

## Treball final de grau

**Estudi: Grau en Enginyeria Elèctrica**

**Títol: Disseny d'un parc eòlic amb un sistema de producció d'hidrogen a través de l'electròlisi de l'aigua**

**Document: 1. Memòria**

**Alumne: Albert Cucharero Mayol**

**Tutor: Josep Xargayó Bassets**

**Departament: EEEA**

**Àrea: ESA**

**Convocatòria (mes/any): juny/2015**

## Índex

1. INTRODUCCIÓ.....	7
1.1. Antecedents.....	7
1.2. Objecte .....	7
1.3. Especificacions i abast .....	8
2. INTRODUCCIÓ A L'ENERGIA EÒLICA.....	9
2.1. Principis de l'energia eòlica .....	9
2.1.1. El vent .....	10
2.2. Situació general de l'energia eòlica .....	11
2.3. Energia eòlica a Espanya .....	12
2.4. Energia eòlica a Catalunya.....	15
2.5. Inconvenients de l'energia eòlica .....	16
2.6. Context energètic actual .....	18
3. HIDROGEN COM A VECTOR D'ENERGIA .....	19
3.1. Propietats de l'hidrogen .....	19
3.2. Power to gas.....	20
4. EMPLAÇAMENT.....	22
4.1. Situació general.....	22
4.2. Avaluació d'impacte ambiental.....	23
4.2.1. Clima .....	23
4.2.2. La tramuntana.....	23
4.2.3. La fauna.....	24
4.2.4. Espais naturals importants.....	25
4.2.5. Impacte visual .....	26
4.2.6. Soroll .....	27
4.2.7. Interferències electromecàniques .....	27
4.3. Estudi del potencial eòlic de la zona.....	28
4.3.1. Mesuraments .....	28

4.3.2. Distribució Weibull .....	30
4.3.3. Rosa del vents .....	31
4.3.4. Rugositat del terreny .....	32
5. AEROGENERADORS .....	34
5.1. Components d'un aerogenerador .....	34
5.1.1. Rotor eòlic .....	36
5.1.2. Sistema de regulació de potència .....	37
5.1.3. Sistema de transmissió.....	38
5.1.4. Suports .....	39
5.1.5. Sistema d'orientació .....	40
5.1.6. Generador elèctric .....	41
5.2. Selecció de l'aerogenerador .....	41
5.3. Descripció tècnica de l'aerogenerador Gamesa.....	44
5.3.1. Rotor .....	45
5.3.2. Sistema de transmissió i generador .....	47
5.3.3. Sistema de frenada.....	48
5.3.4. Sistema d'orientació .....	49
5.3.5. Gòndola.....	50
5.3.6. Torre.....	51
5.3.7. Unitat de control i mesura.....	52
5.3.8. Corba de potència de l'aerogenerador.....	53
5.4. Estimació energia produïda .....	54
5.5. Esquema d'implantació del parc eòlic.....	55
6. INSTAL·LACIÓ D'HIDROGEN .....	57
6.1. Transformador .....	57
6.2. Electrolitzador.....	58
6.2.1. Tipus d'electrolitzador.....	58
6.2.2. Dimensionat de l'electrolitzador .....	60
6.2.3. Selecció de l'electrolitzador .....	61

6.3.	Compressor .....	63
6.4.	Emmagatzematge de l'aigua .....	64
6.5.	Tractament de l'aigua .....	65
6.6.	Sistemes de control, gestió i seguretat de la planta d'hidrogen.....	66
7.	OBRA CIVIL.....	68
7.1.	Camins d'accés .....	68
7.2.	Vials interiors .....	68
7.3.	Cimentacions dels aerogeneradors .....	69
7.4.	Suports per muntatge d'aerogeneradors.....	70
7.5.	Canalitzacions de mitja tensió .....	70
7.6.	Centre de control .....	71
8.	INFRAESTRUCTURA ELÈCTRICA.....	73
8.1.	Centres de transformació dels aerogeneradors .....	73
8.1.1.	Mòdul 0L+1L+1P .....	75
8.1.2.	Mòdul 0L+1P .....	75
8.2.	Línia soterrada de mitja tensió.....	75
8.2.1.	Comunicacions per fibra òptica.....	76
8.3.	Línia aèria de mitja tensió 20 kV .....	77
8.3.1.	Descripció del traçat .....	77
8.3.2.	Suports.....	78
8.3.3.	Fonamentacions .....	79
8.3.4.	Conductors .....	80
8.3.5.	Aïllaments.....	81
8.3.6.	Ferramentes .....	82
8.3.7.	Accessoris .....	82
8.4.	Xarxa de terres .....	82
8.4.1.	Posada a terra de l'aerogenerador .....	83
8.4.2.	Posada a terra parc eòlic.....	83
8.4.3.	Posada a terra de la línia aèria de MT .....	83

8.4.4. Posada a terra de la subestació.....	84
8.4.5. Posada a terra de l'edifici de control .....	84
8.5. Subestació elèctrica del parc .....	85
8.5.1. Generalitats .....	86
8.5.2. Nivells d'aïllament.....	87
8.5.3. Distàncies de seguretat .....	87
8.5.4. Passadissos i zones de protecció .....	88
8.5.5. Sistema de 66 kV .....	88
8.5.6. Sistema de 20 kV .....	89
8.5.7. Disjuntors i seccionadors.....	89
8.5.8. Transformador d'intensitat i de tensió .....	90
8.5.9. Parallamps autovàlvules.....	90
8.5.10. Transformador de potència.....	91
8.5.11. Cel·les de mitja tensió .....	91
8.5.12. Proteccions.....	92
8.5.13. Instal·lacions auxiliars.....	92
8.5.14. Equips de mesura.....	93
8.6. Centre de transformació electrolitzador .....	93
8.6.1. Característiques constructives CGMCOSMOS .....	94
8.6.2. Seguretat.....	96
8.7. Línia aèria de 66 kV.....	97
8.7.1. Emplaçament de la línia .....	97
8.7.2. Suports.....	98
8.7.3. Cimentacions.....	98
8.7.4. Característiques dels conductors.....	99
8.7.5. Aïlladors .....	100
8.7.6. Ferramentes .....	100
9. ESTUDI VIABILITAT ECONÒMICA .....	102
9.1. Despeses .....	102

9.2.	Ingressos .....	103
9.3.	Valorització econòmica .....	103
9.4.	Amortització .....	104
10.	RESUM DEL PRESSUPOST .....	105
11.	CONCLUSIÓ .....	106
12.	RELACIÓ DE DOCUMENTS .....	106
13.	BILBIOGRAFIA .....	108
15.	GLOSSARI .....	110
A.	CÀLCULS ELÈCTRICS LÍNIES AÈRIES .....	111
A.1.	Resistència .....	113
A.2.	Reactància .....	115
A.3.	Susceptància .....	117
A.4.	Conductància .....	118
A.5.	Càlcul model equivalent .....	118
A.6.	Caiguda de tensió de la línia .....	119
A.7.	Pèrdues per potència .....	120
A.7.1.	Pèrdues per efecte Joule .....	120
A.7.2.	Pèrdues per efecte corona .....	121
A.7.3.	Pèrdues de potència totals .....	121
B.	CÀLCUL ELÈCTRIC LÍNIA SOTERRADA .....	122
B.1.	Estudi de les intensitats de la línia .....	122
B.1.1.	Intensitat màxima .....	122
B.1.2.	Intensitat de curtcircuit .....	123
B.2.	Caiguda de tensió .....	124
B.3.	Pèrdues de potència .....	124
B.4.	Resum càlculs elèctrics .....	125
C.	CÀLCUL ELÈCTRIC DEL CENTRE DE TRANSFORMACIÓ .....	126
C.1.	Estudi de les intensitats .....	126
C.2.	Dimensionament de la ventilació .....	128

D. CÀLCULS ELÈCTRICS INSTAL·LACIONS DE BAIXA TENSÍO .....	129
D.1. AEROGENERADORS.....	129
D.1.1. Estudi intensitat màxima.....	129
D.1.2. Caiguda de tensió .....	130
D.2. ELECTROLITZADOR .....	130
E. CÀLCUL ELÈCTRIC SUBESTACIÓ TRANSFORMADORA.....	131
E.1. Intensitats nominals .....	131
E.2. Intensitats curtcircuits.....	131
E.3. Dimensionat dels embarrats.....	132
E.3.1. Dimensionat embarrat de 66 kV .....	132
E.3.2. Dimensionat embarrat de 20 kV .....	134
E.4. Nivells d'aïllament .....	134
E.5. Distàncies de seguretat.....	135
E.6. Dimensionat de la ventilació.....	135

## **1. INTRODUCCIÓ**

En la última dècada, tant en el nostre país com en la resta de món, temes com la conservació dels recursos naturals i la protecció del medi ambient, han augmentat han anat prenent rellevància. Una de les àrees en la qual es troben grans problemes mediambientals és la generació d'energia elèctrica.

Són molts els esforços per promoure un futur de generació que fomenti al màxim l'ús d'energies renovables, també conegudes com energies verdes o netes, tals com l'eòlica, solar, hidràulica i biomassa, que redueixin les emissions de gasos que produeixen el l'escalfament del planeta.

### **1.1. Antecedents**

En els últims anys, l'energia eòlica ha patit un fort creixement en quant a potència instal·lada, tant a nivell nacional com europeu. Tot i això, existeixen diversos problemes pels que aquesta energia té una difícil penetració en el mercat elèctric, entre els que calen destacar: la intermitència del recurs eòlic, la difícil predictibilitat, la prioritat donada a les centrals convencionals que no poden ser desconnectades o les desconexions per forts vents, entre altres.

És en aquest sentit que sorgeix la necessitat d'emmagatzemar l'energia eòlica com una possible solució als problemes anteriors. La producció d'hidrogen mitjançant electròlisi de l'aigua es planteja com a alternativa per l'emmagatzematge de l'energia d'una manera neta. L'hidrogen generat serà injectat a la xarxa de gas natural, aquesta pot emmagatzemar avui en dia fins un 5% de la seva capacitat, en els propers anys s'estima que pugui arribar fins el 15%.

### **1.2. Objecte**

L'objectiu del projecte és realitzar un estudi de viabilitat per a la instal·lació d'un parc eòlic que emmagatzemi l'energia eòlica en forma d'hidrogen a la xarxa de gas natural. Quan no hi hagi demanda d'energia elèctrica, s'aprofitarà l'energia eòlica per poder produir hidrogen a partir de l'electròlisi de l'aigua. En el present projecte es realitzarà el disseny del parc i del sistema de producció d'hidrogen en la ubicació que es determinarà mitjançant el mapa eòlic i la xarxa de gas natural espanyola.



### 1.3. Especificacions i abast

L'estudi al que s'ha de sotmetre el present projecte demanda realitzar un estudi de mercat dels principals fabricants de maquinària per sistemes eòlics i parcs de producció d'hidrogen, mercat emergent ens els darrers anys, per el desenvolupament del disseny del parc eòlic per la producció d'energia elèctrica tant per la generació d'energia com per la generació d'hidrogen.

Es dissenyarà també la infraestructura elèctrica necessària per el funcionament del parc, com és la interconnexió entre aerogenerador i el parc eòlic i la instal·lació de producció d'hidrogen situada a 2,7 km d'aquest.

Es dissenyarà el sistema de producció d'hidrogen amb els elements de compressió i seguretat per la injecció a la xarxa de gas natural espanyola. Un cop el gas estigui a la pressió normalitzada per la companyia subministradora, serà aquesta l'encarregada de la connexió a la xarxa amb total cooperació entre projectes.

D'altra banda, es realitzarà el disseny parcial de la subestació elèctrica encarregada de condicionar l'energia per la connexió amb la xarxa elèctrica espanyola. Aquesta subestació serà l'empresa subministradora l'encarregada de la gestió del projecte amb total cooperació entre aquests.

En funció del mapa eòlic català i la normativa d'implantació de parcs eòlics a Catalunya, es determinarà l'emplaçament del parc eòlic per tal d'obtenir un major rendiment dels recursos naturals de la zona.

## 2. INTRODUCCIÓ A L'ENERGIA EÒLICA

L'energia eòlica és l'energia obtinguda del vent, és a dir, aquella que s'obté de l'energia cinètica generada per l'efecte de les corrents de l'aire i les vibracions que aquest produeix.

### 2.1. Principis de l'energia eòlica

L'energia eòlica ha sigut aprofitada des de l'antiguitat per moure els vaixells impulsats per velas o per fer funcionar la maquinària de molins al moure les aspes. És un tipus d'energia verda, energia generada a partir de fonts d'energia primària respectuoses. Les energies verdes són energies renovables que no contaminen, és a dir, el mode d'obtenció o ús no emet subproductes que puguin incidir negativament al medi ambient.

L'energia del vent està relacionada amb el moviment de masses d'aire que es desplacen per àrees d'alta pressió atmosfèrica cap a les àrees adjacents de baixa pressió, amb velocitats proporcionals al gradient de la pressió. El vents són generats a causa del escalfament no uniforme de la superfície terrestre per part de la radiació solar, entre l'1 i el 2% de l'energia provinent del sol es converteix en vent.

Durant el dia les masses d'aire sobre els oceans, mars i llacs, es mantenen fredes amb relació a les àrees veïnes situades sobre les masses continentals.

Els continents absorbeixen una menor quantitat de llum solar, per tant, l'aire que es troba sobre la terra s'expandeix, i es fa més lleuger i s'eleva. L'aire més fred i més pesat que prové dels mars, oceans i grans llacs es posa en moviment per ocupar el lloc que deixa l'aire calent.

Per poder aprofitar l'energia eòlica és important conèixer les variacions diürnes i nocturnes dels vents i la variació de la velocitat del vent amb l'altura del terra. És també importat conèixer la velocitat màxima del vent. Per tal de poder aprofitar l'energia eòlica, es necessita que aquest tingui una velocitat mínima de 12 km/h (3 m/s), i que no superi els 65 km/h (18 m/s).

### 2.1.1.El vent

Com s'ha comentat anteriorment, l'existència del vent en el planeta és a conseqüència del sol, ja que la radiació d'aquesta estrella, en combinació amb altres factors com la inclinació i el desplaçament de la Terra en l'espai o la distribució dels continents i dels oceans, fa que activi la circulació de masses d'aire en el globus a l'escalfar de forma desigual les diferents zones de la superfície i de la atmosfera terrestre.

L'aire que més es calenta es torna més lleuger, a causa de l'agitament de les seves molècules i a la pèrdua de densitat, i es desplaça cap a dalt, sent ocupat el seu lloc per masses més fredes. A gran escala, existeix una sèrie de corrents de vent dominants que circulen per tot el planeta en capes de la estratosfera. Aquests vents globals es regeixen per canvis de temperatura i de pressió atmosfèrica, però també per altres aspectes com la força de Coriolis, que fa que, vist des de l'espai, el vent de l'hemisferi nord tendeixi a girar en el sentit de les agulles del rellotge quan s'acosta a àrees de baixes pressions, i en canvi, a l'hemisferi sud ho faci en el sentit contrari.

Per altra banda, referent a la superfície terrestre, a nivell local, bufen altres vents més específics caracteritzats per relleu del terreny i altres variables com la rugositat o l'altura. Una superfície molt rugosa com un bosc o una aglomeració de cases causarà turbulències i frenarà el vent, mentre que una altra més llisa com el mar o llaneres facilitarà el desplaçament del l'aire. Si el terreny és rugós es necessitaran aerogeneradors de major altura per arribar a la mateixa velocitat que en llocs on la superfície del terreny és més llisa. Per conèixer el vent que farà en un punt determinat s'han d'analitzar tant els vents globals com els locals. A vegades seran els primers els que predominin sobre els segons, i d'altres vegades, al revés.

