèrdues per indisponibilitat contemplen possibles tasques de manteniment i possibles averies que pateixen els aerogeneradors que poden impedir el seu funcionament durant el temps que duri l'averia i reparació, o manteniment. El factor de correcció serà de 0.98.

Les altres pèrdues a tenir en compte són les de transport. Es produeixen en la línia de distribució del parc i a la línia d'evacuació a la costa. Aquestes pèrdues són majoritàriament produïdes per efecte joule, per la intensitat que circula pels conductors. El factor de correcció és de 0.97.

Les pèrdues ocasionades per manteniment, contemplen tots els moments en que el conjunt es manté parat degut a treballs de manteniment a qualsevol dels seus components, aquest factor és de 0.97.

Aplicant els anteriors factors exposats, tenim una potencia total estimada de la granja eòlica de 73.32 GWh/Any.

Tot hi aplicant els coeficients de correcció per tal de tenir una estimació més precisa aquesta no deixa de ser teòrica, ja que el vent no bufa en valor costat de 6.6 m/s sinó que fluctuarà tant en velocitat com en direcció i en hores. Per tant per obtenir la generació exacte per any s'ha de recórrer a l'obtenció de les dades de vent anuals del l'atles Eòlic de IDAE, on les dades es distribueixen per direcció de vent i freqüència. D'aquesta forma es podria obtenir la potencia real generada per el parc. Aquest estudi més precís es realitzarà en l'apartat de l'estudi de viabilitat econòmica.

4.5.1 Factor estela

Un cop decidida que la direcció de les fileres dels molins serà ortogonal a la direcció del vent dominant per poder treure el màxim partit possible del recurs eòlic existent, a continuació s'hauria de determinar el nombre de molins que es posen en cada fila i la separació entre files. Aquesta separació radica en la minimització del factor estela. El problema és que si es situen els molins molt pròxims el que succeeix és que el primer fa minvar el recurs eòlic del segon, ja que al transformar l'energia cinètica de les partícules en mecànica, fa que la velocitat del

vent en sortir del moli sigui menor a la que ha rebut inicialment, provocant d'aquesta manera que la velocitat del vent que rep el segon moli sigui força inferior a la inicialment prevista.

Segons la "Danish wind industry association" és recomanable per no superar un 5-10% de pèrdues pel factor estela, deixar una distancia entre 5 i 9 vegades el diàmetre del rotor en la direcció del vent dominant i entre 3 i 5 diàmetres en direcció perpendicular. Tenint en compte que el diàmetre de l'aerogenerador es de 126 metres, per tant la distancia escollida de separació entre molis tant de forma perpendicular com en direcció del vent dominat sigui de 1000 metres.

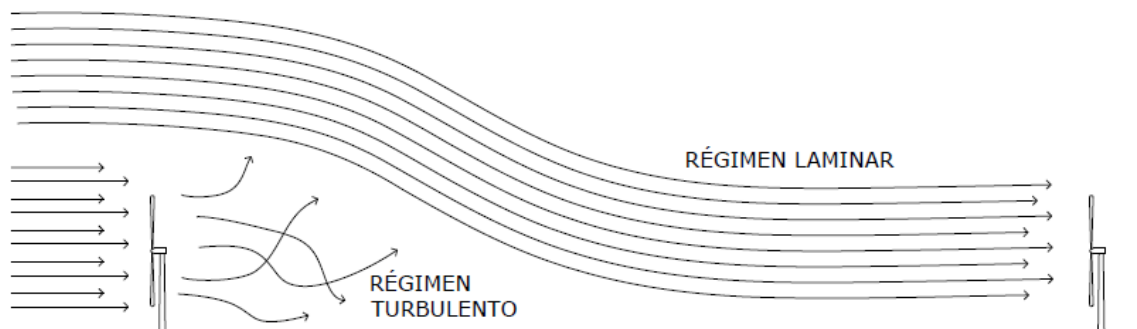


Figura 16: Eliminació factor estela

Realitzant una distribució correcta dels aerogeneradors, amb una separació adient entre ells s'aconsegueix que les capes superiors d'aire en regim laminar tendeixin a ocupar l'espai generat per les turbines després del regim turbulent, restablint així el potencial eòlic per el següent moli i eliminant el factor estela.

4.6 Distribució del aerogeneradors

Després de seleccionar la zona geogràfica per a la ubicació del parc i de seleccionar l'aerogenerador a instal·lar es necessari plantejar les limitacions del parc eòlic, per això es tindrà en compte l'estudi estratègic mediambiental presentat per el Ministeri de Industria i Comerç de Espanya, la zona corresponent a la del golf de Lleó es la Zona 35 amb coordenades de Long:3° i Lat:42°.

Els aerogeneradors es distribuïran formant dues files de 5 aerogeneradors en paral·lel. Cada generador estarà separat respecte a un altre per 1000 metres, per evitar en mesura que es produeixi l'efecte estela.

A continuació es mostra una taula amb les coordenades de cada aerogenerador.

Aerogenerador	Latitud	Longitud
1	42°42'	3° 28,4'
2	42°44'	3°28,5'
3	42°44,5'	3°30,1'
4	42°45,3'	3°31,3'
5	42°46,2'	3°32,2'
6	42°42'	3°29'
7	42°42,5'	3°30,1'
8	42°43,4'	3°30,5'
9	42°44,2'	3°31,5'
10	42°45'	3°32,5'
Subestació	42°42,1'	3°26,2'

Taula 4: Coordenades d'ubicació aerogeneradors

4.7 Distància mínima permesa des de la costa

Fa referència a la distància mínima en la que es pot començar a construir el parc eòlic sense que afecti de forma considerable el paisatge turístic.

L'informa de sostenibilitat ambiental i l'estudi estratègic ambiental del litoral espanyol per a la instal·lació de parcs eòlics marins contempla a la pàgina 30:

“4.2.6. Paisatge: Es important considerar la percepció que es podria tenir a efectes de l'alteració del paisatge sobre la visibilitat dels parcs eòlics marins des de la costa. Senten per paisatge qualsevol part del territori, tal i com es percep per les poblacions, que pel seu caràcter resulta de la acció de factors naturals i/o humans i de les interrelacions (Art.2 del Conveni Europeu del Paisatge). Donada la curvatura de l'horitzó i la òptica de l'entorn marí, aquets efectes poden arribar a ser mínims, però no per això han de ser depreciats d'anàlisi. Així mateix, determinades activitats turístiques realitzades en el medi marí podria veure afectades per a la presència en el paisatge de parcs eòlics offshore.”

Per aquest cas i agafat com a base l'estudi estratègic mediambiental es té com a límit una franja de 8 kilòmetres de distància paral·lels a la costa.

4.8 Sol·licitud de reserva de la zona

Un cop ubicats els molins, per complir amb l'article 6 del RDL 1028/2007 faltaria comunicar a l'administració la reserva de la zona. Aquesta s'ha de fer donant les coordenades geomètriques en graus, minuts i segons sexagesimals.

S'ha de dir que els molins que limiten la zona són els molins 1, 5, 6 i 10, que tenen associades les següents coordenades geomètriques:

Aerogeneradors	Longitud	Latitud
1	42°42'	3° 28,4'
5	42°46,2'	3°32,2'
6	42°42'	3°29'
10	42°45'	3°32,5'

Taula 5: Coordenades geomètriques dels aerogeneradors que limiten el parc

Com que l'article 6 del RDL 1028/2007 demana explícitament que els segons han de ser múltiples de 10. El que s'ha fet es ampliar la zona amb els següents 4 punts, que són els vèrtexs que determinen la zona que es vol reservar:

	Longitud	Latitud
Punt 1	42°41'	3°27'
Punt 2	42°43'	3°25'
Punt 3	42°47'	3°32'
Punt 4	42°45'	3°34'

Taula 6: Coordenades geogràfiques de zona de reserva

5 ANALISIS I SELECCIÓ DE PLATAFORMES

Per a situar un aerogenerador en aigües profundes, on la distància el fons es major de 100 m, no es pot recórrer a una solució pivotada com es habitual en les aigües dels parcs eòlics offshore del Nord de Europa. En aquest cas s'ha de pensar en solucions flotants. En uns primers passos és lògic que la eòlica marina flotant es recolzi en l'experiència de plataformes offshore del gas i el petroli, no obstant això, s'han de tenir en compte les peculiaritats afegides d'una carga d'aquetes característiques com es un aerogenerador de 5MW, amb les característiques detallades a continuació.

Potencia	5 MW
Diàmetre del Rotor	122 metres
Pes de la Torre	450 t
Pes de la Gòndola	280 t
Cota del nucli respecta a la línia d'aigües SWL	90

Taula 7: Característiques de l'aerogenerador

5.1 Anàlisi dels tipus de plataformes

L'objectiu de l'estudi no es el dissenys d'una plataforma flotant, si mes no la elecció d'aquesta en funció de les característiques principals de les tres tecnologies que es presenten com a solució: Semi submergible, Tensión Leg Platform (TLP), i Spar. Veurà Figura 5.

La pressa de decisions en el cas de un tipus de plataforma o altre esta fortament lligada en el tipus de fondeig que s'utilitzi, el procediment d'instal·lació, la complexitat tecnològica del sistema, i construcció de la plataforma.

Plataformes Semisubmergible: son estructures on el principi físic es basa en l'equilibri de les forces de flotabilitat-pes. Formades per pontons o cascos baixos on la seva missió es proporcionar la flotabilitat necessària durant la condició en transit de la plataforma. Els pontons son inundats en el lloc de instal·lació, de forma que el conjunt s'enfonsi fins el punt de flotar sobre les columnes. Aquestes han de proporcionar la flotabilitat, estabilitat i resistència estructural que garanteixi el correcta funcionament i integritat de l'aerogenerador.

Plataformes amb línies de fondeig a tensió (TLP): la seva configuració sol ser similar a la semis, no obstant això, el seu funcionament es diferent. Aquestes floten sobre els pontons durant el transit, es a dir, s'inunden durant la seva instal·lació i després es desllasten per

aconseguir una tensió definida, per a tensar les línies de fondeig i així aconseguir el manteniment de la posició.

Plataformes Spar: les Spar son estructures monocasc de gran calatge amb una configuració generalment cilíndrica i vertical. Son flotades horitzontalment fins el lloc d'emplaçament, on s'omplen els tancs de llast per aconseguir la seva posició vertical.

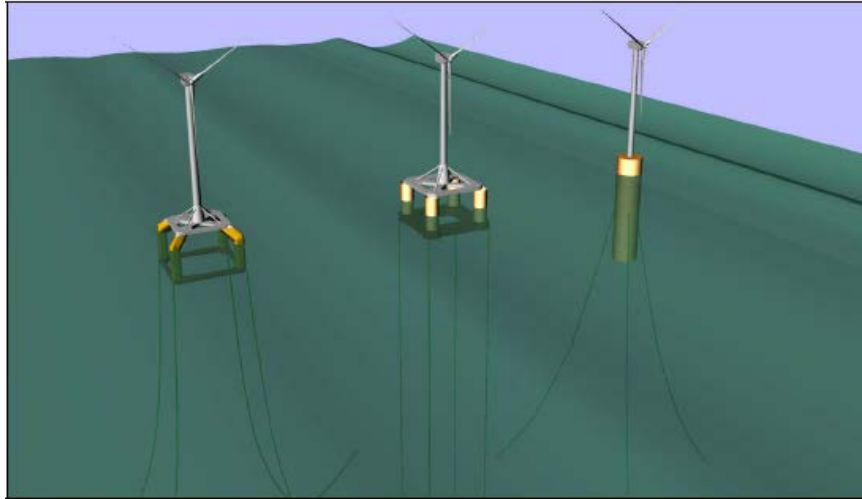


Figura 17: Tres conceptes de plataformes flotants: Semi submergible, TLP, Spar.

5.2 Criteris de selecció

Fer un anàlisis tècnic en profunditat dels tres tipus de plataformes no es el fil principal del present projecte, no obstant això es realitzarà una valoració qualitativa en la que s'integren criteris tècnics i econòmics associats.

La semi submergible i la TLP poden operar en un rang mes ampli que la Spar.

La TLP es la tipologia més estable, ja que per la seva pròpia concepció restringeix els moviments d'arfada, el caboteig i el balanç. El sistema de fondejat en semi i Spar és molt menys restrictiu per el que aquestes plataformes es mouen en major o menor mesura en els 6 Gdl.

La Spar te un major comportament en arfada que la semi al tenir forces de excitació verticals menors i un gran calat. Es comporta pitjar en balanç i cabotatge ja que es redueix l'àrea de flotació, i amb ella la inèrcia de flotació.

Els sistemes a sobre de les plataformes son senzills. Cada tipologia presenta les seves particularitats però no es un factor crític. Es descarten solucions autopropulsades i els posicionaments dinàmics amb costos prohibitius i que a sobre requereixen una tripulació a bord permanent.

La construcció de semi i TLP es relativament senzilla i tan sols els nodes entre les columnes-pontones i columnes-cobertes presenten dificultats. Els processos per la Spar son similars amb la peculiaritat de que tenen que idear com armar-les flotant horitzontalment tenint en compte que el funcionament de la Spar es en posició vertical.

Els procés de instal·lació de la semi es el mes simple, ja que la TLP i la Spar es una mica més complexa.

Una gran avantatge de la semi i la TLP es que permeten el muntatge del aerogenerador a la drassana, mentre que la Spar per la seva concepció, s'hauria de fer posteriorment a alta mar, amb un vaixell específic lo que incrementa considerablement els seu cost.

Els conductors elèctrics (elements de alt cost) sofriran menys esforços i es mouran en menor mesura en el cas de la TLP per els seu tipus d'ancoratge.

L'operació de les plataformes a de ser lo més senzilla possible. La TLP requereix un sistema que mantingui la tensió en les línies amb la variació de les marees. La semi precisa un sistema de transferència de lastra per a compensar les escores produïdes per el vent. En el cas de la Spar el procés més crític és la instal·lació. Els manteniments de la Spar son més complexos al tenir-se que realitzar sempre a alta mar i al ser una estructura de gran calatge. La semi i TLP presenten la gran avantatge de que poden ser reflatades a la drassana amb el aerogenerador instal·lat, encara que és una maniobra que s'hauria de restringir lo mes possible per a casos de força major.

Per últim, un factor que se considera molt important, es la possibilitat de realitzar un fondejat integral en que varies plataformes comparteixen punts d'ancoratge i de aquesta forma reduir el nombre de perforacions i ancoratges com les maniobres d'instal·lació dels mateixos. En el cas del sistema TLP és el que no permet un fondejat integral ja que nomes admet tensions verticals de les línies.

A la següent Taula 8 es mostra una avaluació numèrica dels tres tipus de plataformes per tal de determinar quina es la millor solució per a la instal·lació al parc.

CRITERIS	SEMI	TLP	SPAR
Profunditat	2.0	2.0	1.0
Pes Acer	6.0	3.0	3.0
Estabilitat	6.0	9.0	6.0
Comportament en el Mar	4.0	8.0	4.0
Sistema a Bord	6.0	4.0	4.0
Construcció Plataforma	8.0	8.0	4.0
Muntatge del Aerogenerador	10.0	10.0	5.0
Evacuació elèctrica	10.0	10.0	5.0
Criteris logístics	3.0	9.0	3.0
Criteris O&M	6.0	6.0	6.0
Sistema de Fondejat Integral	10.0	10.0	5.0
Instal·lació Plataforma	6.0	0.0	6.0
AVALUCACIÓ GLOBAL	6.4	6.6	4.3

Taula 8: Criteris de comparació entre plataformes

Com és pot comprovar en la taula 8 la plataforma en un major valor es la TLP, per tant es la que es procedirà a instal·lar. Aquest tipus de plataformes no permeten un fondejat integral, però en el nostre cas això tampoc seria possible ja que la separació entre aerogeneradors per evitar l'afecta estela, és >8 vegades el diàmetre del roto fet que fa que la separació sigui molt gran.

Finalment la plataforma seleccionada serà tipus TLP i de la casa Windfloat.

5.3 Protecció catòdica

La corrosió es un procés de destrucció de metalls i aliatges que es produeix de forma espontània, sobre la superfície del mateixos. Es pot dir que exceptuant els procés de corrosió a alta temperatura tots els demes es produeixen en presència d'aigua per mitja d'un medi electrolític d'intercanvi d'electrons.

La presència d'aigua, no només està envoltant d'un metall submergit, sinó que també en el enterrats, per humitat de la terra, i en la superfície dels metalls que es troben a l'aire, per condensació i esquitxades.

5.3.1 Tipus de protecció

De lo anteriorment esposat, deduïm que , per atenuar o evitar la corrosió d'un metall envoltat per un electròlit aquos, podríem utilitzar el mètodes següents:

Evitar el contacte del metall amb l'electròlit, cobrint la superfície amb un material impermeable i aïllant, haurem impedit la formació de corrosió, per l'eliminació de l'electròlit.

Per molt bones característiques que tingui un revestiment, no es possible aconseguir un aïllament total entre el metall i el medi que l'envolta, ja que sempre quedaran petites zones al descobert, produïdes per la porositat, esquerdes o impactes sobre el revestiment.

Aquestes petites zones de metall descobert, actuaran com ànodes, enfront de la resta de superfície metàl·lica recoberta, donant lloc a un procés de corrosió molt ràpid, concentrant-se en aquestes petites zones, en les que ràpidament apareixeran talls produïts per la corrosió.

El segon mètode per a combati la corrosió es la PROTECCIÓ CATODICA. Al unir elèctricament dos metalls de diferent potencial electroquímic, estant ambos rodejats del mateix electròlit s'establirà entra ells una pila galvànica, en la que el metall amb caràcter mes electronegatiu cedirà els electrons al metall mes electropositiu. Fet que dona lloc al ànodes de sacrifici, ja que aquest s'aniran dissolvent subministrant les corrents d'electrons necessàries, per a mantenir l'acer i els metalls de la instal·lació en estat d'immunitat.

Aquets sistema de subministrament contat d'electrons, es pot fer també des de una font de corrent elèctrica continua, la qual tendrà el seu pol negatiu connectat a l'estructura d'acer, que es pretén protegir i el pol positiu connectat a un conductor elèctric submergit en el mateix medi, a una distancia convenient de l'estructura. Aquest procediment es denomina CORRENT IMPRESA.

Els dos processos per atenuar o evitar la corrosió, protecció catòdica i recobriment, son complementaris.

Per l'element a protegir, dimensions, característiques tècniques i propietats físiques s'ha triat un sistema de protecció catòdica de corrent per corrent impresa complementada per una protecció superficial de la estructura mitjançant resines de poliuretà de alta qualitat.

S'ha optat per a la corrent impresa per un sistema que subministri una corrent de component continu ininterrompudament als ànodes, a partir de una font de energia elèctrica de component alterna.

Les unitats de UCP ha estat dissenyades per una vida superior a 20 anys, amb la tecnologia més avançada en semiconductors, i un disseny modern mitjançant un sistema digital amb microprocessadors per el control, visualització i comunicació bidireccional dels valors de protecció i de funcionament de la unitat.

6 ANALISIS I SELECCIÓ DEL SISTEMA DE FONDEIG

Un factor principal i característic del sistema de plataformes flotants es el sistema de fondeig, que permet fixar la plataforma al fons marí. Els sistemes de fondeig més utilitzats tant en vaixells com en plataformes flotants son les línies de catenàries, les taüt-leg, i les línies de tensió vertical. En la següent figura podem distingir les diferències entre els tres sistemes.

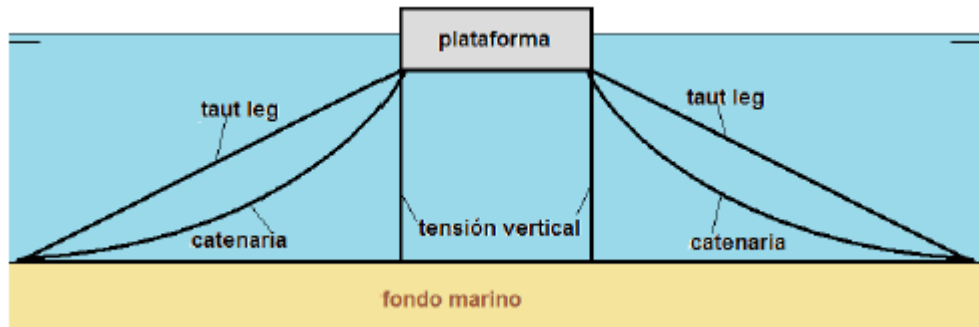


Figura 18: Tipus de línies de fondeig.

Una plataforma TLP utilitza un sistema de tensió Vertical (que ve a ser un taüt-leg amb orientació vertical), el sistema més utilitzat son les línies de catenàries tant en vaixells com en plataformes. La principal avantatge que ofereixen les catenàries es el seu reduït cost i la facilitat d'utilització en aigües de profunditat limitada. No obstant això el principal problema d'aquest tipus de fondeig es que la tensió vertical de la línia es normalment inferior a la necessària per a mantenir la plataforma estable contra els moments de bolcada, i a més si tenim en compte el parell exercit per un aerogenerador, on el centre de gravetat i forces horitzontals actuen molt allunyades del centre de masses, havent de recórrer per això a un nombre major de línies o línies excessivament llargues.

Els sistemes de taüt-leg avantatgen a les línies de catenàries a mesura que ens endinsem cap a aigües més profundes, posats a que tenen menor petjada i es requereixen menys línies per a mantenir la tensió necessària reduint així els costos d'instal·lació. Si la orientació de les línies de tensió és vertical la repercussió es mínima però per contrapartida hauran de suportar tensions vertical majors, fet que suposa uns encoratges més complexes i costosos. No obstant això a favor de aquest sistema de tensió vertical esta la possibilitat de mantenir gran part de la estructura submergida per sota la acció de les ones, cosa que les fa excepcionalment estables.

7 SENYALITZACIÓ

Segons la normativa i recomanacions de l'Organització de Aviació Civil internacional (OACI), tot obstacle per a la navegació aèria s'ha de senyalitzar. Específicament, sempre que l'obstacle tingui una alçada superior a 45 metres i inferior a 150 metres, s'haurà de senyalitzar amb llums de mitjana intensitat de color vermell o intermitències.

Pel que fa a la senyalització marina per a la navegació, s'haurà de ajustar a la normativa de ports de l'estat i marina mercant, pel que la proposta que es presenti serà sotmesa a la avaluació i aprovació per par d'aquesta entitat del ministeri de foment.

Per a garantir la visibilitat dels aerogeneradors a efectes de la navegació marítima es col·locaran quatre balises de mitja intensitat, disposades sobre la plataforma flotant a la cota +9 metres segons el següent esquema:

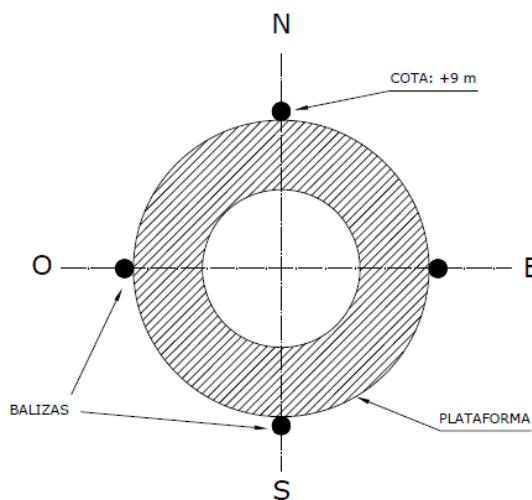


Figura 19: Sistema de senyalització marítima

Adicionalment, s'hauran de col·locar botzines o algun tipus de senyal acústica, indicatives de obstacles per a la senyalització per a la navegació en condicions de poca visibilitat per boira.

8 ESTUDI DE L'INFRASTRUCTURA ELÈCTRICA

En aquests punt s'analitzaran el temes relacionats amb la infraestructura elèctrica, tenint en compte el cablejat de connexió entre aerogeneradors, la connexió del parc a la subestació, així com les línies de evacuació d'energia generada i els equips de control i comunicacions.

A l'hora de dissenyar un parc eòlic marí s'ha de pensar a sobre de lo anteriorment ja mencionat, amb el elements principals de la infraestructura elèctrica d'un parc eòlic offshore que son els següents:

Generador + convertidor

Transformador BT/MT

Cel·les d'interconnexió de MT (Telecomandades)

Cablejat submarí d'interconnexió d'aerogeneradors en MT

Subestació transformadora offshore

Cablejat submarí d'evacuació de l'energia a la costa en MT/AT

Caixa de transmissió

Subestació transformadora terrestre (opcional)

Cablejat subterrani o aeri fins el punt de connexió

Sistemes de compensació de reactiva.

Com es pot observar alguns elements son opcionals, per tant a l'hora de dissenyar el parc s'han d'estudiar les necessitats de cada un.

8.1 Sistema de transmissió AC o DC

Les tecnologies existents per a realitzar el sistema d'evacuació d'energia generada són dos : HVDC (línia d'alta tensió de corrent continu) i HVAC (línia d'alta tensió de corrent altern).

Basant-nos amb els parcs eòlics existents i en els estudis realitzats sobre el tema es pot observar a la següent figura que per una distància de 21km de línia d'evacuació cap a la costa la òptima elecció seria un conductor de HVDC.

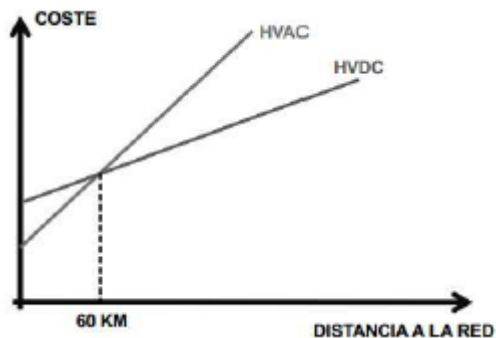


Figura 20: comparació de costos de HVAC i HVDC en funció de la distància.

8.2 Nivell de tensió del parc o amb subestació offshore

Les tensions a les que es poden connectar les turbines i la distribució del parc poden ser de 25, 33 i 66 kV. Per evitar la implementació d'una subestació offshore, es podria transmetre a la tensió interna del parc eòlic. La principal avantatge d'aquesta solució és que no es necessita la estació transformadora amb el consegüent estalvi econòmic i de instal·lació que això suposa. Evidentment la desavantatge serà la capacitat de transmissió, aquest es veurà limitada a un 50 MW amb conductors de 33 kV. En el cas del present projecte estaríem en el límit de potència transmesa.

També es troben diferències en les pèrdues segons el nivell de tensió, com es pot observar a la següent figura:

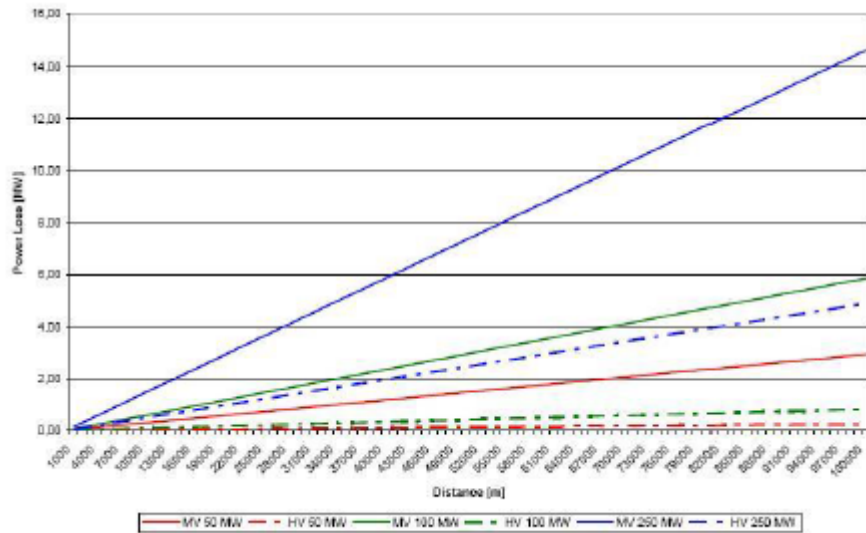


Figura 21: Pèrdues de Potència per HV(132 kV) i MV (33 kV) en funció de la distància.