Els dos valors clau per analitzar el vent són la velocitat, que es mesura amb un anemòmetre, i la seva direcció que es mesura amb una penell. No tot el vent serveix per generar energia, perquè les pales de l'aerogenerador girin es necessiten vents moderats per sobre dels 4 m/s i per sota dels 25 m/s. No obstant, cada màquina està dissenyada per una determinada velocitat de vent, a partir de la qual generalment s'aconseguirà el rendiment màxim amb la potència màxima.

## 2.2. Situació general de l'energia eòlica

Des del començament de la crisi econòmica causada per l'augment del preu del petroli en la dècada dels setanta, es va iniciar un gran esforç de desenvolupament dedicat a disminuir la dependència del petroli dels sectors generadors d'energia. Posteriorment, la consciència medi ambiental va anar augmentant a causa del desgast d'aquest. A partir d'aquest moment es van impulsar novament investigacions d'altres alternatives energètiques que no comprometessin a llarg termini la continuïtat de la vida humana en el planeta.

L'energia del vent s'utilitza mitjançant l'ús de màquines eòliques, aeromotors, capaços de convertir l'energia eòlica en energia mecànica de rotació utilitzables, ja sigui per accionar directament les màquines operatives, com per la producció d'energia elèctrica. En aquest últim cas, el sistema de conversió, que compren un generador elèctric amb els seus sistemes de control i de connexió a la xarxa, es coneix com aerogenerador.

Un aerogenerador és una màquina que transforma el vent en energia aprofitable, que prové de l'acció de la força del vent sobre unes aspes obliqües unides a un eix comú. L'eix giratori es pot connectar a varis tipus de maquinària per moldre gra (molins), bombejar aigua o generar electricitat. Quan s'ha d'utilitzar per produir electricitat es nomena generador de turbina de vent.

La situació actual al món de l'energia eòlica es veu caracteritzada per un continu creixement, accentuat a l'any 2008 amb una potència instal·lada de 27.261MW i una potència total de 121.188MW acumulada. Arribant a final d'any a un volum de ventes dins del sector eòlic mundial dels 40 billons d'euros.

Es pot observar a la Figura 1, com la capacitat eòlica d'Espanya es situa en quarta posició. És una bona manera de veure el desplegament que ha patit aquesta tecnologia els última anys. Aquest fet es pot veure a la següent figura.

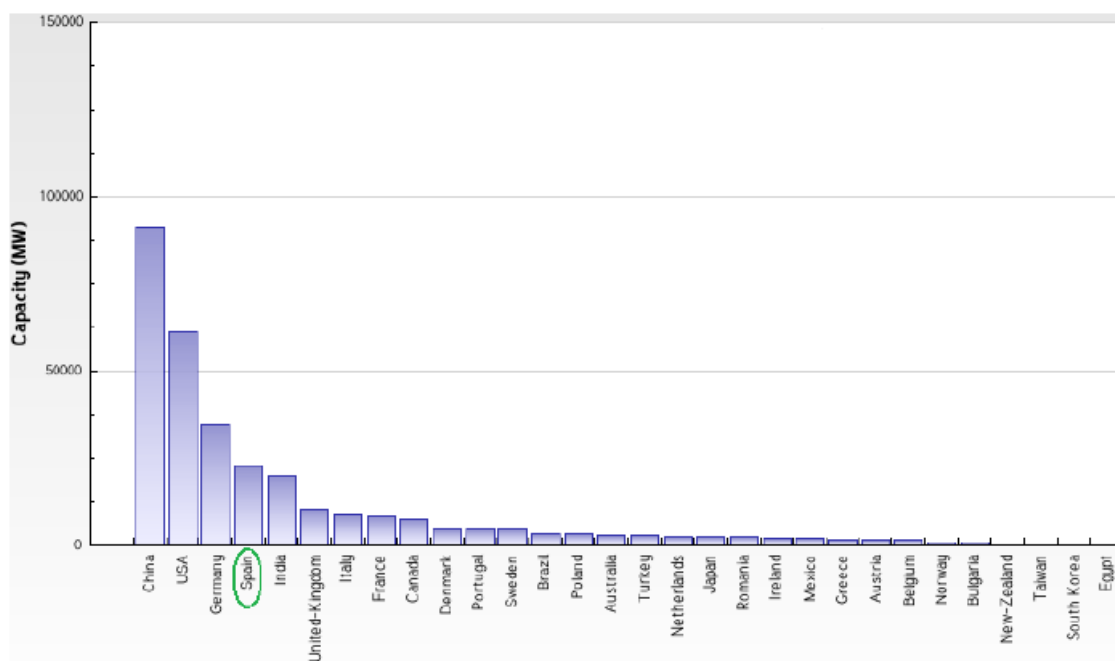


Figura 1. Les trenta majors capacitats de potència eòlica en 2013

Podem veure com Espanya es troba en quarta posició darrera de Xina, Estats Units i Alemanya. Les avantatges de tenir tanta energia eòlica són varies, la millora del “mix” elèctric, la menor dependència d'importacions i sobre tot, el fet d'utilitzar una font d'energia renovable inesgotable. Aquest és, per tant, un sector que contribueix un sector més segur, eficient i sostenible més respectuós amb el medi ambient.

No obstant, no tot són avantatges. El principal problema presentat per l'eòlica és que la seva gestió no sigui econòmicament fàcil per ser controlada. Això suposa un increment en el cost del sistema ja que es necessiten associar plantes de cycle combinat per cobrir la demanda en moments escassos de vent.

### 2.3. Energia eòlica a Espanya

La dependència energètica tendeix a baixar en els últims anys gràcies a la major aportació de les energies renovables. La cobertura de la demanda energètica a Espanya de l'any 2013 la podem observar a la Figura 2.

## Cobertura demanda elèctrica 2013

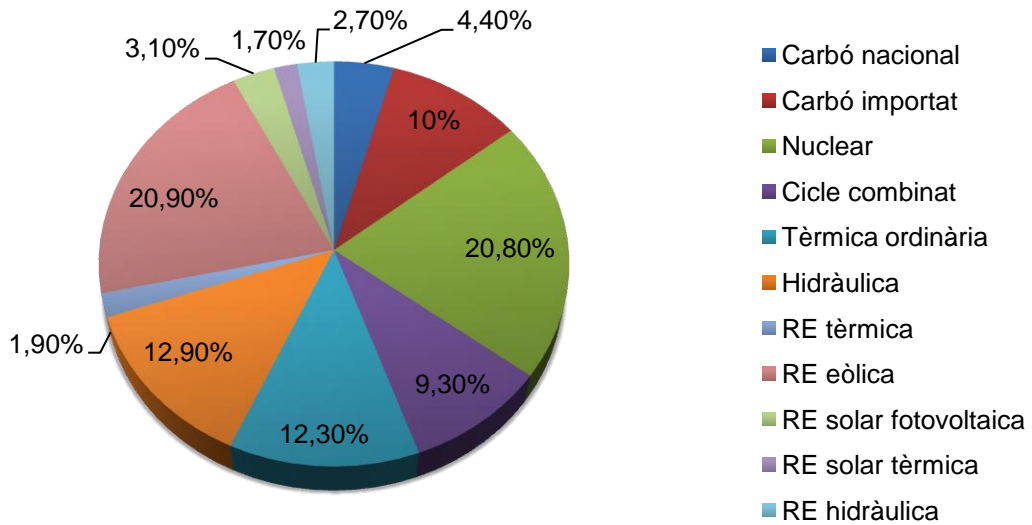


Figura 2. Energia produïda a Espanya per tecnologies en 2013

Es pot comprovar la gran contribució de l'energia és eòlica, això suposa aproximadament un 50% de tot el règim especial. En relació a l'any anterior, s'ha passat d'un 17,4% al 20,9% que apareix a la figura. Amb aquestes dades es pot preveure un possible canvi del model energètic tradicional.

La generació eòlica anual a finals de l'any 2013 a Espanya és de 54.334 GWh, com es pot observar a la Figura 3, on es va incrementant des de l'any 2004.

## Generació eòlica anual a Espanya

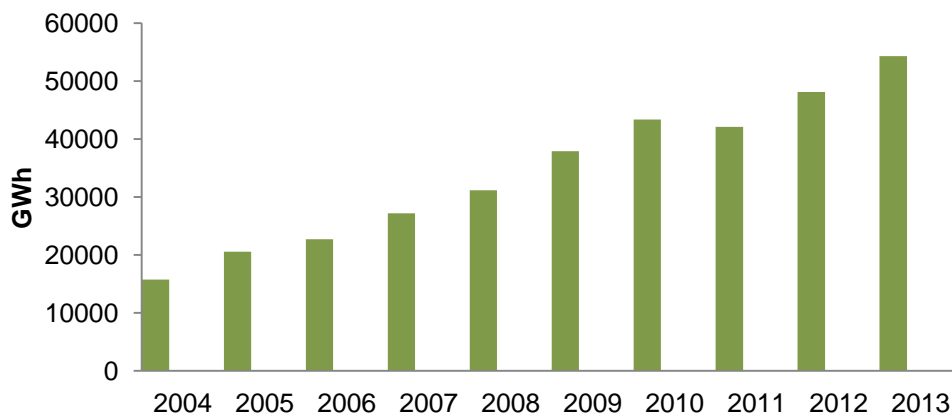


Figura 3. Generació eòlica anual a Espanya

L'energia eòlica és la font renovable amb més creixement a Espanya durant la darrera dècada. La producció d'energia elèctrica del sector eòlic al 2010 va ser superior a 43.70 GWh, contribuent en un 16% a la cobertura total de la demanda elèctrica nacional, i superant, en algunes ocasions, una cobertura del 50% de la demanda horària.

En quant a les tendències tecnològiques principals a l'horitzó 2020, no són previsible grans canvis en la tecnologia eòlica, més enllà de desenvolupar aerogeneradors de major mesura aplicant nous materials més resistents, amb menors costos associats i amb sistemes avançats de control de qualitat de l'energia cedida a la xarxa. Per la consecució del Pla d'Energies Renovables 2011-2020, apart de propostes de caire general, essencials per permetre la major integració del conjunt d'energies renovables, s'inclouen diverses propostes per eliminar barreres identificades en cada subsector eòlic, especialment en la eòlica marina i la de petita potència, encara per desenvolupar-se a Espanya.

Es preveu que en el període de 2012 a 2020 incrementi el consum d'energia primària d'origen renovable tal i com mostra a la següent figura:

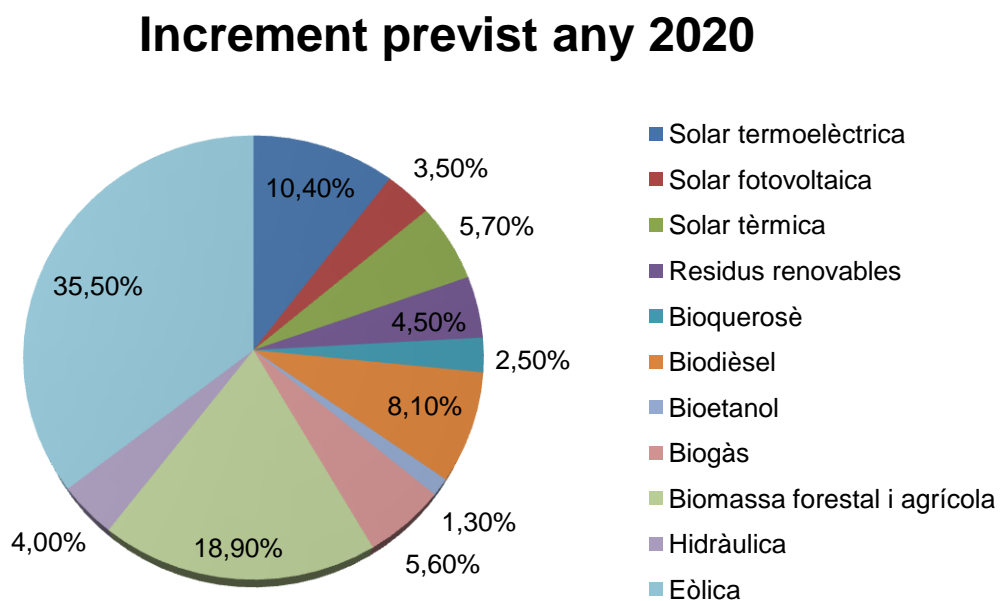


Figura 4. Increment previst de consum d'energia primària d'origen renovable previst a l'any 2020

Especialment, destaquen les propostes relacionades amb la simplificació dels tràmits administratius per la repotenciació de parcs eòlics, per les noves instal·lacions I+D+i+d, tant en terra com en mar, i el tractament regular específic per les màquines de baixa potència.

## 2.4. Energia eòlica a Catalunya

Catalunya va ser pionera en el desenvolupament de l'energia eòlica a Espanya. El 10 de març de 1984 s'inaugurava i es posava en marxa el primer aerogenerador a Catalunya, un dels quatre primers de l'Estat, un fet que va marcar el naixement de l'energia eòlica moderna.

El prototip, construït i dissenyat a Catalunya per la cooperativa Ecotècnia, es va instal·lar al municipi de Vilopriu (Baix Empordà). Era un aerogenerador de tres pales amb 12 metres de diàmetre de rotor i una potència nominal de 15kW. Es tracta d'una capacitat de producció molt reduïda en comparació amb un dels darrers aerogeneradors instal·lats a Catalunya, ubicat a El Perelló, que disposa d'una potència de 3MW, que equival a 200 molins de Vilopriu. D'aquesta manera es pot observar com ha evolucionat la tecnologia en els darrers anys.

Aquest projecte va ser pioner en tot l'Estat ja que, dels quatre primers molins que es van instal·lar, el primer dels quals es va comercialitzar va ser el molí empordanès. Aquest prototip es va connectar a la xarxa de forma il·legal, ja que no hi havia cap normativa que regulés la instal·lació d'infraestructures per a la producció d'energia eòlica.

No obstant, el primer parc eòlic posat en marxa a l'Estat espanyol, va ser el de Garriguella, província de Girona. El parc es va inaugurar el 9 d'abril de 1984, estava format per cinc aerogeneradors promoguts per ENHER i la Generalitat de Catalunya i tenien una potència de 24kW cadascun. El parc era capaç d'abastir a 60 famílies, mentre que ara un sol molí de vent dels més potents pot generar electricitat per 2500 llars.



Figura 5. Parc eòlic de Garriguella



Actualment ni a Vilopriu ni a Garriguella queden restes dels aerogeneradors que s'hi van instal·lar, el que demostra que no es genera cap residu durant els anys de funcionament ni un cop finalitzada la seva vida útil.

L'energia eòlica, que ha arribat a un estat de maduresa tecnològica, es troba en fase de desenvolupament del seu potencial a Catalunya, supeditat a la capacitat d'evacuació de la xarxa elèctrica i a altres condicionants territorials, mediambientals i paisatgístics (oposició en el territori, impacte visual, espais protegits, etc.). A 31 de desembre de 2010, Catalunya disposa d'un total de 37 parcs eòlics en servei, que sumen una potència total de 856,6 MW. La producció bruta d'energia elèctrica dels parcs eòlics en funcionament a Catalunya ha anat incrementant des dels 720 MWh anuals l'any 1991 (produïts bàsicament pel Parc Eòlic de Roses), fins als 1.987,2 GWh de l'any 2010.

Actualment també hi ha 827,46 MW eòlics autoritzats pendents de construcció. Però per tal d'avançar en l'assoliment dels objectius fixats al Pla de l'Energia i incrementar notablement la potència instal·lada, s'ha planificat el desenvolupament eòlic en el territori. Aquesta planificació s'ha concretat en la definició, després d'analitzar el recurs existent, la capacitat d'evacuació de la xarxa elèctrica, l'impacte ambiental i paisatgístic i el consens amb el 40 territori, de set Zones de Desenvolupament Prioritari (ZDP) aprovades mitjançant Acord de Govern, d'1 de juny de 2010. En el marc del Decret 147/2009, de 22 de setembre, es va publicar, el 14 de juny del mateix 2010, la convocatòria d'un concurs públic per a l'adjudicació d'autorització i instal·lació de 769 MW eòlics en les ZDP. En data 26 de novembre de 2010 es va resoldre adjudicar, amb caràcter definitiu, l'adjudicació dels projectes de parcs eòlics de les ZDP. Tot i així, es constata un endarreriment pel que fa a l'assoliment dels objectius fixats inicialment en el Pla de l'Energia.