El parc que s'ha dissenyat es troba al voltant dels 50 MW, per tant s'han de observar les línies vermelles. Es produeix un considerable estalvi de potència amb la solució de la línia de 132 kV.

Això es deu a que les pèrdues són: $P = RAC \cdot I^2$, a la vegada $I = U/R \cdot l$ llavors mantenint la resistència constant, si augmenta la tensió es aconsegueix un decrement de la corrent i per tant de les pèrdues.

En definitiva després del anàlisi realitzat, en el cas de que el parc eòlic del present projecte seria viable realitzar la evacuació d'energia al mateix nivell de tensió del parc sense la necessitat de subestació offshore. Però es cert que el futur de parcs eòlics offshore està a l'alça i l'àmpliament de l'actual projecte seria factible i viable.

Finalment s'ha optat per la implementació d'una subestació offshore amb una línia d'evacuació de 132 kV, ja que es preveu una possible ampliació i també per el fet de que la interconnexió amb la xarxa de distribució es realitza a 132 kV.

9 CONNEXIÓ INTERNA DEL PARC

Es tracta del tipus de connexió interna del par i dels seus conductors, aquesta es podria descriure com la encarregada de la connexió dels aerogeneradors fins a la subestació offshore.

La topologia de la xarxa d'un parc eòlic marí pot esser de dos tipus:

Topologia Radial.

Topologia en anell o redundant.

En els parcs eòlic terrestres es ve utilitzant topologies radials des de fa anys amb bons resultats, degut a que les taxes de fallada, els costos/temps per reparació i els costos per cessament de la producció son reduïts.

En els parcs eòlic offshore les condicions d'operació inciten a la utilització de topologies redundants o radials per optimitzar la producció, de forma que es pugui assegurar que hi ha tensió en tots els aerogeneradors en cas de averia en un tram de la xarxa (redundància d'operació) o inclús es pugui evacuar part o tota l'energia seguint un camí alternatiu a l'inicialment plantejat (redundància de potencia). Per optimitzar el nivell de redundància necessària per a cada instal·lació s'han de plantejar models matemàtics que tinguin en compte: la taxa de fallada del cablejat, els medis(humans tècnics) i temps/costos de reparació, temps/ costos d'accessibilitat en funció de la predicció meteorològica a llarg termini i en funció dels medis que es disposen per l'accés, etc. (cel·les telecomandades, limitacions a 15-18 MW per circuit en lloc de 30-35MW i limitacions a 33kV).

9.1 Xarxa de Baixa tensió (690 V)

La tensió de sortida del generador es de 690 V, aquesta tensió s'eleva amb un transformador ubicat a l'interior de la gòndola de l'aerogenerador elevant a 33 kV. No obstant això, cada torre inclou a l'interior un centre de transformació de 33 kV de tensió, a més costaran de la protecció necessària per la connexió de l'aerogenerador a la xarxa del parc eòlic. Els components que inclouran els centres de transformació dels aerogeneradors son:

Convertidor de freqüència, Armaris de control i quadre de protecció de baixa tensió., Transformador de BT/MT, Cel·les de MT

9.2 Compensació de potencia

El generador asíncron, ell mateix integra un sistema de compensació del factor de potencia, podent inclús treballar com a motor en les ocasions que siguin necessàries. El rang de regulació va des de 0.9 inductiu fins 0.9capacitiu, d'aquesta manera no es necessària la instal·lació de bateries de condensadors.

9.3 Transformador de BT/MT

El transformador que millor encaixa en les característiques que presenta el parc offshore es el de tipus encapsulat. El transformador en sec es aquell en que el circuit magnètic i el bobinats no estan submergits en un líquid aïllant (oli), UNE20101, mentre que el transformador en sec encapsulat es aquell en el que els bobinats estan encapsulats en un aïllament sòlid (SF6), UNE20178. Llevat que aquest tipus de aïllament sol esser mes car que altres, present avantatges que a curt termini compensaran la diferencia.

El transformador s'ubicarà a la gòndola de l'aerogenerador, per aconseguir un millor accés a ell.

ABB fabrica els transformadors de 5 MVA que s'ubiquen a la gòndola de l'aerogenerador i la seves característiques son les següents:

Tipus trifàsic, sec encapsulat
Relació 33 kV / 690V
Potencia nominal 5 MVA
Freqüència 50 Hz
Grup de connexió Dyn11
uK = 8 %
uR = 1.8 %
Classe de aïllament F
Dimensions Aproximades 3000 x 1500 x 3000 (alçada) mm ³
Pes aproximat 9000 kg
Norma UNE 20178, CEI 60726

Taula 9: Característiques transformador 5MVA ABB.

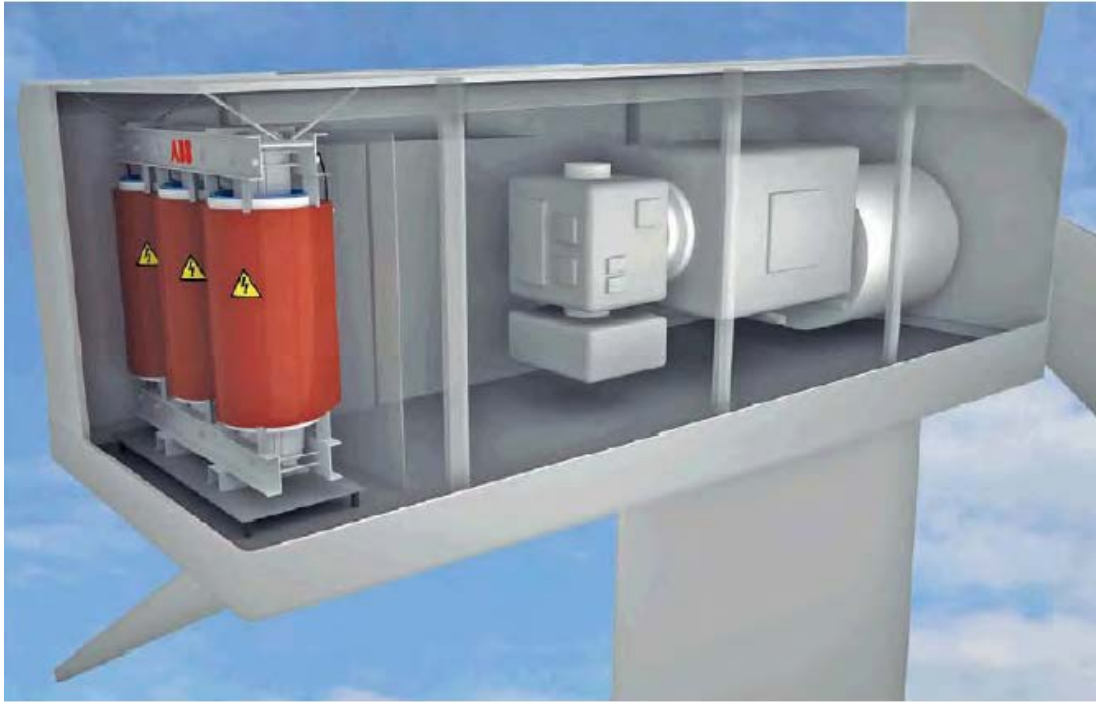


Figura 22: Transformador encapsulat sec en muntatge posterior a la gòndola.

9.4 Posta a terra de l'aerogenerador

Per a la connexió a terra dels aerogeneradors primer es transcriu a l'article 24 del Reglament de Centrals Generadores de energia elèctrica.

El punt neutre dels generadors port estar aïllat o connectat a terra, ja sigui directament o per mitja de resistències o reactàncies adequades. El valor de una o altres a de ser el que aconselli el càlcul de la corrent de curtcircuit a terra.

Els circuits a terra i els seus elèctrodes pertinents o plaques hauran de ser independents dels anteriorment mencionats a menys que els generadors estiguin connectats a transformadors elevadors de tensió, en aquest cas es permetrà utilitzar les mateixes terres dels neutres d'aquets a la part corresponent a la mateixa tensió dels generadors.

En resum, que es pot utilitzar la toma de terra del neutre per la terra en la part de baixa tensió.

Per posada a terra, en primer lloc es necessari conèixer la resistivitat del terreny en el qual s'ha de treballar, en el nostre cas tenim la particularitat que la nostra posada a terra es

submarina, per tant en molt previsible que sigui pràcticament nul·la, per a fer els càlculs de l'annex es selecciona la resistivitat d'un terreny pantanós seient aquesta de $20 \Omega \cdot m$.

9.5 Cel·les de MT

Les cel·les son molt importants ja que son les encarregades de protegir el transformador i l'aerogenerador en el cas de que es produeixi una falla, aïllant aquests de la resta de la xarxa interna de 33 kV i evitant la injecció d'energia a la xarxa. Les cel·les poden ser modular(CGM) o compactes (CGC).

Finalment els equips utilitzats son cel·les modulars de la casa Ormazabal. Cada aerogenerador contarà de 3 cel·les, dues de línia i una de protecció per el transformador.

CGM.3-L : Cel·la modular, funció de línia o escomesa, dotat prevista de un interruptor-seccionador de tres posicions (connectat, seccionat i posta a terra). S'utilitza per a l'escomesa de entrada o sortida dels conductors de MT, permetent comunicar amb l'embarrat del conjunt general de cel·les. Extensibilitat: dreta, esquerra i ambdós llocs.

CGM.3-V: Cel·la modular, funció d'interruptor automàtic, dotat d'un interruptor automàtic de tall en carrega en seria amb el seccionador de tres posicions (connectat, seccionat i posta a terra). S'utilitza per a les maniobres de connexió, desconexió i protecció de la instal·lació i del transformador, permetent comunicar l'embarrat del conjunt general de cel·les.

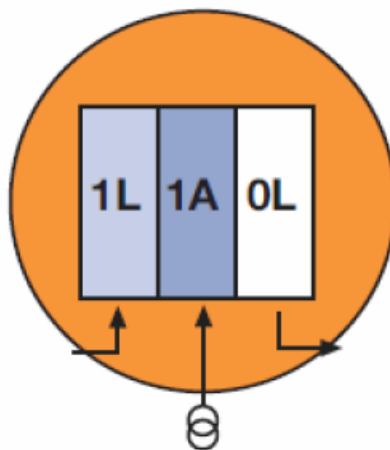


Figura 23: Configuració modular de les cel·les

Per a la configuració del les cel·les, OL es una cel·la de línia provinent des un altre aerogenerador, es a dir la línia d'entrada. Per el que fa a la cel·la 1A correspon a la de protecció del transformador i del generador, i finalment la cel·la 1L torna esser una cel·la de línia de sortida per a distribució cap al següent aerogenerador.

9.6 Conductor de MT

El conductor utilitzat per a la interconnexió dels aerogeneradors i distribució interna del parc eòlic serà de la casa Nexans de 36kV XLPE, 3 x 240 mm² amb conductor de fibra òptica.



Figura 24: Conductor submarí de 3 conductors més fibra òptica.

10 SUBESTACIÓ DE TRANSFORMACIÓ

El disseny de la subestació transformadora MT/AT del parc per si mateixa és necessari l'estudi i realització d'un projecte a part.

Abans d'entrar en detall de cada element elèctric que compon la subestació, es útil tenir una imatge de com es físicament una subestació d'aquest tipus i els seus elements constructius:

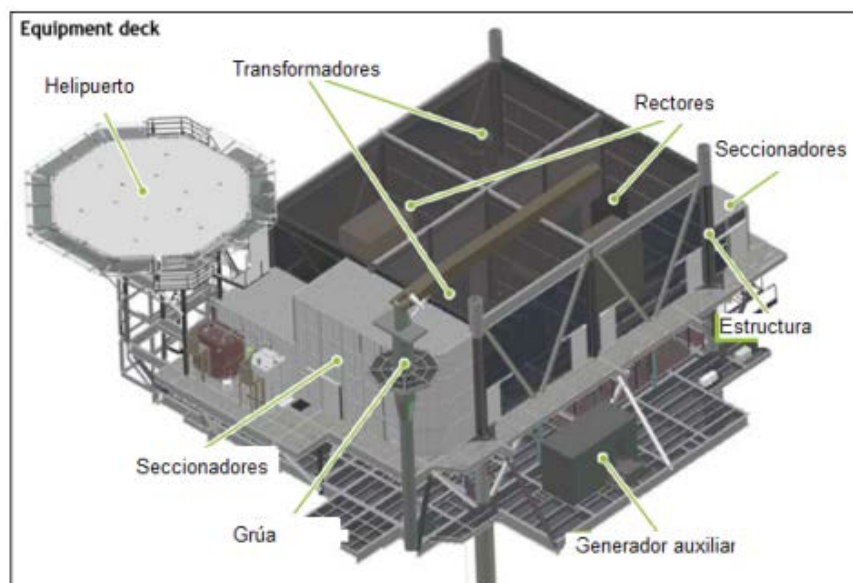


Figura 25 :Equipament d'una subestació offshore.

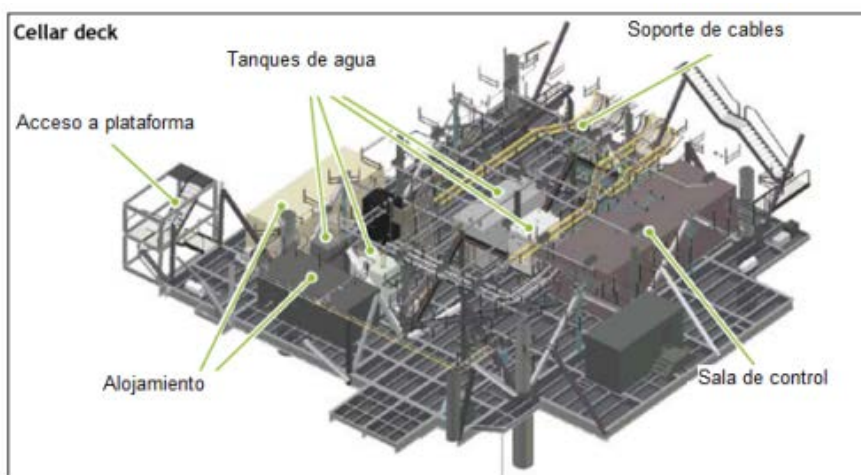


Figura 26: Distribució subestació offshore.

Es seleccionarà una subestació offshore (GIS). Els principals motius són el reduït espai que aquestes en permeten i que presenten millors característiques per a protegir-la del medi ambient al fet de ser coberta, tan la subestació en si, com els diferents elements que la componen. Encara que presenten avantatges importats, s'ha de dir que són més cares. El seu disseny modular facilita el transport i el seu manteniment és mínim. Les subestacions GIS mantenen els elements de protecció integrants encapsulats, en voltats en una atmosfera de SF6 a una pressió mínima de 5.5 bar.

En el present projecte s'estableixen els següents punts de partida:

Potència a evacuar 50MW, Relació de tensions 33/132 kV, Freqüència 50Hz, Tipus de corrent Alterna tant a la connexió interna com a la evacuació, Transformadors 2 transformadors trifàsics de 50 MVA, Aparellatge.

Les subestacions d'aquest tipus tenen un estudi considerable. Són de caràcter modular per el que el seu muntatge en una plataforma flotant no resultaria crític. No obstant això si que s'afegeixen complexitats que no són necessàries per a les plataformes sense subestació. És necessari realitzar un dimensionament específic per aquesta plataforma lo que podria suposar un altre projecte complexa.

La primera decisió que es pren, és que es necessitarà presència de tripulació a la subestació, tant per el control del parc com per el seu manteniment. Per tant el fet de tenir tripulació s'afegeixen una sèrie de serveis que s'han de disposar a sobre de la plataforma per a poder fer possible la vida a bord.

Aquest serveis serien: Espais per a la dispersió de la tripulació, serveis d'aigües sanitàries, tractaments de residus, serveis de climatització i ventilació, sistemes contra incendis, tallers i sala de control.

La subestació es situarà en el punt més pròxim a la costa, entre les dos línies de aerogeneradors en coordenades Lon: Lat: . La sustentació serà mitjançant plataforma flotant TLP i fondejat amb sistema "Tension Leg".

10.1 Nombre de transformadors i potencia instal·lada

Els transformadors han de estar capacitats per a la cobertura dels 50 MVA que pot generar el parc eòlic. Per aquesta situació es plantegen varies opcions, ja que també es vol sobredimensionar la subestació per una futura ampliació del parc eòlic. Les opcions són un sol transformador de 50 MVA que no tindríem marge d'ampliació, dos transformadors de 50 MVA. La opció d'un sol transformador ja queda descartada per el fet de no tenir la possibilitat d'ampliació, el fet de dos presenta l'avantatge de tenir una continuïtat del subministrament elèctric en el moment en que falli aquest transformador o es requereixin de manteniment.

Si ens decanem per la instal·lació de dos transformadors de 50 MW l'ampliació futura estarà més limitada, per tant es considera adient la instal·lació de dos transformadors de 85 MVA de potencia cada un, ja que així amb un sol transformador es pot aprofitar per futures ampliacions i disposant d'un segon per emergències. Els transformadors admeten sobrecarregues de de un 20% per sobre de la potencia nominal si es vigili la temperatura. En aquestes condicions, el transformadors podrien donar un subministrament d'energia elèctrica de 105 MVA.

Els diferents elements que constituirà la subestació són: Seccionadors, Embarrats, Interruptors, Parallamps o auto vàlvules, Transformadors de mesura de tensió, transformadors de mesura d'intensitat, transformador de potencia i bobines de bloqueig.

10.2 Cel·les col·lectores CBGS amb aïllament de SF6

Les cel·les del tipus CBGS-1/2 fins a 52kV de simple barra i doble barra, han estat dissenyades per la instal·lació en subestacions d'interior amb els sistemes de protecció adequats als transformadors de potencia, tenint en compte el següents conceptes:

Disseny modular i homogeni.

Alt grau de compartimentació per evitar la propagació i extensió de l'averia, en el cas eventual.

Possibilitat d'ampliació o modificació de un joc de barres, manteniment en servei en el segon joc de barres.

Mecanismes d'accionament de seccionadors elèctrics o manuals.

Amplia gama d'unitats funcionals modulars combinables: interruptor automàtic, interruptor seccionador, seccionador, interruptor seccionador amb fusibles, transformadors de mesura i acoblaments.

Aplicacions especials per a subestacions de tracció (monofàsiques, bifàsiques i trifàsiques).

Les cel·les col·lectores CBGS ½ tenen una capacitat de 2000 ampers en derivacions i de 2500 ampers en l'embarrat general. Això permet que cada una d'elles es receptora de la protecció de 5 aerogeneradors i minimitzar així la quantitat de cel·les necessàries per a la subestació flotant.

Les característiques generals de la cel·les col·lectores CBGS-1 son les següents:

Sistema d'embarrat	Simple /Doble
Sistema de Fases	Trifàsic
Dimensions (alçada, llargària, fons)(mm)	2.400 x 600 x 1.450
Tensió Nominal(kV)	24/36
Nivell d'aïllament a freqüència industrial(kV)	50/70
Nivell d'aïllament a ona de xoc tipus raig (kV)	125/170
Embarrat general (A)	2.500
Derivacions (A)	2.000
Intensitats Nominal de Tall en Curtcircuit (kA)	31.5
Intensitat nominal de tall duració 3s/I (kA)	25/31.5
Capacitat de tancament en curtcircuit (kA cresta)	80
Resistència front arc intern	25 kA-1s

Taula 10: Característiques cel·les CBGS-1

10.3 Transformador de Potència AT

El transformador seleccionat es fabricat per la casa ABB, amb una potencia de 85MVA.

Es tracta de un transformador compacte, amb oli coma dielèctric, de dimensions reduïdes i de gran resistència a lates temperatures. S'adapten a espais reduïts i son idonis per a plicacions específiques, com generació eòlica.

Aquesta gama de transformadors de distribució ofereixen un excel·lent comportament enfront altes temperatures deguda a sobrecarregues, així com a una tolerància a condicions ambientals agressives.

Numero de Fases	3
Freqüència	5 Hz
Norma	C.E.I
Refrigeració	ONAN/ONAF
Temperatura ambient	45 °C
Líquid refrigerant	Oli
Condicions de Funcionament	
Potencia Nominal ONAF en M.T.	85 MVA
Potencia Nominal ONAF en A.T.	85 MVA
Tensions Nominal en Buit	
A.T.	120
M.T	33
Regulació (bobinat de A.T.)	
Classe	Carrega
Marge de regulació	+/- 10%
Nombre de posicions totals	8
Camp de regulació	142-98 kV
Connexions	
Bobinat de A.T.	Estrella amb neutre accessible
Bobinat de M.T.	Triangle
Grup de Connexió	
AT, MT	Ynd11

Taula 11: Característiques del Transformador de Potencia ABB

10.4 Transformadors de mesura

Els transformadors de mesura de les subestacions flotants entén es troben dintre del sistema de protecció i son connectats als relés que enviaran l'ordre de dispar als interruptors en cas de detecció de sobretensions o sobreintensitats fora del rang admissible. En el nostre cas es defineixen dos tipus:

10.4.1 Transformadors monofàsic de mesura de tensió TT/TT



Figura 27: Transformador de mesura de Tensió

El transformador seleccionat son de la casa ISOLTEC per a instal·lació d'interior, amb un pol aïllat. Es connecta un a cada fase R, S i T, les característiques generals son les següents:

Nivell d'aïllament	De 3.6/16/45 kV a 24/50/125 kV
Tensió primària U _{pm}	Fins 36.000 : $\sqrt{3}$ V
Tensió Secundaria U _{sn}	100: $\sqrt{3}$ – 110: $\sqrt{3}$ V
Freqüència	50 o 60 Hz
Potència de precisió	100 VA c10.5-125 VA c11-200 VA c13
Classe de precisió	0.1-0.2-0.5-1-3-3P-6P
Factor de tensió	1.9 U _{pm} 30s
Classe d'aïllament	A
Fusible	6.3 A
Temperatura de treball	De -40 °C a + 70 °C
Norma	CEI60044-2-NFC42501-VDE0414-S3941

Taula 12: Característiques Transformador de Tensió ISOLTEC

10.4.2 Transformador de mesura d'intensitat TT/II

Els transformadors d'intensitat son de la marca ISOLTEC, sistema toroïdal per a conductor passant.



Figura 28: Transformadors d'intensitat

Nivell d'aïllament	De 7.2/20/60 kV a 24/50/125 kV
Intensitat primària I _{pm}	De 50 a 12.000 A
Intensitat Secundària I _{sn}	5 0 1 A
Freqüència	50o 60 Hz
Potència de precisió	De 1 a 100 VA
Classe de precisió	0.1-0.2-0.2s-0.5-1-3-5P
Factor límit	5-10-15-20-30
Intensitat màxima permanent	1.2 I _{pm}
Intensitat tèrmica	De 80 a 1000 I _{pm}
Intensitat dinàmica	2.5 I _{th}
Classe d'aïllament	E
Temperatura de treball	-40 °C a 70°C
Norma	CEI44-1–NFC42501–VDE0414–S7626

Taula 13: Característiques Transformador d'intensitat ISOLTEC

10.4.3 Relés de protecció

Els relés de protecció son derivats dels de mesura, els quals pel seu funcionament ràpid i automàtic, fan possible la agrupació. El funcionament general dels relés de protecció es tal que, en sobrepassar o descendir del valor de magnitud que controlen, fan disparar l'interruptor de potència.

Els tipus de relés de protecció i vigilància de línies es classifiquen segons el seu funcionament: sobreintensitat, mínima i màxima tensió, vigilància de contacte a terra, diferencial i de distancia.

10.4.4 Relé d'intensitat

Es l'aparell que actua quan la corrent que circula sobrepassa la nominal. El relé de sobreintensitat no retardat te el mateix funcionament però disposa de un contacte auxiliar.

Relé temporitzat de sobreintensitat independent: es la combinació del relé de temps i de intensitat, quan es detecta una sobreintensitat es posa en funcionament el mecanisme de temps que es totalment independent.

Relé temporitzat de sobreintensitat tèrmica: aquest tipus de relé actuant al cap de un segons de produir-se la sobrecarrega, disminuint el temps de dispar quan augmenta la intensitat.

10.4.5 Relé de tensió

Els seu comportament es similar al de sobretensions, i es distingeixen dos tipus: el de mínima tensió i el de màxima.

El relé de mínima tensió actua quan aquesta disminueix a un valor que pugués ser perillós per els receptors ($<85\%$ VL) i que persisteix durant un cert temps. Per el que fa a l de màxima tensió, té la missió d'evitar l'elevació de la tensió de xarxa a valors superiors al màxims permesos.

10.4.6 Relé de vigilància de contacte a terra

El relé de vigilància de contacte a terra té la missió de senyalitzar immediatament, en xarxes sense posada a terra del punt d'estrella, els contactes a terra que presenta la xarxa. Els dispositius de extinció de contactes a terra disminueixen la corrent en els punts de contacte a terra a una mesura no perjudicial, evitant posar immediatament fora de servei les parts de la línia afectada per el contacte a terra.

10.4.7 Relé diferencial

Té la funció de detectar la corrent de defecte de una línia per a comparació de les corrents en els seus extrems captades mitjançant transformadors d'intensitat. Quan la comparació dels corrents es fa de les dues línies en paral·lel, s'anomena relé diferencial transversal.

10.4.8 Relé de distancia

Dispositiu que actua al produir-se curtcircuits en les línies durant un temps que resulta proporcional a la distancia a la distancia on s'ha produït dit defecte. Aquest tipus de protecció es el més generalitzat en línies de mitja i alta tensió.

10.5 Seccionador de sortida 120 kV

El mecanisme seccionador a la sortida del transformador es monitoritzat i de columnes giratòries, el sistema pot ser manual o telecomandat. Esta compost per tres columnes, dues

exteriors fixes i una en la part de mitja giratòria. Aquesta última, al girar tanca o obri el circuit mitjançant una barra instal·lada en la part superior, exercint de contacte mòbil.

Aquest seccionador pot muntar-se amb fulles de posta a terra, impedit així qualsevol maniobra falsa. El aïllador central dels seccionadors de una columna giratòria, pot estalviar-se si les columnes són giratòries, en qualsevol cas, els braços de contacte giren fins a connectar-se.

10.6 Interruptor de sortida de 120 kV en SF6

L'element aïllant i d'extinció intern és de gas SF6 de excepcionals i conegudes característiques dielèctriques. El principi d'extinció de l'arc és el auto-bufat per pistó de compressió tipus campana mòbil. Aquest tipus de pistó suposa la major solució per les seves immillorables característiques dielèctriques durant el moviment de desconexió. Les avantatges que suposa aquest tipus d'interruptor, són les següents:

Baixa sobretensió de maniobra en la interrupció de corrents capacitives i inductives, inherent a la utilització del gas SF6 i al principi d'extinció elegit.

Pressió de gas en els pols molt reduïda, estanqueïtat per doble joc de junts tòriques

Absència total de riscos d'explosió o incendis. Per tant interruptors adequats per tot tipus d'instal·lacions.

Contactes de corrent nominal i d'extinció separats que assegurin el pas de la corrent nominal en condicions invariables, independentment de la potència i el nombre de maniobres de reenganxada ràpida repetitiva.

Elevat nombre acumulat de maniobres mecàniques, a intensitat nominal, en curtcircuits i en maniobres de reenganxada ràpida i repetitiva.

10.7 Embarrat de 120 kV

La opció seleccionada és un triple joc de barres ja que s'empren freqüentment en instal·lacions d'alta tensió. El sistema costa de dos jocs de barres principals i un joc auxiliar.