## **2.5. Inconvenients de l'energia eòlica**

La principal desavantatge de l'energia eòlica és la incapacitat que tenim per controlar el vent. Al ser una energia menys previsible no es pot utilitzar com a única font de generació elèctrica. Per salvar els moments en que no es disposa de vent suficient per la producció d'energia eòlica és indispensable un recolzament de les energies convencionals i la resta de renovables.

Aquesta situació no és la única desavantatge a la s'enfronta l'energia eòlica. Hi ha varis factors de caràcter tècnic i mediambientals que dificulten la implantació d'aquesta.

Com hem indicat, la falta de planificació de l'energia eòlica disponible amb antelació en dificulta la utilització. Els sistemes elèctrics són operats calculant la generació amb un dia d'antelació en vista del consum previst, la aleatorietat del vent planteja problemes, tot i la millora de la previsió del temps.

Un altra important inconvenient, és la necessitat d'importants infraestructures que requereix un parc eòlic. Es solen situar en zones apartades o en el mar, lluny dels punts de consum, i per transportar l'energia elèctrica es requereixen suports d'alta tensió i cables de gran capacitat que poden salvar importants distàncies o causar impacte en el paisatge.

Tot i la necessitat de vent, si aquest supera la velocitat que les especificacions de l'aerogenerador té, és obligatori desconnectar aquest circuit de la xarxa o canviar la inclinació de les aspes per que deixin de girar, donat que amb forts vents l'estructura podria resultar danyada. La producció d'energia descendeix i afecta a la planificació elèctrica prevista. Com hem comentat, els parc eòlics solen ocupar grans espais i es localitzen en paratges naturals transformant els paisatges originals. És necessari realitzar estudis d'impacte ambiental previstos per evitar que perjudiquin a les aus migratòries o al paisatge.

Per acabar, un dels problemes més importants que pateix l'energia eòlica és la falta d'emmagatzematge. L'energia produïda ha de ser instantàniament consumida o del contrari es perd. Aquest és un dels motius pel qual es realitza el present projecte. En aquests moments on l'energia generada no es pot consumir directament de la xarxa elèctrica, aquesta energia produïda es convertirà en hidrogen per emmagatzemar-ho a la xarxa de gas natural. La principal idea és utilitzar l'energia elèctrica produïda amb els aerogeneradors perquè mitjançant l'electròlisi de l'aigua separar hidrogen. Aquest hidrogen seria injectat a la xarxa de gas natural, convertint aquesta en un sistema d'emmagatzematge d'energia renovable. Es calcula que es pot afegir fins un 5% d'hidrogen a la xarxa sense cap problema i en poc temps s'estima que pugui arribar fins al 15%.

D'aquesta manera es resoldria un dels principals problemes de la eòlica, l'excedent d'energia generada. És una via perquè el gas natural es converteixi en una energia neta, cosa que pot significar molt important, ja que, segons l'Agència Internacional de l'Energia, en els pròxims 25 anys la demanda energètica mundial creixerà un 40% i, la de l'electricitat, un 84%. Per tant, es necessita un major desenvolupament de les energies netes per que la temperatura global del planeta no augmenti més d 2°C. En altres paraules, frenar en sec l'emissió de gasos d'efecte hivernacle.

## 2.6. Context energètic actual

El model socioeconòmic de la nostra societat, basat en el creixement de l'economia, que comporta una falta de consciència de l'estalvi i eficiència energètica, no és sostenible. Això és degut a l'esgotament progressiu dels combustibles fòssils, l'impacta ambiental que suposa la utilització d'aquests i les limitacions de les alternatives que no garanteixen una continuïtat a llarg termini del model.

Actualment, hi ha una clara tendència a l'augment de la demanda de recursos fòssils que pot esdevenir a una crisi mundial si no s'intenta canviar el model. Aquesta crisi, probablement de preus, serà deguda a la incapacitat d'assolir la producció demanada a causa del fort augment del preu del petroli, la inestabilitat política, econòmica i social que hi ha en la major dels països productors i la falta d'inversions per l'extracció i refinatge.

Si ens focalitzem en el marc europeu, podem extreure que som més vulnerables als canvis del mercat energètic perquè som molt dependents. Aquesta situació justifica el fort impuls de l'eficiència energètica i de les energies renovables. És necessari un canvi d'estratègia en matèria energètica, el protocol de Kyoto estableix uns límits d'emissió de CO<sub>2</sub>, per reduir la quantitat de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera, que provoquen l'escalfament global del planeta i, així intentar frenar el canvi climàtic.

### 3. HIDROGEN COM A VECTOR D'ENERGIA

L'hidrogen, la substància més abundant a la naturalesa, que emmagatzema la major quantitat d'energia per unitat de pes, pot ser el combustible que destroni al petroli, però té un inconvenient, no es troba lliure. Per obtenir-lo es requereix gran quantitat d'energia. L'energia eòlica ja ha demostrat que pot generar tanta energia com es requereixi, i sense contaminar, però té també un inconvenient, com que depèn del vent no sempre produeix energia quan es necessita. Si es combinen aquests dos factors, pot representar la revolució energètica del segle XXI, hidrogen verd.

En el cas de la eòlica, quan hi hagi vent es pot utilitzar per utilitzar l'electricitat generada per els aerogeneradors per extreure hidrogen de l'aigua mitjançant un procés d'electròlisi. Això tindria una gran avantatge, i és que es podria incrementar el volum a la xarxa de gas natural amb la injecció de l'hidrogen, que en cap caps el gas natural es veuria afectat per aquest hidrogen. La xarxa de gas es convertiria en un sistema d'emmagatzematge d'energia, aportant una solució al problema de l'excedent de renovables.

La principal dificultat de l'hidrogen és emmagatzemar-lo i transportar-lo. Avui en dia, construir una nova xarxa de subministrament pel transport de l'hidrogen que arribi a tots els llocs, és costós i difícil.

No obstant, el gas natural es transporta fàcilment i a dia d'avui compta amb l'avantatge de posseir una sòlida xarxa de distribució estesa per tot el món, gràcies a la qual podem utilitzar aquest combustible per escalfar l'aigua, calefacció, cuina, entre d'altres aplicacions.

No ha sigut fins a finals del 2013 i inicis del 2014, quan s'ha portat a terme un nou mètode que ens permet utilitzar l'hidrogen a la xarxa de gas natural ja existent, sense cap tipus de limitació pròpia amb les que ja tenia l'hidrogen. Unint en un mateix procés dos mètodes de transport que ens permet contar amb les avantatges de l'hidrogen, com aconseguir que d'aquest s'obtingui totes les avantatges d'utilitzar gas natural sense haver de recórrer a la extracció de gas natural del sòl terrestre.

#### 3.1. Propietats de l'hidrogen

L'hidrogen és el primer element de la taula periòdica, en condicions normals, es tracta d'un gas diatòmic incolor, insípid, no metàl·lic i altament inflamable. És l'element més lleuger i és,

també, el més abundant en l'univers, constituent el 75% en pes de la matèria visible. No obstant, en la Terra, rarament es troba en estat lliure ja que pesa tant poc que la gravetat terrestre no pot retenir-lo i s'escapa a l'espai. Per la qual cosa, es troba formant part de compostos químics més pesats, principalment es troba en forma d'aigua. A diferència del carbó, el petroli o el gas, l'hidrogen no és un recurs natural, no es pot obtenir de la naturalesa per feines de mineria o extracció com és el cas dels recursos fòssils en general.

L'hidrogen és un portador d'energia, per això el nom de vector energètic. És necessari que es produeixi a partir d'altres matèries primes (aigua, biomassa, recursos fòssils), i per convertir aquestes matèries en hidrogen s'ha de seguir unes transformacions en les que es consumeix algun tipus d'energia primària (nuclear, renovable o fòssil).

En la següent taula es recullen les densitats energètiques de diversos combustibles en la seva forma habitual de subministrament. Es pot observar que l'hidrogen és capaç d'emmagatzemar aproximadament el triple d'energia per unitat de massa que els altres, sent entre els combustible no nuclears el que té major densitat energètica en pes. Però al ser tant lleuger ( $0,09 \text{ kg/m}^3$ ) és el que menor energia emmagatzema per unitat de volum. Aquest fet implica certs problemes en el transport, emmagatzematge i distribució, comparant amb la gasolina o el butà, especialment en aplicacions on l'hidrogen ha de ser per el sistema.

	Energia emmagatzemada			
	Densitat	Volum	Volum	Massa
	( $\text{kg/m}^3$ )	( $\text{kWh/m}^3$ )	( $\text{kWh/Nm}^3$ )	( $\text{kWh/kg}$ )
H2 líquid (1bar)	70,71	2.375,00	3,00	33,59
H2 gas (300bar)	20,55	690,00		
H2 gas (700bar)	47,96	1.611,00		
Gas natural (1bar)	0,65	9,10	10,00	13,93
Butà líquid	550,00	7.000,00	33,00	12,73
Gasolina	750,00	9.270,00		12,36

Taula 1. Densitats energètiques dels combustibles

### 3.2. Power to gas

El "Power to gas" és un mètode recent per el transport de hidrogen, que prové de fonts renovables i el transport a través de la xarxa de gas natural.

Consisteix en l'obtenció d'hidrogen sense emissions contaminants a través de l'electròlisi, utilitzant l'energia elèctrica que ens sobra quan es produeix en excés en la generació elèctrica de les instal·lacions basades en renovables, com l'energia eòlica. Una vegada obtenim l'hidrogen, es tracta de transportar-lo i fer-lo arribar a diferents punts de consum, introduint-lo a la xarxa existent de gas natural de dos maneres diferents explicades a continuació:

La primera seria considerant l'hidrogen com un additiu al gas natural, sent afegida una petita part al flux de gas natural existent a la línia. Aquesta quantitat d'hidrogen no ha de ser superior al 2% de volum. D'aquesta manera el mix de combustible gas natural i hidrogen no representa cap tipus de problema per la xarxa de tuberes, ni per la seva utilització en els dispositius existents.

L'altra forma és la substitució de gas natural per hidrogen més diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ). En aquest cas, es tracta de combinar l'hidrogen produït per electròlisi amb  $\text{CO}_2$  extret de l'atmosfera, o utilitzant aquell que ha sigut emmagatzemat pel sector industrial. Amb això s'aconsegueix un gas sintètic que a efectes pràctics és igual que el gas natural, és a dir metà ( $\text{CH}_4$ ). A aquest gas sintètic o metà sintètic, també se'l coneix per la seva denominació en anglès com "syngas".

En la següent figura es pot observar de manera gràfica les formes d'introducció d'hidrogen a la xarxa de gas natural.

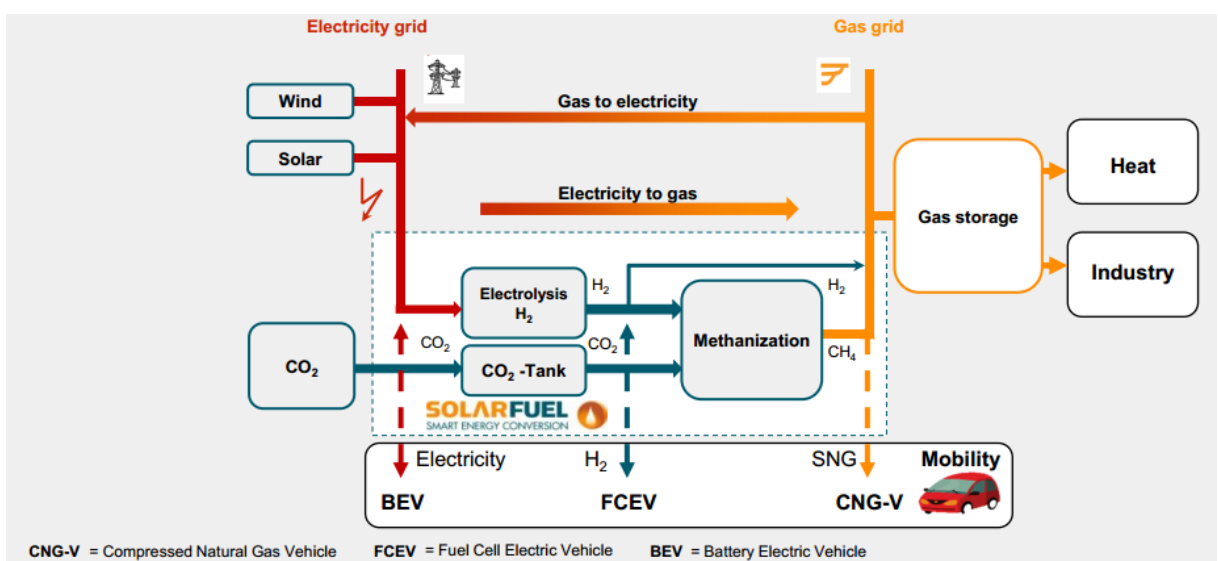


Figura 6. Mètodes introducció d'hidrogen a la xarxa de gas natural

## 4. EMPLAÇAMENT

El parc eòlic es situarà entre els municipis de La Jonquera i Cantallops a la comarca del l'Alt Empordà en la zona la serra de l'Albera o també conegut com massís de l'Albera, exactament en el Puig dels Falguers, una muntanya de 761 m d'alçada.

L'Albera és un conjunt muntanyós situat a les planes de l'Empordà i Rosselló. S'estén des del coll del Pertús fins al mar Mediterrani. Es caracteritza per l'erosió de les muntanyes que no tenen gaire alçada.

### 4.1. Situació general

L'emplaçament escollit està situat al nord de l'Alt Empordà, amb bona comunicació per tot el territori. Les comunicacions cap a la comarca es fan amb facilitat per l'autopista AP-7, les carreteres A-2, A-26 i C-31, l'eix costa nord. La línia de tren Barcelona-Portbou creua la comarca en direcció nord-sud amb parades a Sant Miquel de Fluvià, Vilamalla, Figueres, Vilajuïga, Llançà, etc. La comarca té una bona comunicació amb Espanya i Europa, amb l'aeroport Girona-Costa Brava.



Figura 7. Municipal i carreteres de l'Alt Empordà

## **4.2. Avaluació d'impacte ambiental**

En el següent apartat es descriurà les característiques de la zona i l'impacte ambiental que pugui causar la instal·lació a estudi.

### **4.2.1. Clima**

El clima de l'Alt Empordà es pot dividir en dues zones en funció del relleu i la continentalitat. La franja de la costa, la plana i les àrees de relleus d'escassa altitud, amb un clima sec subhúmit típicament mediterrani, d'estius secs i àrids i hiverns suaus. La zona d'interior i de muntanya, on el clima es torna més humit i fresc.

La major part de la comarca enregistra valors anuals de temperatura d'entre 14 i 15°C, tot i que a les zones d'interior i més elevades arriben als 11°C, i fins a 16°C a la línia de costa de Roses. Les temperatures més elevades s'assoleixen en el mes de juliol amb uns 24°C, i les mínimes el mes de gener amb uns 8°C de mitjana.

Les precipitacions són inferiors als 700mm a la meitat est de la comarca, mentre que a la meitat occidental i a mesura que es guanya altitud es poden arribar a valors superiors als 1.200mm. Els registres pluviomètrics més importants es donen sobretot durant els mesos de tardor, i de primavera, mentre que els mesos d'estiu són els que menys precipitacions enregistren.

La principal característica de la comarca són els forts vents que es diferencien per la seva persistència i intensitat, essent els de direcció N-NW els més importants (tramuntana), sobretot entre els mesos de novembre i març.

### **4.2.2. La tramuntana**

La tramuntana és un vent fred i sec, que procedeix del nord i sovint és molt fort i insistent. Es tracta d'un factor climàtic típic de l'Empordà, degut a l'existència d'un anticicló al mar Cantàbric i un cicló al golf de Lleó, que generen aquest vent que al travessar per l'extrem oriental del Pirineu es refreda i pren força.