Cada conjunt de barres té la seva protecció diferencial independent per evitar desconexions totals de la subestació. En cas de falla, el conjunt de barres principals permeten que la meitat de les línies es connectin a un conjunt i l'altre meitat a l'altre. Les barres auxiliars serveixen per que l'interruptor d'acoblament pugui substituir l'operació de qualsevol interruptor d'aquest circuit.

Aquesta solució permet donar un manteniment o reparació a qualsevol interruptor ja que aquest queda substituït per l'acoblament sense alteració d'energia.

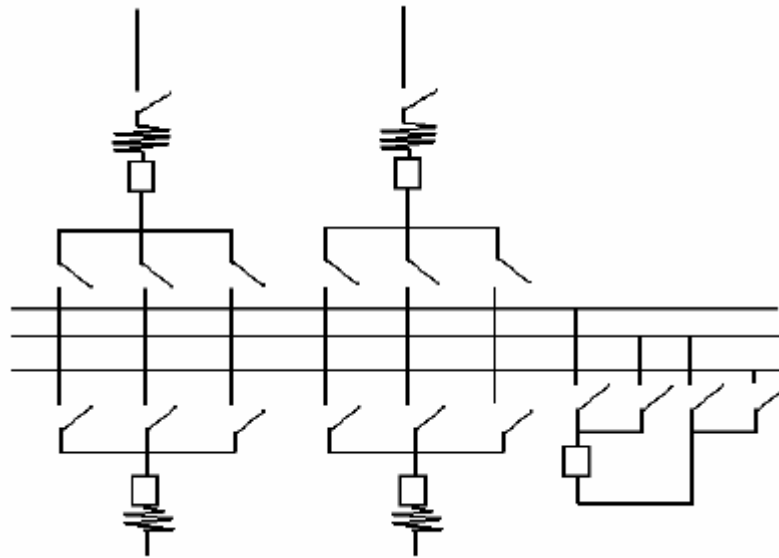


Figura 29: Esquema unifilar de l'embarat de 132 kV

10.8 Serveis auxiliars

A part de altres funcions secundaries, els serveis auxiliars constitueixen la font d'alimentació dels sistemes de maniobra, control i protecció de la subestació; per això s'han de dissenyar amb objecta de mantenir la pròpia fiabilitat dels elements principals del sistema.

El criteri fonamental de disseny dels serveis auxiliars no ha de ser l'econòmic, sinó garantir els subministres d'energia necessaris per a la instal·lació, encara que es produeixin falles en el propi sistema o en les fonts que l'alimenten, en general un primer error no ha de produir problemes i en certs equips ni un segon error simultani.

La alimentació dels serveis auxiliars de corrent alterna serà subministrada mitjançant dos transformadors de serveis auxiliars (TSA), disposats en l'edifici de control i cel·les de la subestació una alimentació 380/220 V fiables i independents, de forma que la pèrdua de una de les alimentacions no suposi la pèrdua de l'altre.

Mitjançant el sistema de serveis auxiliars s'alimentaran els circuits d'enllumenat intern de la instal·lació, l'enllumenat d'emergència, les tomes de corrent i els equips de control.

10.9 Posta a terra de la subestació

Tota instal·lació elèctrica haurà de disposar de una protecció o instal·lació de terra dissenyada de forma que , en un punt normalment accessible de l'interior o l'exterior de la mateixa on les persones poden circular o romandre, aquestes queden sotmeses com a màxim a les tensions de pas i contacte.

Una de les solucions més usuals seria la instal·lació de piques en el fons marí. Degut a la novetat d'aquesta tecnologia i a la sobreprotecció que les empreses dedicades a la mateixa no existeix molta informació sobre aquest apartat.

11 EVACUACIÓ D'ENERGIA CAP A LA COSTA.

El traçat de la línia submarina d'evacuació del parc inclourà dues línies independents, que sortiran de la subestació offshore flotant. D'aquesta manera, la averia de una de elles no impedeix continuar generant electricitat per par de l'altre, de la mateixa forma en garantirà un marge de potencia a evacuar per una futura ampliació.

El traçat es realitza per el fons marí mitjançant un robot, aquets realitzarà rases projectat aigua a pressió, posteriorment introduirà els conductors i les tornarà a tapar.

A 200 metres de la costa s'iniciarà el traçat per a rasa formigonada submarina amb tub encofrat de PE per el qual s'introduirà el conductor fins a la arqueta de sortida per l'entroncament a uns 280metres terra endins, essent el total del tram entubat i formigonat de 480 metres.

11.1 Línia submarina de AT

El conductor submarí per a la evacuació de la energia, tindrà una longitud de 23 km amb conductor tripolar de la casa ABB. La secció del conductor serà de 800mm² per a la evacuació de 170 MW, ja que es la potencia màxima que es pot evacuar des de la subestació. Ja que aquesta esta sobredimensionada per a una futura ampliació.

Els càlculs de justificació de la secció es disposen a l'annex de càlculs per a caiguda de tensió i intensitat a transportar. Les característiques del conductor son les següents:

Material del conductor	Coure
Aïllament	XLPE (Química)
Tipus de conductor	Tripolar compacte
Diàmetre conductor	33.7 mm
Secció transversal	800 mm ²
Diàmetre exterior nominal	194 mm
Pes aproximat	74 kg/km
Corrent de curtcircuit admissible	20 kA
Tensió màxima de funcionament	145 kV
Perm. Valoració 20° C	775 A
Max. Resistència en cc a 20 °C	0.045 Ohm/km
Capacitat fase nominal	0.23µF/km
Tensió de funcionament	132 kV

Taula 14: Característiques conductor submarí ABB Tripolar de 800 mm²

11.2 Rasa de sortida a la costa

La sortida a la costa fins el punt de conversió submarí-terrestre es realitzarà per rasa formigonada amb els additius corresponents per el l'enduriment en banyat. El tram té un 200 metre per mar des de la costa i 280 metres per terra, amb un total de 480 metres de longitud.

En el tram per mar la rasa formigonada queda enterrada en el fons marí, i en el tram per terra la rasa passa per sota de la calçada fins arribar al punt de conversió. En la rasa queden encastats els tubs de PE de 300mm de diàmetre interior per on s'introduiran els conductors tripolars d'evacuació elèctrica. La distància entre els conductors es de dos metre minimitzat d'aquesta forma les inductàncies mútues entra les línies.

11.3 Línia soterrada de AT

La instal·lació en dimensionarà d'acord a les característiques dels conductors, els coeficients de correcció en condicions d'explotació, la previsió de potències, la caiguda de tensió màxima admissible i els criteris de càlcul especificats a n' aquest projecte i complint en tot moment les especificacions del Reglament d'Alta Tensió RLAT.

La línia s'estendrà a l'interior de la rasa a una fondària no inferior a 0,90 m. Els cables estarà immers en una capa de sorra d'un gruix mínim de 30 cm., per sobre del qual es posaran plaques de polietilè com a protecció. A uns 40 cm. de fondària i en tot el recorregut de la línia, es col·locarà una cinta plàstica amb l'anagrama "PERILL CABLES D'ALTA TENSÍÓ".

Els cables a utilitzar a la xarxa de AT tenint en compte que la instal·lació es cedirà a la l'empresa distribuïdora FECSA-ENDESA i per aquets motiu s'hauran de complir les especificacions que es detallen a la norma GE DND001. Aquets seran unipolars i compliran les especificacions de la Norma UNE-EN 620-5E.

Els conductors seran circulars compactes d'alumini, de classe 2 segons la norma UNE 21022, i formats per diversos fils d'alumini. Sobre aquets hi haurà una capa termostable extruïda semiconductora, adherida a l'aïllament, amb un gruix mig mínim de 0,5 mm.

l'aïllament serà de polietilè reticulat (XLPE), de 8 mm de gruix. Sobre aquest s'estendrà una part semiconductora no metàl·lica i una corona de fils de coure, disposats de forma de hèlix, format en conjunt una pantalla metàl·lica de 16mm².

La coberta exterior del conductor estarà constituïda per una capa de compost termoplàstic a base poliolefina (PVC), de color vermell i de gruix nominal de 2.75mm.

El conductor serà unipolar de la casa Nexans de coure amb una secció de 630 mm², 3x1x630mm². La justificació de la secció es troba a l'annexa de càlculs. Les característiques del conductor son les següents:

Material del conductor	Coure
Aïllament	XLPE (Química)
Tipus de conductor	Circular compacte
Beina metàl·lica	Cinta d'alumini i cables de coure
Diàmetre conductor	30.3 mm
Secció transversal	630 mm ²
Gruix semi-conductor interior	1.5 mm
Gruix mitja aïllament	15.5 mm
Gruix funda metàl·lica	2 mm
Diàmetre exterior nominal	81 mm
Espessor medi beina	3.5 mm
Pes aproximat	10 kg/km
Secció filferro	90 mm ²
Corrent de curtcircuit admissible	20 kA
Tensió màxima de funcionament	145 kV
Condicions de posada a terra – formació plana	Sense corrents circulants
Perm. Valoració enterrat 20° C	930 A
Perm. Valoració enterrat 30° C	800 A
Max. Resistència en cc a 20 °C	0.028 Ohm/km
Capacitat fase nominal	0.21µF/km
Tensió de funcionament	132 kV

Taula 15: Característiques conductor Nexans XLPE 630 mm² de 132 kV

11.3.1 Zones afectades

El traçat definitiu s'ha projectat de manera que la seva trajectòria sigui lo més senzilla possible, cercant en tot moment el mínim d'impacte ambiental. La llista de parcel·les per on transcorre la línia, i els propietaris de cada una de elles, es detalla a continuació:

Població	Polígon	Parcel·la	Ref. Cadastral
Llança	002	31	17099A002000310000OZ
Llança	002	56	17099A002000560000OI
Llança	002	52	17099A002000520000OK
Llança	002	54	17099A002000540000OD
Llança	002	53	17099A002000530000OR
Llança	002	59	17099A002000590000OS
Llança	002	61	17099A002000610000OE
Llança	002	62	17099A002000620000OS
Llança	002	63	17099A002000630000OZ
Llança	002	66	17099A002000660000OW
Llança	002	67	17099A002000670000OA
Llança	002	68	17099A002000680000OB
Llança	002	297	17099A002002970000OQ
Llança	002	76	17099A002000760000OL
Llança	002	77	17099A002000770000OT
Llança	002	79	17099A002000790000OM
Llança	002	93	17099A002000930000OE

Taula 16: Registre de parcel·les afectades per la línia soterrada AT

11.4 Connexió a la xarxa elèctrica a la subestació de Llança

La connexió de la línia d'evacuació del parc eòlic a la subestació existent de Llança a la tensió de 132 kV, serà de competència de la empresa distribuïdora FECSA-ENDESA i de REE.

12 EVALUACIÓ IMPACTE AMBIENTAL

L'estudi d'impacte ambiental es un document de l'anàlisi, prèvia a la execució del projecte, de les possibles conseqüències d'aquest sobre la salut del medi ambient i de la integritat dels ecosistemes. És un estudi tècnic, on l'objectiu es de caràcter pluridisciplinari, que permet la presa de decisions sobre la viabilitat ambiental del projecte en qüestió.

12.1 Característiques de l'aigua

L'àmbit marí circumscriu en el Mar Mediterrani. Es tracte d'un mar amb una marcada estacionalitat: la diferencia en la temperatura de l'aigua i en la capacitat de difusió vertical de nutrients al llarg de la columna d'aigua expliquen caràcters diferencials en els cicles de matèria i energia.

En el mes de setembre, la temperatura de l'aigua superficial es aproximadament de 26° C, amb una marcat termoclina entre 30 i 40 metres (amb un gradient d'aproximadament 1.5°C/m). La salinitat es situa en aquesta època aproximadament en 38.2‰ i la concentració d'oxigen dissolt en l'aigua superficial es de uns 7 mg/l (pròxima a la de saturació). Les màximes concentracions d'oxigen dissolt es donen a majors profunditats, en els nivells amb una major biomassa de productes primaris. Les concentracions de nutrients son molt baixes en tota la columna, i lleugerament superiors en els nivell més profunds.

Al final de la situació hivernal (a mitjans del mes d'abril) la temperatura superficial de l'aigua es de uns 16°C, sense un termoclina marcat. En els nivells més profunds (a partir de uns 100 metres), la temperatura s'estableix en uns 13°C, temperatura que es manté pràcticament estables durant tot el cicle anual. En aquestes condicions, la salinitat es relativament més elevada, i les concentracions absolutes d'oxigen son també més altes (del ordre de 8mg/l) com correspon a la major solubilitat d'aquest gas al disminuir la temperatura. La concentració de nutrients es més alta que a l'estiu i és distribueix uniformement per a tota la columna d'aigua, lo que possibilita una major biomassa de productes primaris fitoplàctonics (mesurats en funció de la concentració de clorofil·la).

D'acord amb el document, l'àmbit de concentració on es desenvolupa el present estudi es troba en la massa d'aigua costera a Llança i Portbou.

12.2 Biocenosi Marina

Els principals factors de la biocenosis marina a tenir en compte són les comunitats de bentònic, ja que el fons marí és el que es pot veure més afectat per determinades accions del projecte, com el soterrament de la línia elèctrica d'evacuació i les cimentacions de les plataformes del aerogeneradors. En l'àmbit costaner l'objecte d'estudi es triba en les següents tipologies de comunitats de bentònics.

Les comunitats de substrat rocós: en la zona d'estudi, el substrat rocós es circumscriu a l'inici del tram litoral del cablejat (del als metres de profunditat) i floriments rocosos puntuals al llarg de l'àrea d'estudi dels 20 metres de profunditat.

Comunitat de substrat sedimentari amb presència de fanerògams marins (Cymodoceanodosa i Posidònia Oceànica). Es detecten varies àrees poblades per comunitats de fanerògams marins distribuïts al llarg de tot l'àmbit del litoral fins a la cota batimètrica de -30 metres. Les praderies de fanerògams marins en la zona d'estudi estan representades per l'especie Cymodoceanodosa i la especie Posidònia Oceànica. La extinció i la densitat de la praderies de Cymodoceanodosa i Posidònia depenen en gran part de les condicions hidrodinàmiques i ambientals del medi on s'estableixen. En general, s'instal·len sobre sorres fines o poc fangoses no exposades a un hidrodinamisme molt accentuat. Com és el cas d'aquesta zona on les observacions i els anàlisis granulomètrics del sediment confirmen la existència de sorres fines.

Les condicions ideals per el seu desenvolupament són aigües relativament netes, ben oxigenades, amb poc presència de contaminants i fins una profunditat determinada que permeti la fotosíntesis. En funció de la època de l'estudi, l'aspecte de la praderia pot variar, ja que els components de la praderia presenten un cicle biològic característic.

L'àrea ocupada per la comunitat de Cymodoceanodosa es troba ubicada enfront el cap Ras, a l'esquerra del traçat del cablejat de la línia d'evacuació. Té el seu límit superior a la cota de -5.5 metres fins una cota de -14 metres, s'observa un gradient de cobertura que va de menys densitat en la zona més suscita a més densitat al voltant dels 10 metres, i s'estén fins els 14 metres de profunditat. Aquesta pradera s'estén cap el nord de forma paral·lela a la costa, mantenint les cotes batimètriques mencionades. L'àrea de posidònia oceànica és troba ubicada al sud de la zona prospectada. Comença el seu límit superior aproximadament a 8 metres de profunditat i s'estén fins a cotes més profundes, estant el seu límit inferior observat

sobre els 21 metres de profunditat, cota en la que la lluminositat disminueix i, per tant, també la seva presència.

Comunitat de substrat sedimentari sense cobertura vegetal. El substrat sedimentari domina pràcticament la totalitat del fons marí de l'àrea d'estudi, on es diferencien substrat fangós, de sorres fines, de sorres fines amb fracció gruixuda i de sorres grans. Les comunitats de substrat sedimentari sense cobertura vegetal estan formades per organismes macrobèctonics que habiten a l'interior dels sediments i d'altres a la seva superfície. Els organismes que dominen solen ser diferents: les algues són principalment unicel·lulars (diatomees), mentre que la fauna, encara que és més diversificada, només s'observen de manera indirecta una petita part (epifauna), fet que la majoria d'organismes viuen amagats a l'interior dels sediments (endofauna i infauna).

En la zona d'estudi, la fracció macrobiòtica de la fauna constitueix una comunitat amb escassos components degut a la falta d'estabilitat del substrat superficial en continu moviment. Encara que no s'han observat amb la filmació remota, generalment es troben organismes dels grups dels mol·luscs, poliquets, crustacis, etc. Per altre banda, s'ha de mencionar que algunes zones on es localitza el fons sedimentari, entre les cotes batimètriques dels -30 metres a -45 metres, s'han detectat punts on es mesclen restes de agregacions de organismes incrustants. En aquestes zones destaquen la presència de detritus amb composició i procedència molt variable, que depenen de la naturalesa de la costa i de les formacions infralitoral properes. Es poden trobar conques de mol·luscs, cloïsses, roques, grava, etc., recobertes per algues calcàries.

12.3 Biocenosi marina. Els cetacis

El grup de cetacis és de gran rellevància i bona part de l'especie que l'integra es troba protegida. Entre les espècies més comunes destaca el delfí mular (*Tursiops truncatus*) molt present en les aigües de la plataforma continental i el delfí llistat (*Stenella coeruleoalba*), més present en la zona del talat marí. Es tracta de una espècie de hàbits pelàgics que habiten en mar obert, però que és freqüent trobar-los a la proximitat de les costes. Una altra espècie present i que pertany al grup dels cetacis amb dents com els catxalots. És la balena més gran dintre del grup. Empra mitges i baixes freqüències per a comunicar-se a grans distàncies, i es sol trobar en la zona d'influència del port de Tarragona i la ruta entre península i balears. De fet, hi ha observacions que corresponen amb les zones de plataformes petrolíferes. Dintre del grup dels misticets, el més comú és el rocual (*Balaenoptera physalus*), balena de fins 20-25

metres de longitud que viatge en grups. Poden arribar a velocitats de 37 km/h i submergir-se fins 250m de profunditat. Es poden aproximar fins a la costa a la captura d'aliment.

12.4 Aus marines

Aquest grup d'espècies s'ha tingut en molta consideració al llarg del procés descriptiu del present estudi, donat que bona part de les espècies que la conformen presenten un elevat estatus de protecció. El medi marí és l'habitat propi de diverses espècies de avifauna que desenvolupen bona part del seu cicle de vida en aquest ambient, es a dir, aus marines. Entre les més comunes es troben les diferents espècies de làrids com la gavina cama Groga (*Larus michaelis*) o la gavina bec fina (*Larus genei*), entre d'altres. En aquest sentit, s'ha de destacar també la presència de la gavina de Audouin (*Larus audouinii*), dos terços de la població reproductora mundial de la que es reproduïxen en el delta de l'Ebre. Altres espècies de gran interès per estar estrictament protegides són la pardal·la balear (*Puffinus mauretanicus*), que es pot observar en aquestes aigües durant l'hivern, i el xarra comú (*Sterna hirundo*), que presenta importants colònies reproductores en el Cap de Creus.

12.5 Medi socioeconòmic

Per el que fa al medi socioeconòmic d'aquest sector, s'ha de dir que els principals eixos en el que s'ha basat l'anàlisi d'aquest apartat són:

La pesca: És molt important en la zona. En aquest sentit s'ha de destacar la importància de les flotes pesqueres de varis ports de la zona: Roses, L'Escala, Llança. En el estudi que s'ha dut a terme, s'ha cercat informació relativa a calats explotats per aquestes flotes a fi de com pot interaccionar la presència dels aerogeneradors amb les zones de calatge.

El transport Naval (especialment de mercaderies). El únic port que manté rutes comercials en la zona estudiada és el de Barcelona. Des de aquest port surten vaixells comercials de cabotatge en direcció a valencià, exteriors, i cap a les illes. El transport principal és de mercaderies.

Per últim, s'ha de destacar l'elevat pes específic del turisme, principal motor econòmic de la zona.

12.6 Paisatge

L'àmbit d'actuació es troba dintre les unitats de paisatge següents: Llança, Colera i Port Bou

El conjunt d'aquestes unitats, en l'àmbit d'estudi, es caracteritzen principalment per:

Paisatge litoral coster, amb la presència de nuclis amb elevat creixement i ampliació d'urbanitzacions, es a dir, nuclis amb una fort us turístic del parc immobiliari.

El paisatge de la costa, constituït per una franja relativament estreta i llarga, caracteritzada per platges pedregoses i espais urbanitzats.

En el àmbit de la unitat conviuen fragments de paisatges agrícoles ben conservats, plantacions d'oliveres, espais forestals cap a l'interior, amb porcions altament transformades per les urbanitzacions i les infraestructures.

Presència e nombrosos elements de patrimoni cultural, com murs de pedra seca i casals. Els nuclis del litoral tenen el seu origen en pobles pesquers. En el seu interior hi ha edificis amb qualitat arquitectònic, sobre tot del novencentisme català, i algunes esglésies petites. També estan les torres de vigia per a la protecció del litoral.

La majoria dels barrancs que formen la hidrografia del paisatge desemboquen directament el mar, donant lloc a nombroses cales i platges.

12.6.1 Els components

El paisatge local es caracteritza per els components propis del sistema litoral i coster, formats per una costa amb uns relleus on s'alternen les cales, amb els precipicis calcaris, amb una dominància determinada per la presència de la mar. Tot aquest conjunt de unitats esta caracteritzat per la presència major o menor de tot un conjunt d'elements o components del paisatge, com el relleu i la geomorfologia, la presència de la mar i altres masses d'aigua; la vegetació i el usos del sòl; estructures, urbanitzacions i infraestructures, així com els valors associats. D'aquesta forma, a continuació es descriuen els components principals que formen el paisatge.

La geomorfologia. En l'àrea d'estudi trobem amb casos molt especials, ja que el paisatge dominant en l'entorn es el marítim i els receptors d'aquest paisatge es troben bàsicament en l'àmbit coster. Així doncs, la forma de la costa i el seu relleu tindran un paper rellevant en la percepció dels elements instal·lats en el mar. La geomorfologia pròpia d'aquest lloc condiciona notablement totes les característiques paisatgístiques. Es una geomorfologia mol vinculada al espais costaners i del litoral, on es combinen penya-segats amb la presència de cales i platges. En aquest espai, el relleu es d'un fort contrast: des de les zones extremadament planes com la costa de llança, a un paisatge, amb les muntanyes arbrades amb matolls, destacant l'àmbit abrupte de les muntanyes de Portbou. El mar es l'element mes rellevant en tot l'àmbit d'estudi. De fet, pràcticament tota la façana litoral s'articula cap a ell.

Presència de petites masses d'aigua. En l'àmbit d'estudi les masses d'aigua s'identifiquen com a petit barrancs que drenen l'aigua directament al mar, i petites zones humides del litoral:

Petits barrancs. Al llarg de tots la costa, i molt vinculada als petits barrancs apareixen nombroses zones humides. Els espais oberts de la part costera de la unitat inclou aquelles parts que no foren distribuïdes per el procés d'urbanització en els últims 40 anys. Hi ha una vegetació molt pròxima a la màquia litoral de coscoja i margalló, encara que apareixen intrusions de matoll de romaní i bruc. Presenta un recobriment bastant elevat en el que l'aspecte d'arbustos mantenen un paper important. Així mateix, apareixen puntualment exemplars de pi i garrovers, encara que mantenen una mida de arbustos. Estructures, urbanitzacions i infraestructures. Aquí s'han de valorar els elements introduïts en el paisatge per part de l'home. Ha prevalgut l'anàlisi de les instal·lacions en el mar, com son les plataformes de aqüicultura. En segon terme, s'han tingut en compte els elements en la línia costanera que, de forma directa o indirecta, poguessin modificar el paisatge i la seva percepció. Així s'han tingut en compte les edificacions(nuclis urbans, cases instal·lades), les vies de comunicació (xarxa de carreteres, esteses elèctrica i de telèfon, etc.), el patrimoni arquitectònic i cultural.

12.7 Renou

La contaminació acústica ocasionada pels aerogeneradors té dos principis:

Renous tipus mecànic. Provenen del multiplicador i del generador. El nivell del renou dependrà de la qualitat del mecanitzat dels tractaments superficial realitzats sobre les peces en contacte.

Renou de tipus aerodinàmic. Es deu al moviment de les pales. El nivell de renou depèn de la forma de les pales, del material emprat en la seva conducció, de les turbulències i finalment de la velocitat del vent.

La velocitat del vent sol ser baixa però continuada, amb una freqüència compresa entre 200 Hz y 2 kHz.

La figura següent compara el nivell de renou emes per els aerogeneradors amb el produït per altres equips. A més també es pot observar la disminució del renou generat per una turbina eòlica en funció de la distancia.

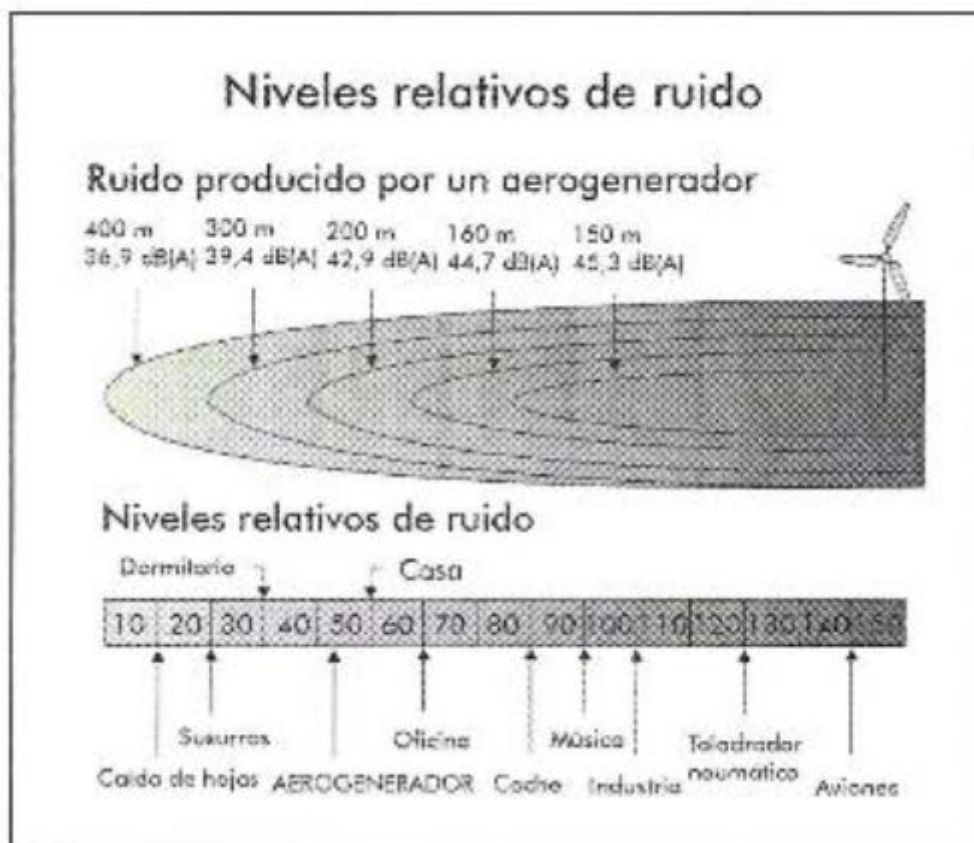


Figura 30: Nivells relatius de Renou.

Degut a la distancia entre el parc eòlic i el nucli urbà (entre un 10 kilòmetres), la població pròxima a la costa no es veurà afectada per la contaminació acústica generada pel parc eòlic.

13 AVALUACIÓ ECONÒMICA DEL PARC EÒLIC

En el present capítol es duu a terme l'anàlisi econòmic del projecte per proporcionar la informació necessària sobre la viabilitat econòmica d'aquest, es a dir, per determinar la seva rendibilitat si considerem el sistema d'energia com una inversió que genera ingressos, i així poder compara el projecte amb altres alternatives d'inversió.