Figura 8. Núvols sobre l'Albera, provocats per la tramuntana.

#### 4.2.3. La fauna

Per tal de realitzar un estudi de viabilitat per a la construcció d'un parc eòlic, en quant la fauna, és molt important l'anàlisi de les aus i dels processos migratoris que es desenvolupen a la zona. A l'Alt Empordà la llista d'espècies d'aus és molt important. Entre les més singulars i rares, algunes d'elles molt vulnerables i amb unes poques parelles nitrificants, destaquen l'àguila daurada, l'esparver cendrós, el xoriguer petit, l'àguila cuabarrada, el picot garser petit, la merla d'aigua, el blauet, la trenca i el còlit negre. No obstant, la llista d'espècies és molt llarga, a l'Albera s'han arribat a detectar més de 200.

Respecte als mamífers, la zona del massís de l'Albera és on es presenta una major diversitat amb un total de 44 espècies, gairebé el 75% del total dels mamífers de Catalunya. Destaca la presència d'espècies domèstiques com la vaca fagina, la vaca marinera, el guarà català (ase català) i la gallina empordanesa. Però també espècies salvatges com el porc senglar, la llebre, el conill, la guineu, el gorja blanc, la mostela, el turó, el gat salvatge, el mufló, l'eriçó i diverses espècies de ratpenats també de rosegadors, entre els quals destaquen l'esquirol, la rata d'aigua i el liró gris. A més, es poden trobar exemplars aïllats de daina i cérvol i, en més percentatge, de cabirol.

A destacar, que en la implantació dels suports tant dels aerogeneradors com de les línies aèries i soterrades, s'ha tingut en compte causar el menor impacte possible sobre el terreny i la fauna, equipant les instal·lacions amb salva ocells i reconstruint l'hàbitat un cop finalitzades les obres, tal i com s'indica en el Plec de Condicions.

#### 4.2.4. Espais naturals importants

El Decret 147/2009, de 22 de setembre, regula els procediments administratius aplicables per la implantació de parcs eòlics i instal·lacions fotovoltaïques a Catalunya. Aquest limita la implantació en segons quines zones que estar restringides a espais naturals com es pot observar en la següent figura.

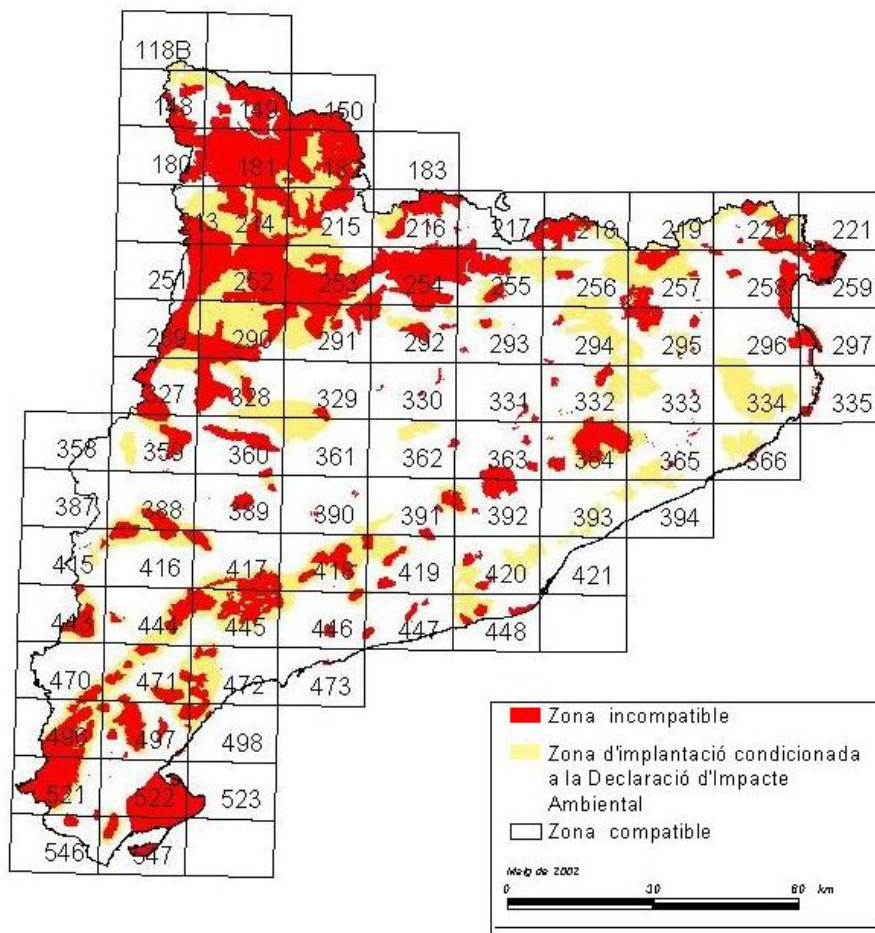


Figura 9. Mapa d'implantació de l'energia eòlica a Catalunya

Si mirem la figura anterior, podem veure que la zona del massís de l'Albera està situada en la cel·la 220. Com es pot observar hi ha zones de la cel·la que són incompatibles o estan condicionades a la Declaració d'Impacte Ambiental.

Si ampliem el mapa podem afirmar que el massís de l'Albera destinat a la implantació del parc eòlic entre la Jonquera i Cantallops, no té cap tipus de restricció.

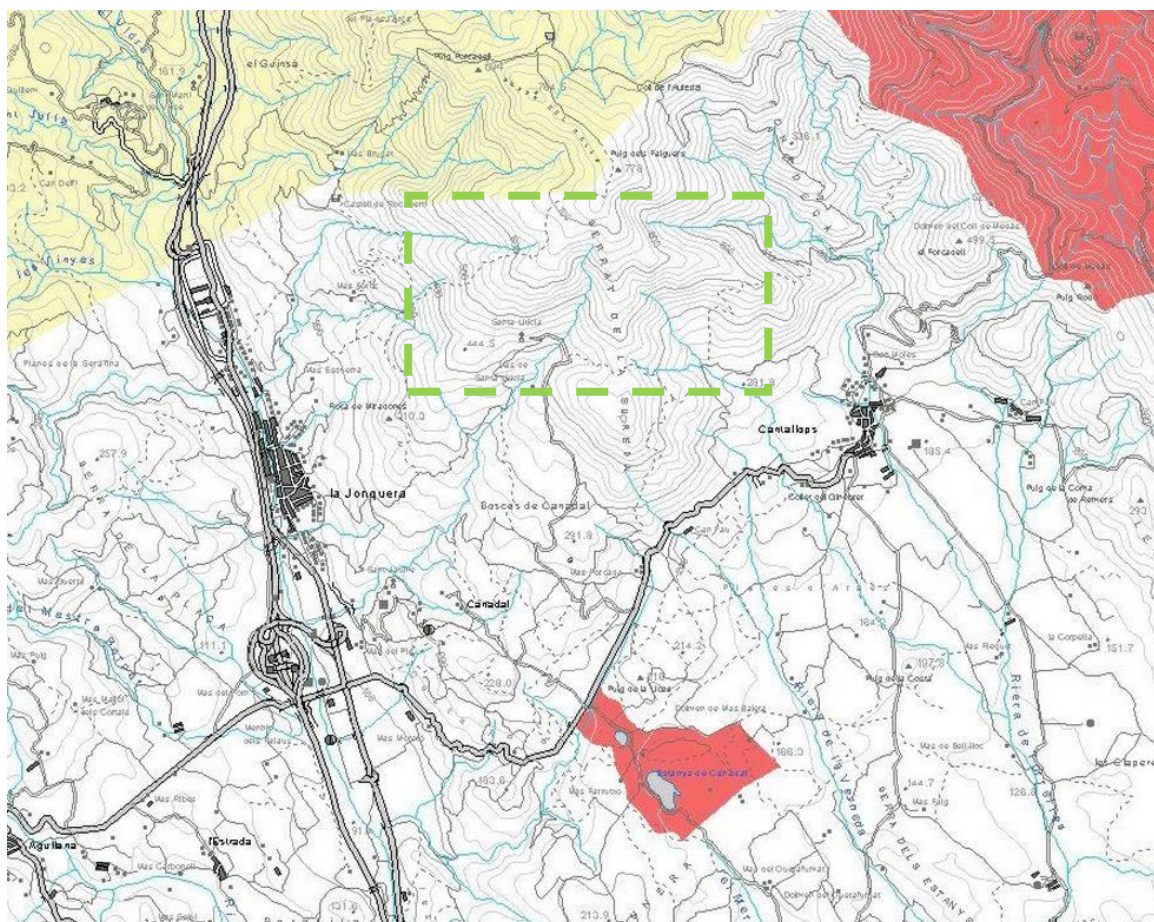


Figura 10. Mapa d'implantació entre la Jonquera i Cantallops

#### 4.2.5. Impacte visual

Dins dels factors que influeixen sobre l'impacte visual es troben el tipus de paisatge, el color dels aerogeneradors, la distribució d'aquest i el nombre de pales de la turbina.

Usualment un dels impactes més molestos són les ombres projectada pel rotor quan aquest es troba a prop de zones urbanitzades. En el nostre cas, es troba allunyada de qualsevol zona edificada.



#### 4.2.6. Soroll

El soroll provocat per el moviment dels àleps dels aerogeneradors és molest i es poden tenir dos orígens, mecànic i aerodinàmic. El soroll mecànic és produït pel fregament entre les diferents parts mòbils de la màquina. El soroll aerodinàmic és pronunciat en fora de so xiulant, arriba a distàncies majors que no pas el soroll mecànic.

Aquest soroll pot causar problemes en comunitats pròximes a l'aerogenerador, on l'origen es situa principalment a les puntes i parts posteriors de les pales i augmenta amb la velocitat de rotació de les mateixes. Aquest és un dels motius pels quals es limita la velocitat de la punt de la pala. En la següent figura es pot observar el soroll produït de les turbines.

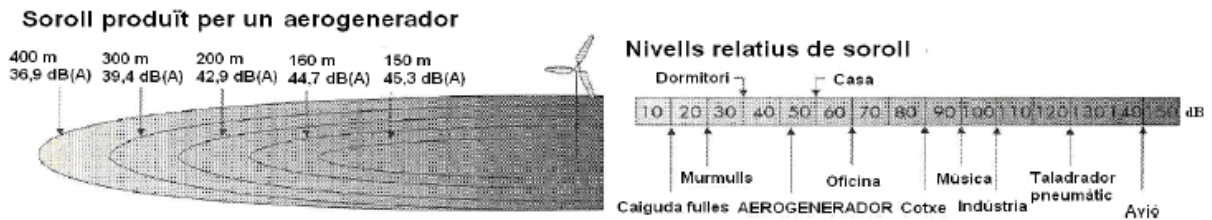


Figura 11. Nivells relatius de soroll

#### 4.2.7. Interferències electromecàniques

Els aerogeneradors poder ser un obstacle per les ones electromecàniques, relaxant-les, difractant-les, o dispensant-les. Aquestes ones poden viatjar entre un emissor o un receptor de ràdio, televisió i microones, la reflexió dels quals pot arribar a l'emissor i interferir amb la senyal original. Alguns paràmetres de l'aerogenerador que influeixen en la distorsió són bàsicament els causants del moviment dels àleps i la velocitat de rotació d'aquests.

Als estudis realitzats no s'han registrat transmissions de radiofreqüència atribuïdes a aerogeneradors..

### **4.3. Estudi del potencial eòlic de la zona**

Per definir el potencial eòlic d'una zona determinada és indispensable disposar d'informació meteorològica de diversos anys i disposar de la informació d'alguna estació meteorològica de control de la zona. Catalunya disposa de diferents estacions meteorològiques repartides per tot el país.

#### **4.3.1. Mesuraments**

Per realitzar mesuraments del vent, que determinen el potencial eòlic d'una zona, normalment, s'instal·len anemòmetres per determinar la velocitat del vent, panells per determinar la direcció, termòmetres per conèixer la temperatura i baròmetres per determinar la pressió atmosfèrica. Aquests instruments s'instal·len en torres de 10m d'alçada, i s'emmagatzemen les dades en un panell enregistrator.

El període d'enregistrament de dades està comprès entre 1 any i 3 anys, depenent de la precisió que es requereixi. L'energia eòlica és una font variable i aleatòria, és necessari realitzar un anàlisi estadístic de les dades.

Les representacions estadístiques que s'utilitzen normalment per sintetitzar les velocitats i direccions del vent són la distribució per rumb de direcció i la distribució per freqüències de velocitats.

En el nostre cas, disposem de les dades de l'estació meteorològica de Puig Rodó a la zona de l'Albera, que dona dades al servei de meteorologia de Catalunya. Es disposa de dades pels vuit sectors de l'estació, la freqüència i la velocitat mitjana del vent.

A partir d'aquestes dades es pot calcular la rosa dels vents per determinar quin sector és més influent en la proposta d'ubicació i disposició del parc de aerogeneradors. Amb resultat s'obté la taula amb les següents dades del vent:

Sector	Hores (h)	Freqüència (%)	Velocitat (m/s)
N	857	9,78	7,52
NNE	307	3,51	4,78
NE	213	2,43	4,04
ENE	200	2,28	4,01
E	207	2,36	4,22
ESE	223	2,54	4,24
SE	327	3,73	5,08
SSE	457	5,22	7,01
S	532	6,07	9,13
SSW	442	5,05	9,14
SW	244	2,78	7,91
WSW	124	1,42	6,16
W	95	1,09	4,81
WNW	168	1,92	6,71
NW	1.607	18,34	13,23
NNW	2.759	31,49	12,45
Totals	8.760	100,00	6,90

Taula 2. Freqüència i velocitat del vent a l'estació meteorològica

A partir d'aquestes dades, on s'expressen les 16 direccions angulars de la procedència del vent, en relació a la freqüència, obtenim la Figura 12, corresponent a la rosa dels vents.

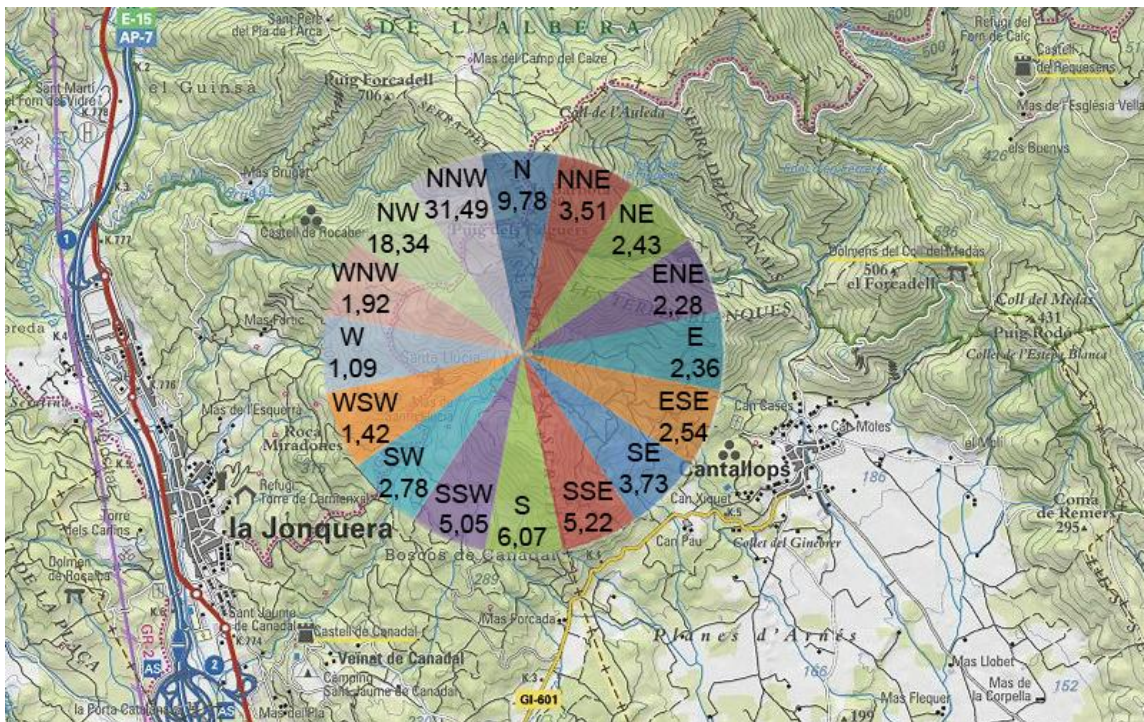


Figura 12. Representació gràfica de la rosa del vents amb les dades de freqüència

### 4.3.2. Distribució Weibull

El coneixement de la distribució de probabilitats de velocitats de vent és molt important a l'hora de determinar el potencial eòlic disponible, a més de diferents paràmetres energètics d'interès. Les representacions analítiques més utilitzades, per la seva similitud amb les distribucions reals normalment mesurades, són la distribució de Rayleigh i de Weibull. Les dues funcions de distribució de probabilitats que s'utilitzen per descriure el comportament del vent, són la de Rayleigh i Weibull com s'ha comentat anteriorment. Aquestes s'adapten bé a la forma típica dels histogrames de vent i s'utilitzen quan és necessària una expressió analítica de la probabilitat de la velocitat del vent. La de Weibull s'ajusta més que la de Rayleigh, donat que aquesta és un cas particular de la primera per un valor de  $k=2$ .