Per poder aborda el tema de la rendibilitat, prèviament s'ha de conèixer la producció anual, com es el cas. A més, per una altre banda s'han d'estimar els costos de generació que engloben els de fabricació, instal·lació, operació i manteniment, entre d'altres, i per altre banda considerar el valor del mercat de l'energia produïda.

Amb la finalitat de determinar la rendibilitat del projecte, s'utilitzaran diversos indicadors econòmics com el valor Actual Net (VAN) i la Taxa Interna de Retorn (TIR), que es defineixen a continuació.

VAN (Valor Actual Net): es defineix com la diferencia entre el valor actualitzat dels cobraments i dels pagaments generats per la inversió. Proporciona una mesura de la rendibilitat del projecte analitzant en valor absolut, es a dir, expressa la diferencia entre valor actualitzat de les unitats monetàries cobrades i pagades.

TIR(Taxa de rendibilitat interna): es la rendibilitat mínima per a que el projecte sigui rentable al cab de N anys.

Per a la realització d'aquest estudi financer s'efectuaran diverses hipòtesis per els ingressos reals i els costos finals de la instal·lació no es coneixeran fins a dur a terme el projecte, i per tant, es basarà en estimacions.

Com ja s'ha mencionat en apartats anteriors del present projecte la vida útil d'un parc eòlic offshore es superior a 20 anys, arribant a vides útils al voltant dels 30 anys, per el que en l'estudi econòmic es refereix es considera un període de 25 anys.

A continuació es presenten els paràmetres que s'hauran de tenir en compte per a la realització de l'estudi econòmic.

13.1 Inversió inicial

Com a inversió inicial del projecte és tindrà en compte el preu dels aerogeneradors, la connexió a la xarxa, les cimentacions i plataformes windfloat, sistemes auxiliars i els estudis previs, es a dir, el preu del pressupost del present projecte que ascendeix a 126.909.824,16€.

13.2 Costos Associats al parc

En aquest apartat es tenen en compte els costos associats al parc eòlic, tant fixes com operatius.

Costos fixes: son costos anuals que no estan relacionats amb el nivell d'operació. S'han de pagar independentment de la energia produïda.

Costos Variables: depenen directament de l'energia produïda.

Els principals costos son els d'operació i els costos de manteniment. Es poden considerar costos d'operació les segurances i els impostos. En quant als costos de manteniment, s'ha de destacar els costos de controls rutinaris, el manteniment periòdic, la neteja de les pales, el manteniment de l'equip elèctric, i els costos de manteniment no programat. Es important mencionar, que es previsible que els costos de manteniment creixin a mesura que augmenta la antiguitat de la instal·lació.

En el present projecte es segueix la recomanació del Ministeri d'indústria que fixa els gestos totals en 0.01 € per cada kilowatt hora produït per el parc. Per tant si la producció anual del parc es de 73.32 GWh/any, els gestos anuals d'operació i manteniment del parc seran de 733.200,00 € a l'any.

Costos d'operació i manteniment anuals	733.200,00 €
--	--------------

Taula 17: Costos d'operació i manteniment anuals

13.3 Amortitzacions

Per establir les amortitzacions es consulta la taula oficial de coeficients de amortitzacions aprovada per el RD 1777/2004. On s'hi estableixen el coeficients lineals màxims d'amortització anuals per a centrals eòliques que és del 8% i el període màxim de 25 anys.

La quantitat a amortitzar serà la inversió inicial de 126.909.824,16 €. Per tant la amortització anual fixa serà del 8% d'aquesta quantitat:

Amortització anual fixa	10.152.785,93 €
-------------------------	-----------------

Taula 18: Amortització anual fixa del parc eòlic.

Amortitzant aquest quantitat cada any, el total de la inversió del parc eòlic seria amortitzat als 12,5 anys.

13.4 Ingressos

Els ingressos totals que s'obtindran de la venda d'energia produïda per el parc s'han de tenir en compte múltiples factors, com el preu del mercat de l'energia, les primes, etc. Un cop coneguts aquest factors, es podrà calcular la retribució total que aporta el parc, entenent com a retribució, el pagament que percebrà.

La retribució total vindrà donada per la suma de la retribució per facturació i la compensació per energia reactiva. A continuació es determinen cada un del paràmetres anteriors que intervenen a la retribució.

13.4.1 Retribució per facturació

Per la retribució per facturació es necessita conèixer el preu mig ponderat de l'energia, la prima de referencia per l'energia eòlica i la energia produïda.

El preu mig ponderat es el preu que es paga l'energia a espanya (c€/kWh). El seu valor es pot obtenir de la plana web de REE. Al ser una dada que varia amb freqüència, per a l'estudi considerem el valor mig que es va donar al 2014: 6,619 c€/kWh.

La prima de referencia es pot trobar al RD 611/2007, a l'article 38 on estableix per instal·lacions eòliques en el mar territorial una prima de 14,8557 c€/kWh, amb ultima modificació el 2 de febrer de 2013.

L'energia produïda és de 73,32 GWh/Any, la retribució de facturació son 6,679 c€/kWh i la retribució per prima és de 14,8557 c€/kWh, per tant la retribució total a percebre es:

Retribució total per energia venuda	15.789.242,04 €/any
--	----------------------------

Taula 19: Retribució per facturació.

13.4.2 Compensació per l'energia reactiva.

La compensació per l'energia reactiva si apliquen els conceptes de complement per energia reactiva per la bonificació en % i per les hores útils a l'any.

El complement per energia reactiva s'obté del bolletí oficial de l'estat RD 611/2007 a l'article 29 on s'estableix la prima de 8,2954 c€/kWh, ultima actualització el 28 de gener del 2012.

Per determinar la bonificació es revisa l'annexa V del RD 611/2007. Si en manté el factor dintre dels valors preestablerts per a la bonificació.

Rango del factor de potencia	Bonificación por cumplimiento %	Penalización por incumplimiento %
Obligatorio .	0,00	3,00
Entre 0,995 inductivo y 0,995 capacitivo .	4,00	0,00

Taula 20: Complement per energia reactiva.

Les hores útils son el numero d'hores efectives de la instal·lació que, tal com s'indica en el capítol 4, per el cas d'estudi es de 6077,51 hores.

De manera que la compensació d'energia reactiva es de 0,2302 c€/kWh. Si ho multipliquem per l'energia produïda anualment obtenim la compensació anual d'energia reactiva:

Compensació d'energia Reactiva anual	168.788,00 €/Any
---	-------------------------

Taula 21: Compensació de reactiva anual.

Un cop obtinguda la retribució per facturació i la compensació per l'energia reactiva, es pot procedir a l'obtenció de la retribució total anual del parc eòlic.

En la taula següent es resumeixen tots els factors considerats per el càlcul dels ingressos anuals realitzats en aquest apartat:

Ingressos		
Retribució per Facturació	Preu mig ponderat (c€/kWh)	6,61
	Prima de referencia (c€/kWh)	14,85
	Retribució per facturació (c€/kWh)	21,47
	Retribució per facturació (€)	15.789.242,04
Compensació per Energia reactiva	Complement per ER (c€/kWh)	8,29
	Bonificació (%)	4,00
	Hores Útils	6077,51
	Hores Any	8760,00
	C _{ER} (c€/kWh)	0,23
	C _{ER} (€)	168.788,00
	Ingressos anuals Totals	15.958.030,04

Taula 22: Resum dels factors de càlcul

13.5 Conclusions de l'avaluació econòmica.

Com podem comprovar en els apartats anteriors la amortització del parc es de 10.152.785,93 €, i per el que fa els ingressos aquests ascendeixen a 15.958.030,04 € podem observar que el parc es viables ja any a any obtenim els beneficis necessaris per amortitzar-lo, si més no també s'ha de tenir en compte que el càlcul de producció es una mitjana, per tant si calculem exactament la potencia del vent a cada intent aquest ingressos augmentarien.

14 RESUM DEL PRESSUPOST

El cost econòmic de la implementació del parc eòlic offshore de 50 MW situat davant la costa de Llança, el qual està detallat en el pressupost, ascendeix a cent quatre milions vuit-cents vuitanta-quatre mil cent cinquanta-dos euros sense IVA.

15 CONCLUSIONS

En els apartats d'aquesta memòria s'ha exposat els punts claus per a la implementació i execució d'un parc eòlic offshore, per tal de obtenir la viabilitat d'aquest i l'acceptació dels òrgans competents, ajuntaments i de l'opinió pública, per tal de poder dur a terme la seva implementació en les aigües de la costa de llançà.

En els annexos que acompanyen a la memòria es justifiquen i detallen càlculs que han servit de base per a la confecció del projecte, els quals compleixen amb el que estableix el vigent Reglament de Línies elèctriques d'Alta Tensió (R.D. 223/2008).

Amb les dades exposades a la memòria, i amb suport dels documents que l'acompanyen, es creu haver donat una idea clara de l'obra a realitzar i demostrat la viabilitat i efectivitat de la implementació del parc.

Miquel Ferrer Cerdà
Graduat en Enginyeria Elèctrica.

Girona, 05 de juny de 2015

16 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Aquest projecte consta dels següents documents: memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost.

17 BIBLIOGRAFIA

ATLES PER A LA PLANIFICACIÓ ESPACIAL MARINA. Juan L Suárez de Vivero, 13 de juny de 2011. (http://www.marineplan.es/ES/ATLAS_13_06_11.pdf, 11 de març de 2015)

BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO. ORDEN AAA/1299/2014, de 9 de juliol, pel que s'aproba la proposta de inclusió en la llista de llocs d'importància comunitària de la xarxa Natura 2000 dels espais marins ESZZ16001 sistema de canyons submarins occidentals del Golf del Lleó. Dilluns 21 de juliol del 2014 (<http://www.boe.es/boe/dias/2014/07/21/pdfs/BOE-A-2014-7726.pdf>, 10 de març de 2015)

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. REAL DECRETO 1028/2007, de 20 de julio, por el que se establece el procedimiento administrativo para la tramitación de solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar territorial (<https://sede.minetur.gob.es/es-ES/procedimientosselectronicos/Documents/SG%20Energia/Aeolica/RD10282007.pdf> , 20 de febrer de 2015)

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Reglament sobre condicions tècniques i garanties de seguretat en línies elèctriques d'alta tensió. Dimecres 19 de març de 2008. (http://www.boe.es/boe_catalan/dias/2008/03/19/pdfs/BOE-A-2008-5269-C.pdf, 21 de abril de 2015)

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. REIAL DECRET 1955/2000, d'1 de desembre, pel qual es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica. Dilluns 15 de Gener de 2001. (http://www.boe.es/boe_catalan/dias/2001/01/15/pdfs/A00061-00111.pdf, 18 de abril de 2015)

BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO. LEY 22/1988 DE COSTA, de 28 de juliol de 1988. (<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1988-18762>, 25 de març de 2015)

ORMAZABAL. Transporte y Distribucion (<http://www.ormazabal.com/es/tu-negocio/compa%C3%B1a/transporte-y-distribuci%C3%B3n>, 3 de maig de 2015)

PLA D'ENERGIES RENOVABLES 2011-2020
(<http://www.idae.es/index.php/id.670/re/menu.303/mod.pags/mem.detalle> , 20 de febrer de 2015)

SOFÍA ALVAREZ-UDE HERRERO. Líneas y subestación de alta tensión en un parque eólico marino de 200MW. Projecte Fi de Carrera. Tècnic Industrial Especialitat Elèctrica. Universitat Pontifica Comillas. Juny de 2010.

UNESA. Regulacion Eléctrica en España y Europa. (<http://www.unesa.es/sector-electrico/la-regulacion-electrica-en-espana-y-europa>, 1 de març de 2014)

18 GLOSSARI

A.P.R: Alt Poder de Ruptura

BT: Baixa Tensió

C.d.t: Caiguda de Tensió

CML: Cel·la de Línia per a Mitja Tensió

CMP: Cel·la de Protecció de Transformador per a Mitja Tensió

CT: Centre de Transformació

Icc: Intensitat de curtcircuit

IDAE: Institut per a la diversificació i l'estalvi energètic.

ITC: Instrucció Tècnica Complementària.

LAT: Línies d'Alta Tensió

MT: Mitja Tensió

OACT: Organització d'Aviació Civil Internacional

PaT: Posta a Terra

PE: Polietilè Corrugat

PVC: Clorur de Polivinil

SF6: Hexàflorur de sofre

ST: Subestació Transformadora

UNE: Une Norma Española.

XLPE: Polietilè Reticulat

A. CÀLCULS ELÈCTRICS

El present annex de càlculs, es descriuen les formules utilitzades per a la prèvia justificació dels resultats i del disseny del present projecte.

A.1 Càlcul de selecció i dimensionament de conductors.

Degut al medi on s'han de instal·lar els conductors, es seleccionarà un tipus de cable amb aïllament sòlit. Un aïllament d'aquest tipus evita el risc d'entrada d'aigua a l'interior del conductor. Per la selecció del conductor s'han de seguir els criteris econòmics i de fiabilitat. Mentrestant l'alumini es més barat, el coure presenta millors propietats mecàniques. El diàmetre del conductor dependrà del nombre de turbines que s'hi connectin.

Entre els aerogeneradors normalment s'utilitzen tensions de entre 30-36kV; so els valors típics emprats en els transformadors que es necessiten instal·lar a l'interior d'aquets. La raó per el que s'utilitzen aquets valors i no uns altres es per la senzilla raó que utilitzar valors majors de tensió a la sortida d'aquets exigiria un espai per la col·locació del transformador més gran i del que no es disposa. Normalment els cables emprats per a la evacuació de l'energia son tripolars, tres conductors units en el mateix cable. D'aquesta manera, es més fàcil i ràpid realitzar l'estesa des de el vaixell, ja que no hi ha que estendran tres conductors per separat. El cable s'estén per el fons marí fins a la subestació offshore (enterrant-lo a un metre aproximadament) i d'aquí, de la mateixa forma, fins la zona de la costa on el conductor es extret a la costa.