En la següent figura es mostra la distribució de Weibull del cas a estudi:

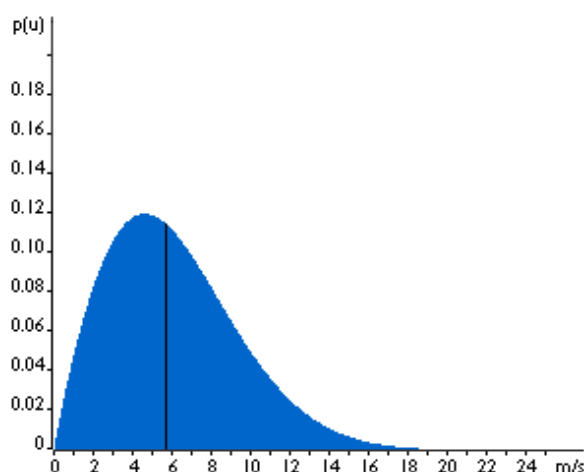


Figura 13. Constant de Weibull

La meitat de l'àrea blava que està a l'esquerra de la línia negra vertical a 5,7 m/s. Aquest 5,7 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 6,1 m/s. La velocitat mitjana és realment el promig 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 altres, però són molt rares. D'altra banda, les velocitats de vent de 4,5 m/s són les més comunes. Els 4,5 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.

### 4.3.3. Rosa del vents

Les característiques direccionals del vent són de gran importància, especialment per la ubicació de les màquines eòliques en terrenys no uniformes, així com l'emplaçament de varies màquines formant el parc. La representació més habitual de distribució direccional del vent és l'anomenada rosa del vents, que representa el percentatge de temps en que el vent prové d'una determinada direcció o també pot representar la velocitat mitja en cada direcció i la distribució direccional de l'energia. Aquesta última proporcionarà una idea de quines direccions són les més energètiques en l'emplaçament seleccionat, per tant les més potencialment interessants.

La gràfica consisteix en utilitzar barres o extensions que van des del centre d'un cercle fins un punt determinat que mostra la direcció del vent, la longitud de cada extensió indicarà el percentatge de temps en el que el vent es dirigeix cap a aquesta direcció. Aquestes direccions estan representades per números, els quals varien d'acord a les agulles del rellotge iniciant amb  $360^\circ$  en el nord, tenint l'est a  $90^\circ$ , el sud a  $180^\circ$  i l'oest a  $270^\circ$ . La calma s'expressa com a  $0^\circ$ . Les diferents direccions del vent referides a la rosa del vents poden presentar-se en 4, 8, 12 i 16 sectors. La direcció del vent està referida sempre al lloc des de on prové la corrent d'aire. Normalment, també es reflexa en la rosa dels vents la distribució de velocitats de vent per cada interval direccional. La següent figura mostra la rosa dels vents de la zona:

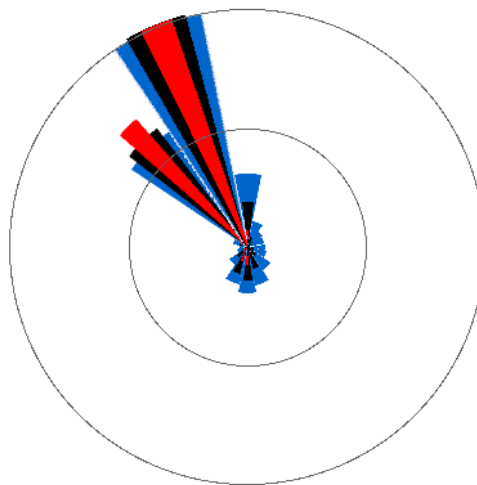


Figura 14. Rosa dels vents



#### 4.3.4. Rugositat del terreny

S'ha de tenir en compte varis aspectes a l'hora de seleccionar l'emplaçament del nostre parc, un d'ells és la rugositat del terreny o la longitud de la rugositat, ja que aquesta orografia de l'àrea, pot provocar una disminució de la velocitat del vent, que repercuteixi directament als aerogeneradors, és per això que l'altura de la caixa és importantíssima en el disseny.

La rugositat es sol classificar per classes, que comprenen des d'una altra rugositat de classe 3 o 4 la qual es refereix a paisatges amb molts arbres i edificis, mentre que la superfície del mar li correspon una rugositat de classe 0, és a partir d'aquesta idea, per el que s'estan expandint en l'actualitat els parcs eòlics marins.

Segons la taula, i les característiques del nostre parc, el qual es troba emmarcat en un paisatge obert en el punt més elevat de la zona, a la cresta de la muntanya, la rugositat és de classe 1. Veiem la taula a continuació:

Classe de rugositat	Longitud de rugositat (z)(m)	Índex d'energia (%)	Tipus de terreny
0,00	0,0002	100,00	Superfície aigua. Terreny obert
0,50	0,0024	73,00	Pistes de formigó, gespa, etc
1,00	0,0300	52,00	Camps oberts sense arbres. Turons suaument arrodonits
1,50	0,0550	45,00	Camps amb algunes cases i arbres de 8m situats a 1250m
2,00	0,1000	39,00	Camps amb algunes cases i arbres de 8m situats a 500m
2,50	0,2000	31,00	Camps amb algunes cases i arbres de 8m situats a 250m
3,00	0,4000	24,00	Pobles, boscos i terrenys desiguals
3,50	0,8000	18,00	Ciutats amb edificis alts
4,00	1,6000	13,00	Edificis elevats, grans ciutats

Taula 3. Classes de rugositats segons el terreny

El relleu del terreny és un factor que influeix en la velocitat del vent. Les elevacions del terreny, muntanyes, penya-segats, etc, poden ocasionar un augment de la velocitat si el perfil és de forma i pendent suau o pot disminuir la velocitat si es tracta de fortes pendents, crestes o bordes aguts.

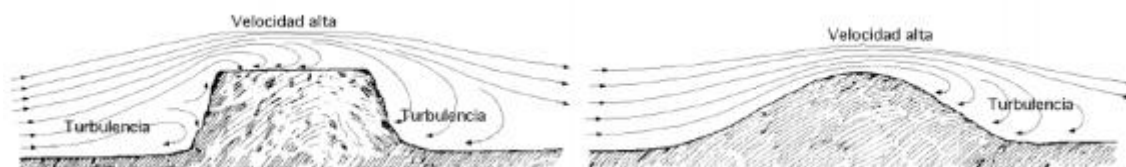


Figura 15. Influència d'obstacles a la velocitat del vent

Els turons suaus, amb pendents amb molta vegetació o obstacles i cimes arrodonides, són llocs potencialment adequats per la instal·lació d'aerogeneradors, que aprofitin l'efecte accelerador del relleu, com és el cas del projecte a estudi. A la zona de l'Albera, exactament el Puig dels Falguers, es situarà el parc eòlic.

## 5. AEROGENERADORS

Les modernes turbines eòliques són sistemes capaços de transformar, de forma eficient, l'energia cinètica continguda en el vent en energia mecànica en un eix. Aquesta energia es pot aprofitar, o bé directament, en instal·lacions aïllades per aplicacions de bombeig o, com és habitual, en sistemes de producció d'energia elèctrica.

Al llarg de la història de l'energia eòlica, han sigut moltes les turbines que s'han dissenyat per aprofitar l'energia del vent, tot i això, la tecnologia dels aerogeneradors per producció d'energia elèctrica ha evolucionat cap a màquines de tres pales, orientades a baròmetre, amb suport tubular i sistemes d'orientació actius. Aquestes característiques es poden considerar comuns en els aerogeneradors actuals, però existeixen diferències significatives en aspectes relatius al tipus de generador elèctric i els sistemes de control del aerogenerador.

### 5.1. Components d'un aerogenerador

Per entendre la necessitat de tots els sistemes de components moderns d'un aerogenerador és important conèixer el principi de funcionament d'aquests sistemes i com és el procés de conversió d'energia que es produeix en ells. Quan la velocitat del vent que incideix sobre l'aerogenerador augmenta, ho fan també les forces que es produeixen sobre les pales. Aquestes forces desenvolupen un parell mecànic i esforços sobre els elements mecànics de l'aerogenerador. El parell mecànic desenvolupat per la turbina, quan està girant a una determinada velocitat, produeix una potència mecànica que es transmet al generador i es converteix finalment en energia elèctrica.

En aquest procés de conversió d'energia intervenen fonamentalment: el rotor eòlic que és l'element que converteix l'energia cinètica del vent en energia mecànica, el tren de potència que transmet la potència mecànica desenvolupada per la turbina al generador elèctric mitjançant una caixa de multiplicació de velocitat, i per últim, el generador elèctric que és el dispositiu encarregat de transformar l'energia mecànica en elèctrica.

Els aerogeneradors actuals d'eix horitzontal estan constituïts per una cimentació de formigó armat adequada al terreny i a les càrregues de vent, sobre la qual s'aixeca un suport, típicament d'acer, d'estructura de gelosia, o bé de tipus tubular d'acer o formigó armat per millorar el seu aspecte. S'eleva l'aerogenerador lo suficient amb l'objectiu d'evitar les baixes

velocitats del vent amb la superfície del terreny. Un valor típic d'altura és  $H=0,75 \cdot D+10\text{m}$  on  $D$  és el diàmetre de la pala.

A l'extrem del suport es fixa una gòndola giratòria d'acer o fibra de vidre, a la qual s'accedeix per l'interior del suport, o per l'exterior si es tracta d'un model petit. Aquesta conté un tren de potència (eix del rotor, caixa multiplicadora, eix ràpid i acoblaments flexibles), la màquina elèctrica (generador elèctric, controls, accionaments i màquines auxiliars), mecanismes auxiliars, generalment hidràulics (frens d'emergència del rotor), sistema de control basat en un microprocessador i encarregat de la supervisió de les variables operatives, registres d'incidències i control del funcionament. A l'exterior trobarem la caixa, que uneix les pales del rotor i que pot incorporar les articulacions, com el canvi de pas, etc. Les pales, on l'eix de gir sol estar inclinat uns graus sobre la horitzontal amb objectiu d'allunyar les pales del suport. El mecanisme aerodinàmic d'orientació sol ser amb un sensor de direcció orientant la gòndola amb un motor elèctric o hidràulic engranat a una corona horitzontal. L'estació meteorològica mesura la velocitat i direcció del vent, temperatura i pressió atmosfèrica.

A la següent figura es representen els diferents sistemes que s'incorporen en els aerogeneradors. No totes les tecnologies disposen de la totalitat d'aquests sistemes, alguns fabricants opten per màquines més senzilles de concepte que no incorporen sistemes aerodinàmics de limitació de potència ni convertidors electrònics.

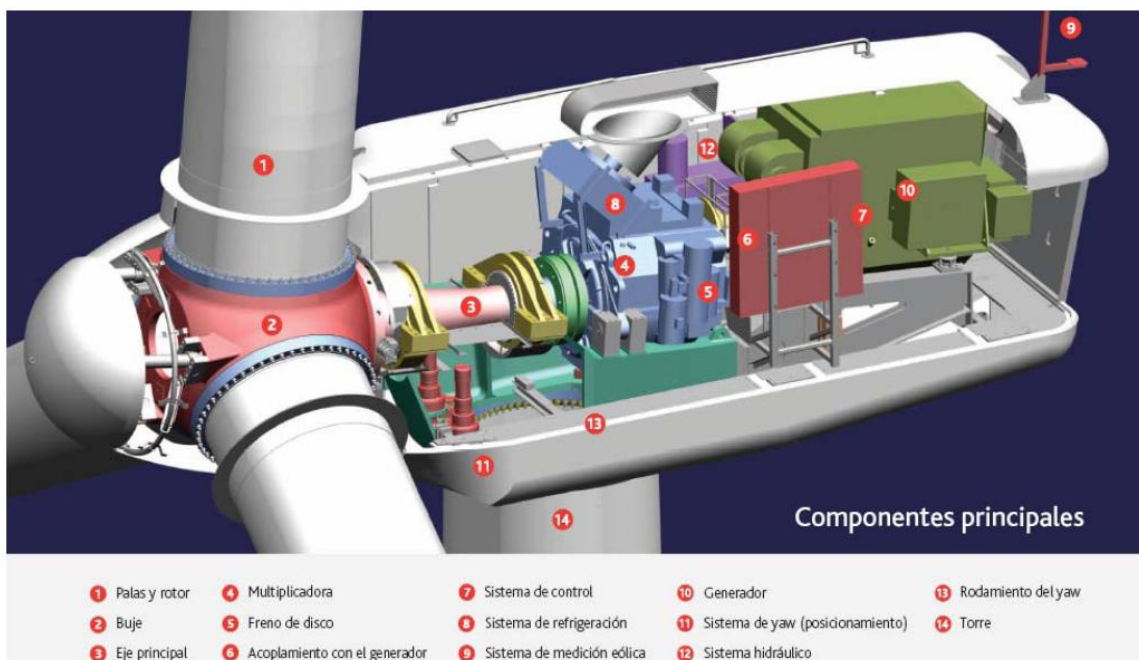


Figura 16. Esquema aerogenerador

### 5.1.1. Rotor eòlic

El rotor eòlic és el conjunt de components de l'aerogenerador que giren fora de la gòndola. Aquests components són les pales, la caixa i el mecanisme de canvi de pas de la pala.

El tipus de rotor més adequat en turbines eòliques dissenyades per produir energia elèctrica és el rotor tipus hèlix. El principi de funcionament aerodinàmic i estructural és similar al de les hèlix utilitzades en la tecnologia aeronàutica. El paràmetres més importants del rotor són l'angle de conicitat que és l'angle que forma l'eix longitudinal de la pala respecte al pla normal de l'eix de gir del rotor. Aquesta disposició de la pala fa que les forces centrífuges originades en la pala contraestimin els esforços aerodinàmics d'empenta.

L'altra aspecte important és la distància lliure entre la punta de la pala i el suport. Aquesta distància depèn de l'angle de conicitat, de la deformació elàstica de la pala quan està carregada i de l'angle d'inclinació de l'eix de rotació.

L'angle d'inclinació és l'angle que augmenta la distància lliure entre la punta de la pala i el suport, però ha de ser necessàriament petit ja que redueix l'àrea escombrada per el rotor.

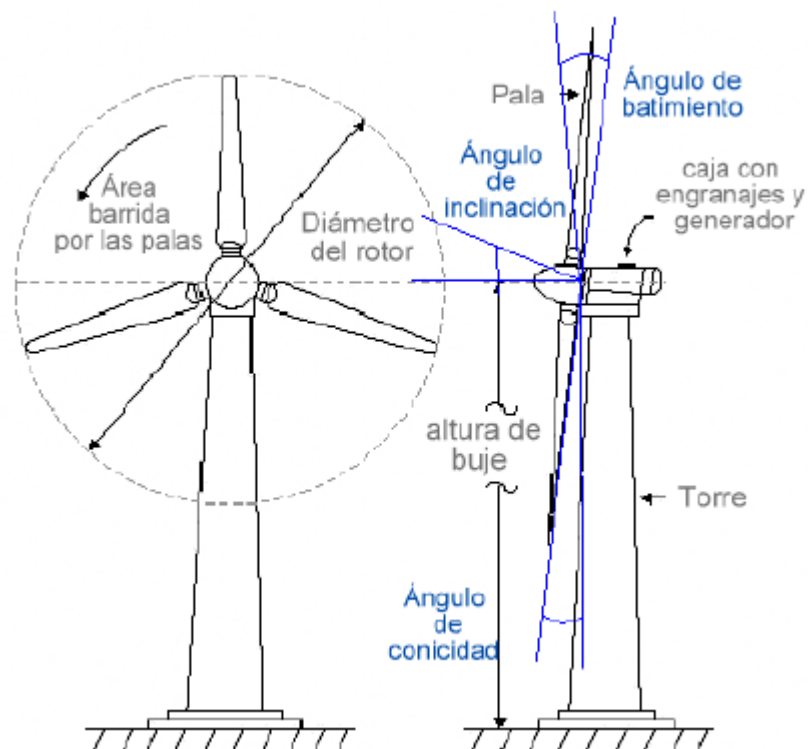


Figura 17. Parts de un aerogenerador

Es poden trobar aerogeneradors amb un número de pales comprès entre una i quatre. En general, un menor número de pales permet majors velocitats de gir del rotor que permeten que tant el generador com la caixa multiplicadora siguin de menor pes i volum. D'altra banda, la fressa produïda és proporcional a la velocitat de punta de la pala, pel que no s'hauran de superar els 80 m/s de velocitat de punta de pala. El rendiment augmenta amb el número de pales, ja que és més aerodinàmic, però es troba que a partir de les tres pales la diferència és molt petita. Aquest és el motiu pel qual no surt viable econòmicament afegir una quarta pala.

Els aerogeneradors tripala és la més desenvolupada a Europa. Presenta considerables avantatges en front a la resta d'opcions. La producció de potència presenta molt poques oscil·lacions durant una volta completa, les càrregues que apareixen tenen un major equilibri de forces giroscòpiques i els problemes de vibracions es redueixen, permetent l'ús de boixes més simples i rígides. A tot això, s'uneix una major suavitat de funcionament i un menor impacte visual, però, solen ser més pesades, complexes i difícils d'instal·lar.

### **5.1.2. Sistema de regulació de potència**

La turbina eòlica comença a donar potència a partir d'una velocitat del vent que permet vèncer les pèrdues de potència internes a la velocitat de gir mínima requerida per la generació elèctrica. A partir d'aquest moment resulta interessant controlar el pas de pales, si aquestes disposen de mecanisme de variació de pas, amb l'objectiu d'orientar òptimament les pales al vent. Una altra possibilitat addicional o substitutòria és que sigui possible anar augmentant la velocitat de gir del rotor a mesura que augmenta la velocitat del vent, el qual permet millorar el rendiment de l'extracció, però dificulta l'ús de la maquinària elèctrica. És necessari evitar sobrecarregar el tren de potència de la turbina, fonamentalment per par motor. És necessari també evitar una velocitat de gir excessiva que ocasioni sobreesforços centrífugues.

Finalment han de respectar els límits de funcionament del generador, generalment règim de gir i intensitat. Degut a la irregularitat del vent és necessari tenir mètodes passius i actius de control del aerogenerador.

El sistema de control necessari és el de protecció al vent excessiu, existeixen de dos tipus: control de canvi de pas i control per pèrdua aerodinàmica.

El control per canvi de pas (*pitch control*) es troba en els aerogeneradors de gran potència, tot i ser car i difícil d'ajustar, permet guanys apreciables de potència. Contra vents intensos ofereix protecció efectiva al permetre col·locar les pales en bandera (en direcció al vent). Les pales en aquest sistema són mòbils, i per regular la potència s'augmenta l'angle de pas, en lloc de reduir-lo, com succeeix en el control de pèrdua aerodinàmica activa.

El control per pèrdua aerodinàmica passiva (*stall control*) consisteix en utilitzar una fennòman natural dels perfils aerodinàmics, que consisteix en una brusca disminució de la sustentació (força que fa girar la pala) i associada un augment de la resistència (força que s'oposa al gir de la pala). Això passa quan l'angle d'atac de la corrent incident al perfil sobrepassa un cert valor. Així si un rotor gira a velocitat constant, al augmentar la velocitat de vent augmenta l'angle d'atac, amb el que a partir d'una certa velocitat apareix la pèrdua aerodinàmica, limitant-se de forma natural el par que apareix a l'eix. Degut a que pugui resultar insuficient, s'afegeixen frens aerodinàmics.

El control per pèrdua aerodinàmica activa (*active stall control*) les pales són mòbils. Per controlar la potència, a mesura que augmenta la velocitat, es disminueix l'angle de pas, que equival a augmentar l'angle d'atac i portar les pales a la zona de pèrdua. Les avantatges d'aquest sistema són que afavoreix l'engegada i que durant l'operació estacionària les càrregues són baixes. A l'augmentar la velocitat, les càrregues creixen ràpidament.



Figura 18. Corbes de potència per regulació, pitch, stall i pitch-stall

### 5.1.3. Sistema de transmissió

El sistema de transmissió o el tren de potència es constitueixen per tots els components de la turbina que transmeten par mecànic a l'eix de gir.

A la majoria dels dissenys, la velocitat de gir de la turbina no es correspon amb la velocitat de gir del generador i és necessari incloure una caixa multiplicadora. El cos de baixa velocitat d'aquest element s'uneix al rotor eòlic a través de l'eix primari o eix lent i el cos d'alta velocitat al generador elèctric mitjançant l'eix secundari o eix ràpid.

Les funcions del tren de potència no es limiten en transmetre la potència mecànica amb el major rendiment possible, sinó que els seus components han d'estar dissenyats per suportar els esforços transmesos pel rotor eòlic. Per altra banda, un disseny del tren de potència ha de garantir que tots els seus elements siguin de fàcil muntatge i substitució en cas d'averia.

El freno mecànic també s'ha d'utilitzar com a freno secundari de recolzament a l'aerodinàmic que incorporen turbines de certa potència. En turbines d'elevada potència el fre mecànic s'utilitza només per funcions de bloqueig, ja que un disseny d'aquest component durant processos de parada suposaria unes dimensions dels discs excessivament grans. La constitució física del fre, basa en un disc que gira sol respecte a l'eix de transmissió i és frenat quan les pastilles freguen amb el disc quan s'activen, via elèctrica, hidràulica o neumàtica.

La caixa multiplicadora és necessària, ja que els règims de gir del rotor i el generador són diferents. La majoria de turbines eòliques disposen d'un sistema d'acoblament, format per una caixa de gir lent, una multiplicadora i una caixa de gir ràpid. Existeixen diferents tipus de caixes multiplicadores, d'engranatges rectes i helicoïdals. La necessitat de transmissió requereixen al menys de dos o tres etapes de multiplicació.

#### **5.1.4. Suports**

A l'hora del disseny del suport, també anomenat torre, el paràmetre més important a tenir en compte, és l'altura. Com més altura tingui, la producció d'energia de la turbina també augmentarà, però incrementa proporcionalment el cost i la dificultat de instal·lació. La torre ha de ser suficientment rígida com per suportar les càrregues transmeses pel rotor eòlic.

Els primers aerogeneradors solien ser de gelosia (estructures metàl·liques com les d'alta tensió), són de fàcil muntatge i cost reduït. Però, amb els anys els aerogeneradors han anat augmentant la seva mida, motiu que ha comportat a augmentar la mida de les torres. La gran avantatge d'aquests nous suports són que disposen d'un cert volum al seu interior que



permet allotjar determinats equips resguardats de les condicions climatològiques. A la següent figura podem observar que l'impacta visual d'una torre de gelosia és superior.



Figura 19. Torre d'acer tubular (esquerre) i torre de gelosia (dreta)

L'accessibilitat tant al rotor com als equips de la gòndola són molt importants. Per turbines petites amb torres d'altura inferior a 15m existeixen escales exteriors, en canvi, quan l'altura supera els 30m s'utilitzen escales interiors. Les turbines actuals que superen els 60m, disposen, a vegades, d'ascensor si el disseny és tubular des de l'interior o exterior si és de formigó.

#### 5.1.5. Sistema d'orientació

El sistema d'orientació és el dispositiu que s'utilitza per girar el rotor i la gòndola de tal manera que el vent incideixi de la forma més perpendicular possible al pla de gir de les pales. Aquest sistema d'orientació actiu utilitza motors elèctrics o sistemes hidràulics per efectuar el moviment del rotor.

Aquests sistemes normalment estant constituïts de dos motors un que fa el gir a dretes i l'altra al sentit contrari. La velocitat de gir d'orientació no ha de ser elevada, els criteris depenen de la mida de la turbina i el vent. Habitualment la velocitat d'alienació de la gòndola ha d'estar acotada entre valors de 0,5 graus/segon.

El sistema d'orientació amb un penell que ens diu la direcció del vent i es compara amb l'angle de gir de la gòndola. El moviment d'orientació es realitza en funció de la diferència d'ambdós valors, si la diferència és inferior a un determinat valor no es pren cap acció, en canvi, si és superior, el temps de correcció respon a una funció predeterminada. Si la diferència és molt important ( $50^\circ$  aproximadament), la orientació s'efectua instantàniament.

### 5.1.6. Generador elèctric

El generador elèctric és l'element principal a partir del qual es dimensionen els elements restants. Hi han tres tipus d'aerogeneradors: de corrent contínua, alterna i síncrons o asíncrons (d'inducció).

Els generadors de corrent contínua estan pensats per aplicacions de petita potència, on l'energia produïda s'emmagatzema en bateries en instal·lacions aïllades.

En canvi, els aerogeneradors de gran potència utilitzen generadors asíncrons (velocitat constant) o generadors síncrons (velocitat variable). Els generadors síncrons són de velocitat variable, permeten optimitzar la captació d'energia per velocitat de rotació inferiors a la velocitat nominal. Degut a la variació de la velocitat de gir del generador, la freqüència també varia, i per tant, és necessari un sistema d'acoblament entre generador i xarxa elèctrica. Les avantatges d'aquest tipus de generador són que és autoexcitable i que la potència extreta és d'alta qualitat.

### 5.2. Selecció de l'aerogenerador

A l'hora d'escollir els aerogeneradors que s'implantaràn en el parc, s'ha de fer seleccionant-los segons el tipus d'emplaçament, tal i com es defineix a la norma IEC-64100, de modelat de vent en condicions normals.

Classe	Velocitat mitjana (m/s)	Velocitat màxima anual (m/s)	Velocitat extrema
I	10,00	50,00	70,00
II	8,50	42,50	59,50
III	7,50	37,50	52,50
IV	6,00	30,00	42,00

Taula 4. Classes de vent segons emplaçament

A partir de la informació que s'ha extret a través de les mesures obtingudes durant un any del vent, s'ha escollit els aerogeneradors per un vent de classe III. Els recursos tècnics i econòmics són els principals criteris per la valorització dels aerogeneradors però també s'ha de tenir en compte la potència total que s'instal·li i la capacitat de la xarxa elèctrica a la que s'evacuarà l'electricitat generada en el parc.

Per tal d'escollir un aerogenerador s'ha fet un petit estudi de mercat on es comparen quatre models d'aerogeneradors de tres tecnologies diferents, Vestas (V-90 de 2MW), General Electric 1,7-100 (1,7MW) i Gamesa (G90 de 2MW).

El disseny d'aquestes tres màquines s'ajusta a les condicions de l'emplaçament, definides per la norma IEC-61400, de modelat de vent en condicions normals, en quant a velocitats màximes, turbulències i velocitat mitja anual.

Models	V-90	GE 1.7-100	Gamesa G90
Classe IEC	III	III	III
Potència unitària (kW)	2.000	1.700	2.000
Diàmetre rotor (m)	90	103	90
Alçada de la caixa (m)	80	80	78
Cut in speed (m/s)	4	4	3
Cut off speed (m/s)	25	25	21
Àrea escombrada (m <sup>2</sup> )	6.362	7.854	6.362
Preu unitari (M€)	2,159	1,522	

Taula 5. Comparativa models aerogeneradors

Observant la taula anterior i donant importància a la potència unitària, es realitza una comparativa de la corba de potència dels models de 2.000 kW de Gamesa i Vestas.

Amb el següent gràfic es pot veure la diferència que presenten les dues corbes de potència. L'aerogenerador Gamesa té un major rendiment a baixes velocitats de vent a diferència del model de Vestas. Si s'agafa com a referència els 6 m/s, s'extreu que amb el model de Vestas s'obtidria una potència inferior als 400 kW, en canvi, el model d'aerogenerador de Gamesa, a més de començar a generar 1 m/s abans, amb 6 m/s, supera els 400 kW.

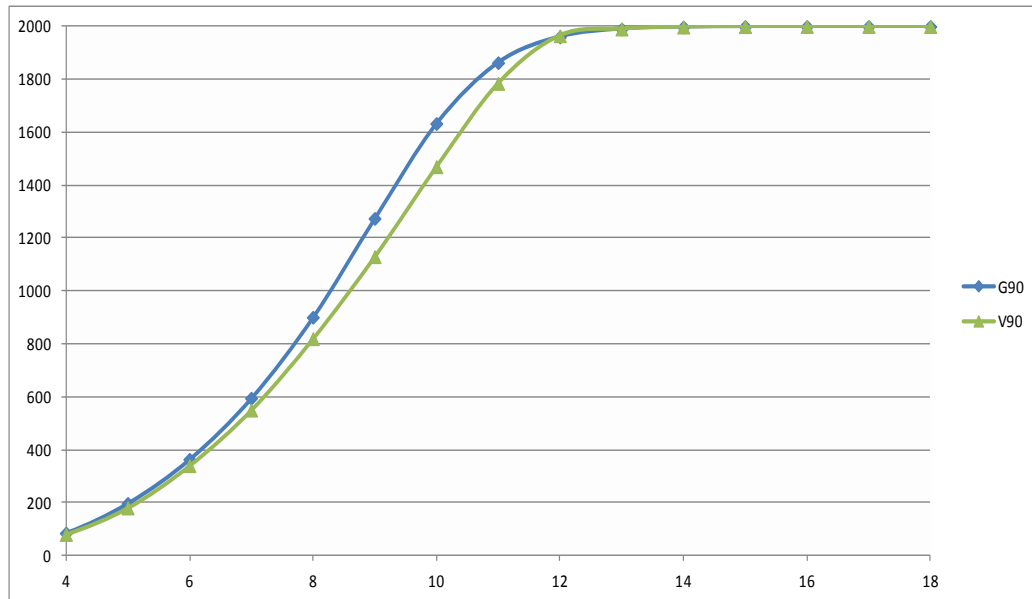


Figura 20. Comparativa entre Gamesa G90 i Vestas V90

Analitzant els camps anteriors, el model que millor satisfà les necessitats especificades anteriorment és el model de Gamesa G90 de 2.0MW.