En el parc en qüestió, tindrem trams a 33 kV per a la distribució interna del parc, i trams a 132 kV per a la evacuació d'energia a la costa. La determinació de la selecció de la secció del cable, ha de satisfer els següents criteris simultàniament:

Intensitat màxima admissible en servei permanent: la temperatura del conductor del cable, treballant a plena carrega i en regim permanent, no ha de superar mai la temperatura màxima admissible assignada dels materials que s'utilitzen per l'aïllament del cable. En el nostre cas, per haver seleccionat un cable XLPE aquesta temperatura correspon a un valor de 90°C.

Intensitat màxima admissible en curtcircuit durant un temps establert: la temperatura del conductor, que pugui arribar en curtcircuit, durant un interval de temps petit (menys de 5 segons) no ha de superar mai la temperatura màxima admissible assignada pels materials

que s'utilitzen per l'aïllament. En aquest cas, amb un aïllament de XLPE la temperatura corresponent serà de 250°C.

Caiguda de tensió: la circulació de corrent a través dels conductors, ocasiona una pèrdua de transport, i una caiguda de tensió entre els extrems d'aquest. Aquest criteri sol ser determinant quan les línies son d'un longitud considerable.

A.2 Xarxa interna del parc Eòlic (33 kV).

La xarxa interna del parc es la encarregada de connectar elèctricament els aerogeneradors entre si i transportar l'energia produïda per aquets fins l'embarrat de la subestació. S'hauran de dissenyar les connexions per que es disposi del millor compromís econòmic i de fiabilitat. Tots els aerogeneradors disposen d'un transformador que eleva la tensió a 33 kV, per això, de cada un d'ells surt un tram de conductor que es va unint amb el següent aerogenerador de la seva fila, amb una longitud de cablejat de 1300 metres entre aerogeneradors.

A.2.1 Intensitat màxima admissibles en servei permanent.

La topologia per a la connexió del parc, seran dos línies des de la subestació amb la connexió de 5 aerogeneradors cada línia. El conductor a instal·lar serà de la casa Nexan de 33 kV amb les següents característiques constructives:

[F]2XS(F/L)2Y<c>RAA 18/30(36) kV											Constructional Data
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Nominal cross sectional area of conductor	Conductor copper round stranded diameter over conductor	Insulation XLPE wall thickness	Screen copper wires and counter helix cross sectional area	Metallic tape aluminium wall thickness	Core sheath PE block wall thickness diameter	Bedding wall thickness	Armour steel wires round galvanized diameter	Servicing braid fib. material incl. colour strip wall thickness	Outer diameter of cable	Cable weight	
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(t/km)	
50	8.2	8.0	16	0.2	2.0	34	2	4.0	92	10.7	
70	9.9	8.0	16	0.2	2.1	37	2	4.0	98	12.2	
95	11.5	8.0	16	0.2	2.1	38	2	4.0	102	13.5	
120	13.0	8.0	16	0.2	2.2	40	2	4.0	105	14.8	
150	14.5	8.0	25	0.2	2.2	41	2	4.0	108	16.0	
185	16.1	8.0	25	0.2	2.3	43	2	4.0	112	17.6	
240	18.6	8.0	25	0.2	2.3	46	2	4.0	118	20.1	
300	20.6	8.0	25	0.2	2.4	48	2	4.0	123	22.5	
400	23.8	8.0	35	0.2	2.5	51	2	4.2	131	26.6	
500	26.6	8.0	35	0.2	2.6	54	2	4.5	138	31.3	
630	30.6	8.0	35	0.2	2.7	58	2	4.75	147	37.2	

[F]2XS(F/L)2Y<c>RAA 18/30(36) kV									Electrical Data
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Nominal cross sectional area of conductor	Conductor resistance DC 20°C	Conductor resistance AC 90°C	Screen resistance 20°C	Capacitance	Inductance	Current rating	Losses	1s short circuit current after full load at 90°C conductor temperature	
(mm²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)	(μF/km)	(mH/km)	(A)	(W/m)	(kA)	
50	0.387	0.49	1.15	0.15	0.47	211	68	7.1	
70	0.268	0.34	1.15	0.17	0.45	257	71	10.0	
95	0.193	0.25	1.15	0.19	0.43	306	73	13.6	
120	0.153	0.20	1.15	0.20	0.41	346	76	17.1	
150	0.124	0.16	0.73	0.22	0.40	384	78	21.4	
185	0.0991	0.13	0.73	0.23	0.38	430	80	26.5	
240	0.0754	0.098	0.73	0.26	0.37	490	83	34.3	
300	0.0601	0.079	0.73	0.27	0.36	543	85	43.3	
400	0.0470	0.063	0.53	0.30	0.34	600	89	57.8	
500	0.0366	0.050	0.53	0.33	0.33	659	93	72.2	
630	0.0283	0.041	0.53	0.37	0.32	721	97	91.0	

Figura 31: Característiques Conductors Nexans 33 kV.

Per tant la intensitat que suportaran les línies en funció del nombre de aerogeneradors i del tram serà el de la taula següent, calculant la intensitat mitjançant l'equació Eq.1.

$$I_{\text{aerogenerador}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \quad (\text{Eq.1})$$

On:

P : Potència Aerogenerador [W]

V: Tensió de la línia [V]

Cos ϕ : coeficient de potencia de l'aerogenerador de 0,9

Nº de Molins Connectats	Tensió [kV]	Intensitat Max [A]	Intensitat max. Cable [A]	Secció [mm²]	Aïllament
Aerogenerador 1	33 kV	97,19	211	50	XLPE
Aerogenerador 1 i 2	33 kV	194,39	257	70	XLPE
Aerogenerador 1,2 i 3	33 kV	291,59	306	95	XLPE
Aerogenerador 1,2,3 i 4	33 kV	388,78	430	185	XLPE
Aerogenerador 1,2,3,4 i 5	33 kV	485,98	490	240	XLPE

Taula 23: Càlcul d'intensitats de conductors i seccions

Per a una millor instal·lació, s'ha optat per el cable de 240 mm² per a tota la xarxa interna del parc.

A 2.2 Caiguda de tensió

Per el calcula de la caiguda de tensió s'utilitzaran, els valors de la resistència òhmica (R) i la reactància (X), en C.A. a 50Hz, en les condicions de servei, que seran facilitats per el fabricant, i especificats a la figura 35 de l'apartat anterior.

Es procedeix al càlcul de la caiguda de tensió (limitada a 2%) de la línies submarines internes del parc mitjançant la formula Eq.2. en valor de volts, com que la c.d.t es sol expressar en %, per tant s'aplica l'equació Eq.3.

$$\Delta V = I \cdot L \cdot (R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (\text{Eq.2})$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100 \quad (\text{Eq.3})$$

On:

ΔV : Caiguda de tensió en Volts [V]

$\Delta V\%$: Caiguda de tensió en %

P: Potència transportada per el conductor [W]

L: Longitud del conductor [km]

V: Tensió trifàsica [V]

R: Resistència per unitat de longitud [Ω /km]

X: Reactància a 50 Hz per unitat de longitud [Ω /km]

ϕ : Angle que forma la corrent i la tensió

Trams de línies	Tensió [kV]	Intensitat [A]	Longitud [km]	Secció [mm ²]	R [Ω /km]	X [Ω /km]	C.d.t [V]	C.d.t [%]
Sub - Ag1	33	485,99	2,00	240	0,73	0,11	608,09	1,84
Ag1 - Ag2	33	388,79	1,30	240	0,73	0,11	316,21	0,95
Ag2 - Ag3	33	291,59	1,30	240	0,73	0,11	237,15	0,71
Ag3 - Ag4	33	194,39	1,30	240	0,73	0,11	158,10	0,47
Ag4 - Ag5	33	97,20	1,30	240	0,73	0,11	79,052	0,23

Taula 24: Caigudes de tensió línies de 33kV

A.3 Línies d'evacuació d'energia

En aquest cas per a la evacuació de l'energia, tenim que es realitzarà en dos trams. El primer tram serà mitjançant conductor submarí tripolar de la casa ABB, per el que fa al segon tram es realitzarà per mitja de soterrament terrestre amb conductors unipolars de ABB.

Com que la subestació esta sobredimensionada per futures ampliacions, i costa de dos transformadors de 85 MVA, la evacuació es realitzarà mitjançant dues línies iguals. D'aquesta forma s'adquireix més seguretat a l'explotació, ja que si es realitza manteniment a un transformador sempre queda disponible l'altre.

Per el que fa a la tensió de evacuació, aquesta serà de 132 kV ja que mitjançant l'estudi realitzat a la memòria i la longitud de la línia aquets resulta la més idònia per minoritzat les pèrdues.

A.3.1 Intensitat màxima admissible en servei permanent

Les dues línies seran idèntiques, amb un tram submarí de 21 km i un tram terrestre de 1.5 km, en el cas del tram terrestre soterrat s'hauran d'aplicar els factors de correcció de temperatura del terreny de 0,88 i el factor de correcció per agrupació de conductors de 0.70.

Potència Total: 170 MVA
Potència Línia 1: 85 MVA
Potència Línia 2: 85 MVA
Tensió: 132 kV
Cos φ : 0.90

Les característiques dels conductors amb el coeficients Correctors son els següents:

Marca del Conductor	Secció [mm ²]	Intensitat Max Adm. [A]	R [Ω /km]	L [mH/km]
ABB Submarí 100-300 kV tripolar XLPE	300	530	0.05	0.42
	400	590	0.04	0.40
	500	655	0.03	0.38
	630	715	0.03	0.37
	800	755	0.02	0.36
	1000	825	0.02	0.35
Nexans XLPE unipolar 132 kV (conductor terrestre)	400	560	0.07	0.19
	500	640	0.06	0.19
	630	800	0.04	0.18
	800	835	0.03	0.17

Taula 25: Característiques dels conductors

Per el càlcul de la intensitat del conductor s'utilitzarà la mateixa formula Eq.1 anteriorment descrita. Lo que en aquest cas al tractar-se de dos trams amb diferent conductor la secció variarà.

Línia	Tensió [kV]	Potència (MW)	Intensitat Max [A]	Intensitat màx. Cable [A]	Secció [mm ²]
Tram Submarí de 132 kV (ABB)	132	170	743,56	755	800
Tram terrestre de 132 kV (Nexans)				800	630

Taula 26: Secció del conductor per intensitat màxima admissible.

A.3.2 Caiguda de tensió

Perm el càlcul de la caiguda de tensió de la línia d'evacuació, encara que aquest sigui anàleg a l'anterior s'utilitzen les mateixes equacions Eq.2 i Eq.3, anteriorment descrites.

Línia	Tensió [kV]	Intensitat Max [A]	Long [km]	Secció [mm²]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	C.d.t [V]	C.d.t [%]
Tram Submarí 132 kV	132	743,56	21	800	0,02	0,12	1457,18	1,10
Tram terrestre 132 kV			1,5	630	0,04	0,05	70,17	0,05
						C.d.t % total Línia		1,15

Taula 27: Caiguda de tensió acumulada de la línia d'evacuació

A.4 Subestació Offshore 33/132 kV (GIS)

Es procedirà als càlculs de la subestació offshore. D'aquesta manera quedarà justificada la elecció de l'aparellatge descrit a la memòria.

A.4.1 Sistema de 132 kV

Les posicions del transformador , acoblador i barra hauran de suportar el corrent nominal dels transformadors més un 20%. Encara que s'ha sobredimensionat la subestació, es convenient torna aplicar aquest factor, ja que es així com es realitzen els càlculs.

$$I_{\text{trafo, 85MVA}} = 1.2 \cdot \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = 1.2 \cdot \frac{85 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 446.134 \text{ A} \quad (\text{Eq.4})$$

Per el que fa a les posicions de línia, aquestes hauran de suportar la capacitat. Aquest valor d'intensitat serà el màxim suportat per les posicions de línies ja que, suposat una fallada de un dels transformador de la subestació, la intensitat es repartirà per ambdues línies.

$$I_{\text{trafo, 132 kV}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{85 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 371.779 \text{ A} \quad (\text{Eq.5})$$

Selecció de l'aparellatge

Per a les posicions de transformador, acoblador i barres s'instal·larà aparellatge de 123 kV de 1200 A de corrent nominal. Per el que fa a la posició de sortida s'instal·larà aparellatge de 132 kV de 600 A de corrent nominal.

A.4.2 Sistema de 33 kV

En referència a l'entrada de línia i a l'embarrat, la intensitat màxima que pot circular per aquets serà la suma de les intensitats màximes admissibles que circularan per les línies d'entrada a la subestació.

A la subestació entren dues línies . tenim dos embarrats de 33 kV, per el que es repartirà una línia per a cada embarrat. La potencia màxima que arribarà a cada embarrat es de 85 MVA, amb una intensitat de 371.77 A.

$$I_{\text{linia, 33 kV}} = \frac{P_{\text{Aerogenerador}}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \cdot n^{\circ} \text{ Aerogeneradors} = \frac{5 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 33 \cdot 10^3 \cdot 0.9} \cdot 5 = 485.98 \text{ A} \quad (\text{Eq.6})$$

$$I_{\text{embarrat, 33 kV}} = I_{\text{filera}} \cdot n^{\circ} \text{ de fileres per embarrat} = 485.98 \text{ A} \cdot 1 = 485.98 \text{ A} \quad (\text{Eq.7})$$

Anàleg al càlcul anterior, hauran de la corrent nominal dels transformadors més un 20%.

$$I_{\text{linia, 33 kV}} = 1.2 \cdot \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = 1.2 \cdot \frac{85 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 33 \cdot 10^3} = 1784.54 \text{ A} \quad (\text{Eq.8})$$

Per tant el ser aquest valor de 1784.54 A, la línia, acoblador i barres i transformador, es seleccionaran per 33kV i 2000A de corrent nominal, valor estàndard superior a la màxima prevista. El dispar del interruptors per a la intensitat màxima admissible de la línia es regularà mitjançant els corresponents relés.