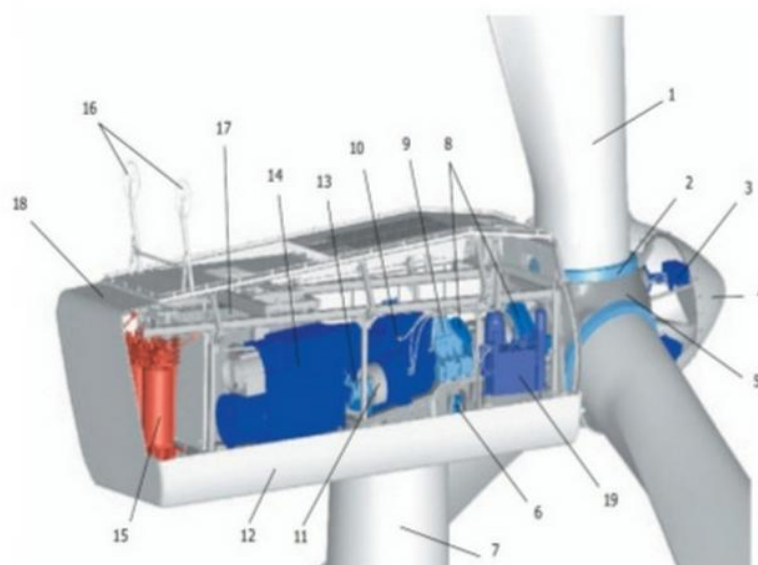
El parc eòlic estarà constituït per un total de 10 aerogeneradors Gamesa G90 de 2.000 kW de potència unitària i una altura de 78 m. La potència instal·lada del parc serà de 20 MW.

### 5.3. Descripció tècnica de l'aerogenerador Gamesa

L'aerogenerador Gamesa G90 és un aerogenerador de pas i velocitat variable. Constituït essencialment per una turbina eòlica, una caixa multiplicadora i un generador elèctric situats a la part superior d'una torre d'acer de 78m cimentada sobre una base de formigó armat.

El model G90 de Gamesa és un aerogenerador amb un disseny aerodinàmic de punta de pala i un disseny de components mecànics que minimitzen la fressa emesa, gràcies a un sistema de control de soroll que permet programar el soroll segons criteris de data, hora o direcció del vent, d'aquesta manera aconseguix complir les normatives locals amb una producció màxima. Les seves pales són més lleugeres per la utilització de materials com la fibra de vidre, carbono i preimpregnats. Compleix amb tots els requisits principals de connexió a la xarxa.

Un esquema del model G90, amb tots els components seria la següent:



1 Àlep	8 Eix principal amb dos rodaments	15 Transformador
2 Rodaments àleps	9 Esmorteïdors	16 Anemòmetre
3 Activador hidràulic	10 Multiplicadora	17 Armari de control
4 Coberta de la caixa	11 Fre de disc principal	18 Coberta gòndola
5 Caixa	12 Suport de la gòndola	19 Unitat hidràulica
6 Control orientació	13 Transmissió	
7 Torre	14 Generador doblement alimentat	

Figura 21. Esquema de l'aerogenerador Gamesa G90

La turbina té un rotor de 90m de diàmetre i està equipada amb tres àleps aerodinàmics de pas variable controlat per un microprocessador. Mitjançant un multiplicador mecànic, s'acobla a un generador doblement alimentat amb un rotor debanat i anell lliscants, de quatre pols i de 2 MW de potència unitària.

Aquests equips estan situats a l'interior de la gòndola col·locada sobre la torre mecànica, amb la disposició que es pot observar a la Figura 17. La gòndola o també coneguda com *nacelle*, està construïda sobre un bastidor realitzat en perfils tubulars.

L'eix principal està suportat per dos rodaments muntats en allotjaments, els quals absorbeixen les forces radials i axials que provenen del rotor. La caixa del rotor és muntada, mitjançant cargols, directament a l'eix principal.

Els àleps estan collats als coixinets assegurant que puguin pivotar fàcilment. Cada àlep disposa d'un cilindre hidràulic que acciona el moviment de canvi de pas de manera independent, tot i que manté el mateix angle d'atac per els tres àleps.

El multiplicador, fabricat a mesura, és instal·lat darrera de l'eix principal. El suport del multiplicador transfereix tots els esforços des de la part frontal a la base del bastidor, i d'allà a la torre com element estructural principal. El fre de disc, dissenyat per ser acoblat en l'eix d'alta velocitat (de sortida) del multiplicador, consta de sis sistemes hidràulics amb pastilles de fre sense amiant. El generador doblement alternat és activat per l'eix de sortida del multiplicador mitjançant un acoblament amb junta de *composite*.

L'activador hidràulic alimenta al sistema de fre i el sistema de control de pas variable o angle d'atac. L'orientació s'aconsegueix mitjançant quatre motors elèctrics instal·lats a la base del bastidor. Aquests motors engranen amb la corona d'orientació cargolada a la part superior de la torre mitjançant engranatges reductors. L'orientació està controlada mitjançant la senyal obtinguda de penells col·locades sobre el sostre de la gòndola.

### **5.3.1. Rotor**

El rotor està constituït per tres àleps dissenyades amb perfil aerodinàmic construïdes a base de resines epoxy amb fibra de vidre, i una caixa central protegida per una coberta de fibra de vidre. El rotor es posa en moviment quan la velocitat de vent és superior a 3 m/s. Les principals característiques estan a la següent taula:

Diàmetre	90 m
Àrea d'escombrada	6.362 m <sup>2</sup>
Interval de rotació	9,0 - 19,0 rpm
Sentit de gir	Senti horari
Orientació	Segons baròmetre
Número d'àleps	3
Altura eix principal	78 m
Frens aerodinàmics	Posició bandera

Taula 6. Característiques del rotor Gamesa G90

Les pales estan fabricades amb un material compostat amb resina epoxy i fibra de vidre. L'estructura de les pales de l'aerogenerador es constitueix amb un travesser inferior, al qual s'enganxen dos superfícies exteriors a mode de cobertes. El travesser és l'element estructural de l'àlep, mentre que les cobertes plegades posseeixen funció aerodinàmica, convertint la força del vent en par motor per accionar la màquina.

Les pales tenen un sistema de parallamps que recullen les descàrregues elèctriques que les transmeten, via un cable d'acer que recórrer longitudinalment la pala fins la caixa, des de on circulen pels conductors de protecció fins la posada a terra de l'aerogenerador. Les característiques dels àleps es detallen a continuació:

Longitud	44 m
Tipus de perfil	DU i FFA-W3
Pes àlep	5.800 kg

Taula 7. Característiques de l'àlep

Per lo general, el mode normal de funcionament dels aerogeneradors asíncrons és a velocitat constant. Un generador d'inducció funciona amb una velocitat casi constant, normalment entre el 100% i el 101% de la velocitat nominal. Per un generador de quatre pols, això significa treballar amb velocitats que varien des de 1.500 rpm (sense càrrega) fins a 1.515 rpm (a plena càrrega) a una freqüència de 50 Hz. Aquesta petita variació es considera insignificant, raó per la qual aquest mode d'operació es denomina velocitat constant.

Quan el vent canvia la seva velocitat canvia proporcionalment la potència de sortida. Quan s'arriba a la potència nominal les fluctuacions de potència son indesitjables. La regulació de pas de pala ajuda que la potència màxima estigui limitada a la nominal, en condicions

elevada de velocitat de vent. Amb un generador de velocitat fixa les fluctuacions de potència són tant ràpides que només és possible mantenir la potència mitja constant. Al ser de velocitat fixa, aquestes ràpides fluctuacions es tradueixen en càrregues mecàniques sobre tota la cadena cinemàtica que escurcin la vida de la turbina. El concepte de velocitat variable utilitzat en el model G90 possibilita variar electrònicament el gir del generador (9-19 rpm) amb el que es redueixen al mínim les càrregues.

La regulació de potència ve determinada per el pas variable de les pales i per la regulació de la velocitat del generador controlat per un microprocessador. A baixes velocitats la pala s'orienta per tal de presentar la màxima superfície en direcció del vent dominant. A mesura que la velocitat del vent augmenta, aquesta superfície es redueix canviant l'angle d'orientació. Si la velocitat del vent supera els 21 m/s, les pales giren totalment en posició bandera per tal d'oferir la menor resistència possible al vent i deixen de rotar com a mesura de seguretat. Les pales es cargolen sobre una peça del suport d'acer que pot pivotar sobre la caixa amb una activació hidràulica, mitjançant un conjunt de bieles. Amb aquest sistema s'aconsegueix arrencar sense motor i menys esforços sobre l'estructura, tant en el funcionament com en el frenat. També amb aquest sistema, s'augmenta la potència a altes i baixes velocitats del vent.

### 5.3.2. Sistema de transmissió i generador

La caixa, suport de les pales, es collada a l'eix principal del sistema al qual està suportat per dos suports de rodets esfèrics que absorbeixen els esforços axials i radials del motor. L'esforç de rotació generat pel rotor es transmet fins la caixa de multiplicació on la relació de transmissió és 1:100,5. Les característiques del multiplicador són:

Tipus	Etapa planetària i 2 helicoïdals
Relació de transmissió	02:40,5
Potència mecànica	2.200 kW
Refrigeració	Bomba d'oli amb intercanviador
Escalfador d'oli	2,2 kW
Arbre de baixa velocitat	Arbre buit
Dimensions	1,8 x 1,8 x 1,8 m <sup>3</sup>

Taula 8. Característiques sistema de transmissió

L'eix d'alta velocitat, a la sortida del multiplicador, acciona el generador i té fixa el fre mecànic del disc. L'acoblament absorbeix els desplaçaments radials, axials i angulars entre



els eixos del multiplicador i generador, assegurant un alineament precís i la màxima transmissió d'esforç de rotació del multiplicador.

El generador és doblement alimentat amb rotor debanat i anell lliscants, de quatre pols, 2000kW de potència, tensió de 690 V, en el debanat d'estator i 480 V a la sortida del convertidor de freqüències connectats entre el rotor i el transformador de BT/MT, velocitat de rotació variable (900:1.900 rpm) i freqüència de 50 Hz. Les principals característiques venen representades a la següent taula:

Potència	2.000 kW
Voltatge	690 V
Freqüència	50 Hz
Classe d'aïllament	H/H
Classe de protecció	IP54
Número de pols	4
Velocitat nominal plena càrrega	1.680 rpm
Intensitat estator	1.500 A (690 V)
Intensitat rotor	260 A (480 V)
Connexió estator	Y a baixa potència, $\Delta$ a alta potència
Connexió rotor	Y
Factor de potència	0,98 <sub>CAP</sub> - 0,96 <sub>IND</sub>

Taula 9. Característiques generador

### 5.3.3. Sistema de frenada

L'aerogenerador està equipat amb dos sistemes independents de frenada (aerodinàmic i mecànic) activats hidràulicament.

El sistema de regulació de pas, també conegut com *pitch*, de les pales s'utilitza per parar la turbina, ja que quan les pales giren 90° sobre el seu eix longitudinal, el rotor no presenta superfície front el vent i para el gir del rotor.

D'altra banda, el sistema de frenada mecànica incorpora un fre de disc hidràulic a l'eix d'alta velocitat, integrat per un disc de fre i sis calibradors hidràulics, amb pastilles de fre sense amiant. Les principals característiques del fre són les següents:

Tipus	Fre de disc
Diàmetre	600 mm
Calibradors	6, activats hidràulicament
Material del disc	Acer-SJV300

Taula 10. Característiques del sistema de fre

Ambdós sistemes funcionen a partir de la unitat hidràulica situada a la part davantera de la gòndola. Podem distingir en dos tipus de frenada: Frenada normal i frenada d'emergència.

El frenat normal, en operació, només s'utilitza el sistema de regulació de pas de les pales per realitzar el frenat de control a baixa pressió hidràulica. S'aconsegueix reduir al mínim les càrregues sobre la turbina i s'allarga la vida al sistema.

El frenat d'emergència s'usa en situacions crítiques, per la posada d'emergència de les pales. L'actuació del fre mecànic està previst com fre d'aparcament de la màquina per manteniment.

El procés de frenat està garantit per una unitat hidràulica, que manté una reserva permanent d'energia emmagatzemant fluid a pressió en acumuladors, estant sempre disponibles independentment dels subministrament elèctric.

#### **5.3.4. Sistema d'orientació**

L'aerogenerador disposa d'un sistema d'orientació elèctric actiu. L'alineació de la gòndola front al vent, s'efectua per mitjà de quatre motors que engranen la corona d'orientació de la torre. La corona és una roda dentada cargolada a la torre. Els penells, situats sobre la coberta de la gòndola, envien una senyal al controlador i aquest acciona els motors d'orientació que pivoten a una velocitat de 0,5°/seg.

També està instal·lat un sistema antitorsió del cablejat que comunica la gòndola amb la torre, de mode que quan arribi a un cert grau de torsió, automàticament es produeixi un gir contrari fins tornar a la posició inicial.

### 5.3.5. Gòndola

Tots els elements mecànics i elèctrics de l'aerogenerador estan situats dins de la gòndola. La gòndola està composta per la part davantera que està dividida en dos peces de fusió cargolades on es fixen els suports de l'eix central.

El bastidor de darrera es compon de dos bigues unides per la seva part davantera i de darrera. Sobre elles descansen el generador, el quadre de control i el transformador. L'accés a la gòndola des de la torre es realitza mitjançant una obertura practicada en el terra sobre els elements citats anteriorment.

El pes total de la gòndola, amb tots els equips que conté, és de 65 Tm. A més dels components citats anteriorment, la gòndola també conté mecanisme per la mesura del vent i la seva direcció connectats a la unitat de control per optimitzar la producció energètica de l'aerogenerador.

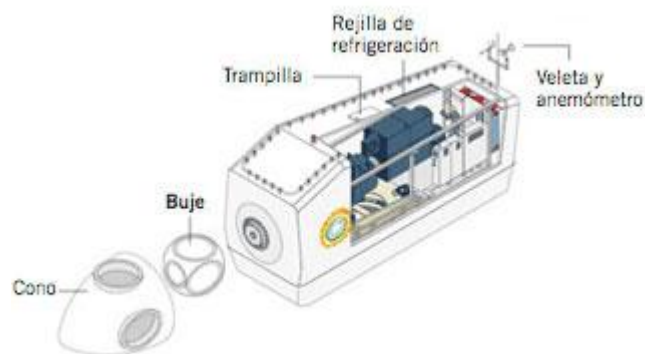


Figura 22. Esquema de la gòndola

Tota aquesta maquinària, a excepció dels sensors de vent, està protegida per una coberta tancada, de fibra de vidre, que protegeix els diversos components contra les condicions atmosfèriques, al mateix temps que redueix la fressa de l'aerogenerador. Incorpora forats de ventilació suficients per garantir una bona refrigeració del multiplicador i el generador, tal i com es pot observar a la Figura 22.

### 5.3.6. Torre

L'aerogenerador està suportat per una torre metàl·lica tubular troncocònica d'acer, de 78 m d'alçada, metal·litzada i pintada. El diàmetre de la base és de 4,03 m i 2,31 m el de coronació. El pes total de la torre és de 200 Tm.

En el seu interior es disposa d'una escala per accedir a la gòndola, equipada amb dispositius de seguretat i plataformes de descans i protecció. Conta també, amb elements de pas i fixació de cablejat elèctric i instal·lació auxiliar d'il·luminació. A la part inferior té una porta que dóna accés a la plataforma de base, on es situen la cel·la de connexió amb la xarxa de mitja tensió i el quadre de control inferior.

La torre es construeix en quatre trams que s'uneixen mitjançant brides cargolades, sent elevades amb grua els diversos trams. El tram de base de la torre s'uneix a la cimentació de formigó armat a través d'una virola embeguda a ella mateixa.

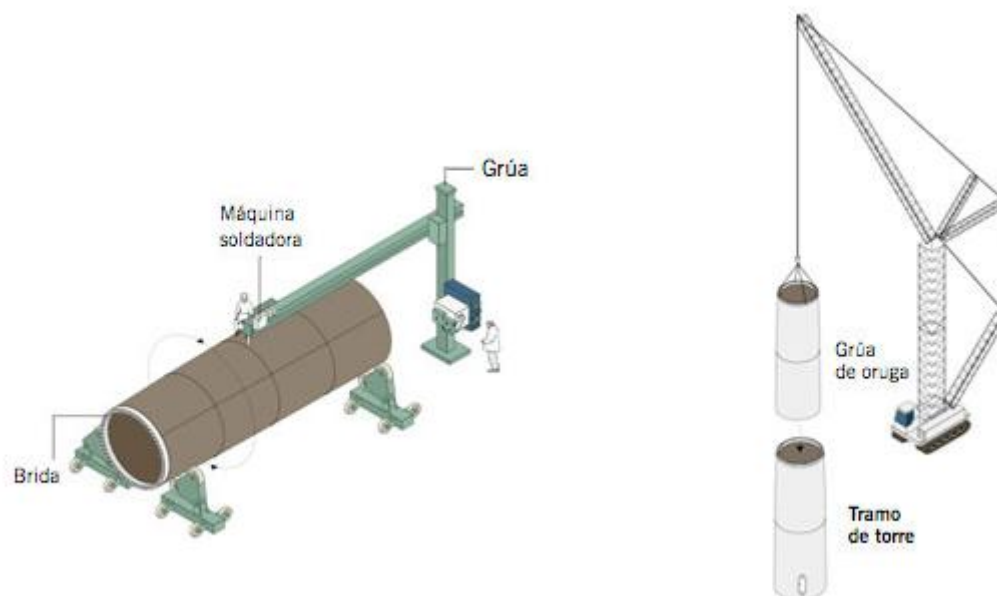


Figura 23. Parts i muntatge de la torre

La pintura de protecció utilitzada a la torre és metal·litzada amb un pintat classe anticorrosiu C4 (segons ISO 19.944) a l'exterior i C3 (segons ISO 12.944-2) a l'interior.

El pes total de l'aerogenerador, sense tenir en compte la cimentació, és de 305.200 kg, desglossats en els següents termes:

Rotor complet (boixa + àleps)	40.200 kg
Gòndola completa (sense rotor)	65.000 kg
Torre	200.000 kg

Taula 11. Pesos de l'aerogenerador desglossats

### 5.3.7. Unitat de control i mesura

La unitat de control i potència, basada en el control INGECON-W, controla totes les funcions crítiques de l'aerogenerador amb l'objectiu d'optimitzar, en tot moment, el funcionament de l'aerogenerador en tota la gama de velocitats de vent. Essencialment, el sistema de control intenta maximitzar la producció a qualsevol règim de treball. Per tal d'aconseguir-ho, el sistema de control escull l'angle d'atac dels àleps i el règim de gir del generador elèctric en cada circumstància, al mateix temps també es redueixen els esforços mecànics a tota l'estructura.

Segons la velocitat del vent, es poden diferenciar quatre moments diferents a la regulació. En primer lloc, quan la velocitat del vent és inferior a la d'arrencada (3m/s), però pròxima a aquesta, el sistema de control col·loca les pales amb un angle d'atac a prop dels 45° que proporciona un parell d'arrencada suficientment alt. A mesura que la velocitat del vent augmenta, el rotor augmenta el seu règim de gir i es va reduint l'angle d'atac fins que a s'arribin a les condicions adequades per la connexió a la xarxa.

A velocitats de vent mitjanes el sistema de control escull la velocitat de rotació i l'angle de pas més adequats per maximitzar la producció.

En tercer lloc, quan es supera la velocitat nominal, el sistema de control canvia l'angle de pas per mantenir l'entrada de potència constant i, per tant, també la sortida de potència elèctrica. I, per últim, quan la velocitat del vent supera la màxima admissible per la màquina (21 m/s), el generador es desconnecta i l'angle d'atac es modifica fins posar en bandera les pales, no tornant a connectar la màquina fins que la velocitat de vent redueix als 18m/s.

El sistema de control, INGECON-W, assegura que les revolucions i el parell motor de l'aerogenerador sempre subministrin una potència elèctrica estable a la xarxa. Aquest sistema, a més, permet regular de forma dinàmica el factor de potència de la instal·lació.

Està format per un generador asíncron tetrapolar de rotor debanat amb anells lliscants i dos convertidors electrònics de funcionament a quatre quadrants amb dispositius semiconductors IGBT, contactor i proteccions. El generador es protegeix front a curtcircuits i sobrecàrregues monitoritzant contínuament les temperatures, amb sondes PT-100, en els punts calents de l'estator i en els coixinets. La corrent de xarxa és rectificadada i després invertida de nou però a una freqüència variable adaptada al règim de gir, de manera que en tot moment la tensió en borns de l'estator estigui en el valor fixat. Amb el generador asíncron de doble alimentació és possible controlar el factor de potència de la instal·lació, de manera que ja no sigui necessari utilitzar bateries de condensadors per compensar-lo.

### 5.3.8. Corba de potència de l'aerogenerador

La corba de potència de l'aerogenerador Gamesa G90 ve donada per el càlcul de producció per una densitat de l'aire de  $1,14 \text{ kg/m}^3$  i una intensitat de turbulència entre un 10% i un 15%. Les dades donades per el fabricant són les següents:

Velocitat (m/s)	Potència (kW)
3	21,30
4	84,90
5	197,30
6	363,80
7	594,90
8	900,80
9	1.274,40
10	1.633,00
11	1.863,00
12	1.960,40
13	1.990,40
14	1.997,90
15	1.999,60
16	1.999,90
17	2.000,00
18-23	2.000,00

Taula 12. Valors discrets de la corba de potència

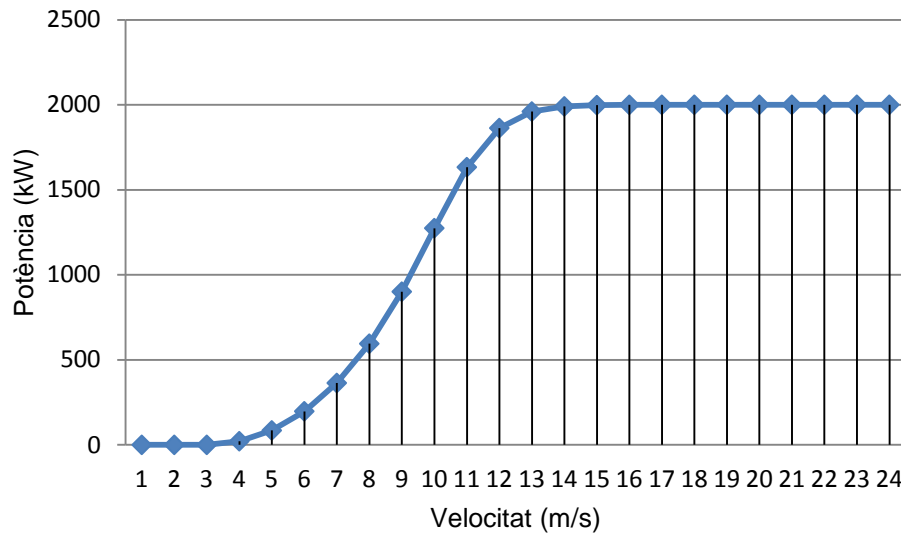


Figura 24. Corba de potència de l'aerogenerador

#### 5.4. Estimació energia produïda

L'energia capturada per cada aerogenerador es dona a la Taula 12. La velocitat del vent en la posició d l'aerogenerador no inclou els efectes estela i les energies per cada turbina inclouen únicament l'efecte topogràfic, l'efecte estela i un ajust per densitat d'aire.

L'efecte estela és causat pel rastre que deixen els aerogeneradors quan hi circula l'aire a través dels àleps. És per això, que és important el disseny de la implantació de les turbines les distàncies entre elles, ja que es podrien provocar pèrdues per aquest efecte.

El càlcul de producció de l'energia ve donada per una estimació a partir de la velocitat mitjana del vent, 6,10 m/s. De la corba de potència de l'aerogenerador es dedueix que la potència que s'obté és de 400 kW. Per tant, la producció per 6.132 h/any, un 70% de les hores anuals, serà de 2,45 GW per cada aerogenerador, si es disposa de 10 aerogeneradors, l'energia total teòrica serà de 24.528,8 MW.

Aquesta energia que hem obtingut, és l'energia teòrica del parc. Per tal, d'obtenir una estimació més precisa de l'energia generada, s'ha d'aplicar uns factors de correcció per pèrdues per indisponibilitat de màquines, pèrdues per transport i pèrdues per manteniment.

Les pèrdues per indisponibilitat de màquines contemplen possibles averies que pateixen els aerogeneradors i que poden impedir el seu funcionament durant el temps que duri l'averia i

la reparació així com els temps que es mantenen inactius mentre es realitza en ells labors de 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 d'evacuació de parc i dins del propi parc en la xarxa de mitja tensió. Aquestes pèrdues són majoritàriament degudes al calor (Efecte Joule) per la intensitat que circula pels conductors. El factor de correcció serà de 0,97.

Les pèrdues per manteniment contemplen tots els moments en que el conjunt no pot estar treballant degut a una parada per el manteniment de qualsevol dels seus components. Ja sigui un manteniment preventiu com un manteniment estipulat a partir d'una sèrie d'hores de treball. El factor de correcció serà de 0,97.

Contemplant i aplicant els factors exposats anteriorment, tenim una potència total estimada del parc eòlic de 23.316,3 MW·h.

### **5.5. Esquema d'implantació del parc eòlic**

Com a norma general, la distribució del parc està condicionada per la separació entre aerogeneradors. S'han de col·locar a una distància adequada un dels altres, perquè no interfereixin entre sí, des del punt de vista aerodinàmic i per optimitzar l'ús del terreny disponible en funció de la exposició del vent.

A mesura de lo possible, la separació entre aerogeneradors en un parc eòlic és de 5 a 9 vegades el radi del rotor en la direcció dels vents dominants, i de 3 a 5 vegades en la direcció perpendicular dels vents dominants. Aproximadament, la separació entre aquests serà de 270 m (6 vegades el radi del rotor en ambdues direccions).

A la següent figura es mostra el mapa de l'emplaçament amb les posicions dels 10 aerogeneradors que conformen el parc i les coordenades de cada aerogenerador. Els aerogeneradors estaran distribuïts elèctricament en dues línies de 5 aerogeneradors cadascun.



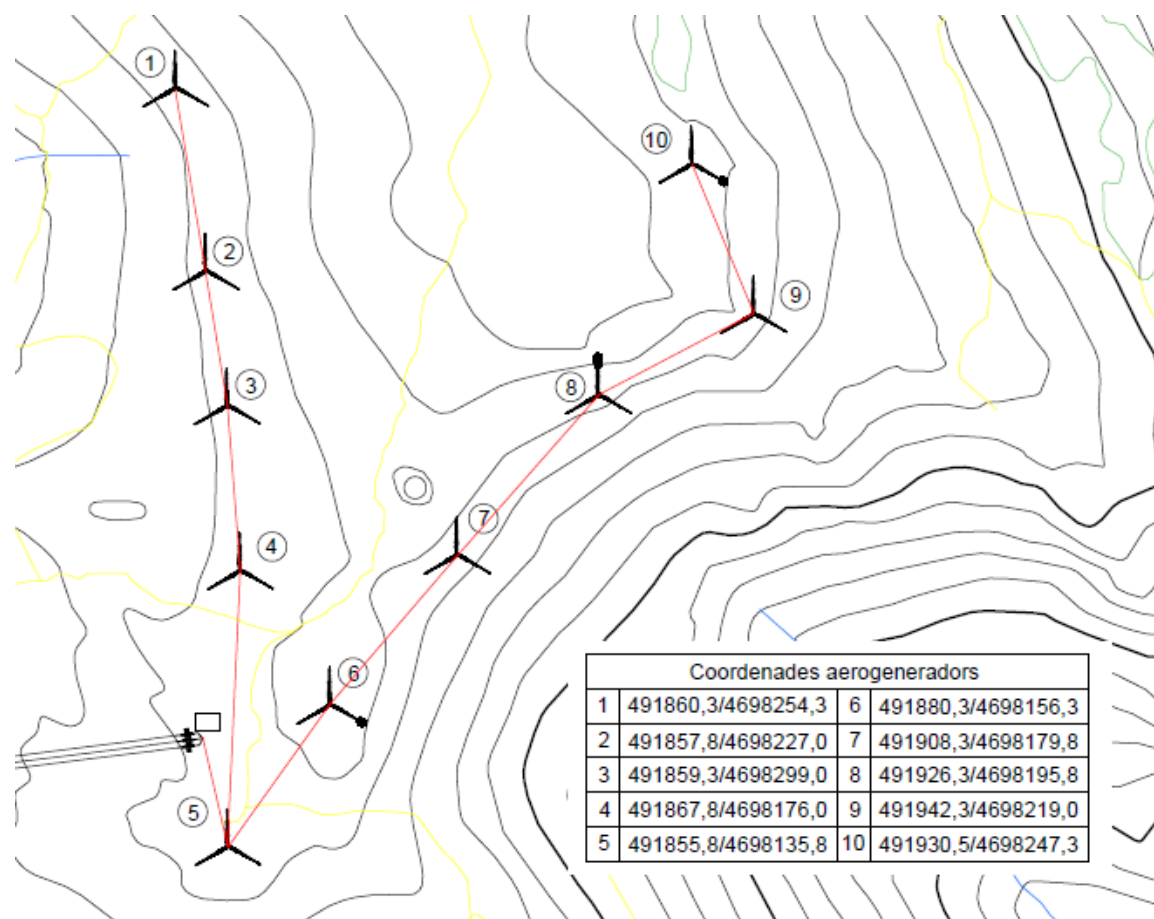


Figura 25. Esquema implantació i coordenades parc eòlic

## 6. INSTAL·LACIÓ D'HIDROGEN

Per instal·lar l'equip que farà possible la generació d'hidrogen, serà necessari habilitar una zona del parc. S'analitzaran els elements necessaris i es realitzarà la selecció de les característiques que han de complir aquests elements, així com l'elecció en el mercat existent dels apartats que millor s'adaptin a les característiques del parc eòlic.

El funcionament que seguirà la instal·lació, com es pot observar a la Figura 26, és el següent. L'electricitat generada pels aerogeneradors, es condueix a un transformador que disminueix la tensió de 20 kV a 400 V, seguidament l'energia elèctrica alimenta l'electrolitzador. Aquest, utilitzant l'electricitat i l'aigua que se li aporta a través d'un dipòsit, produeix hidrogen a baixa pressió. L'hidrogen posteriorment és canalitzat amb la finalitat de ser emmagatzemat a la xarxa de gas natural.

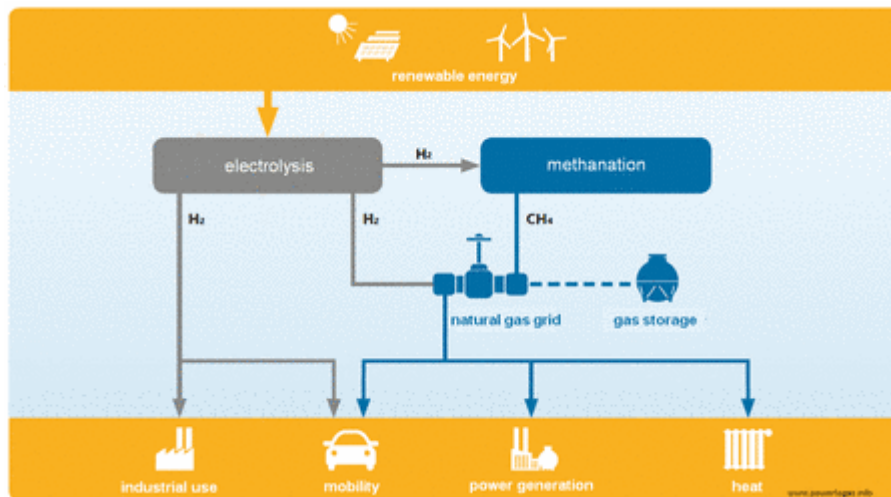


Figura 26. Esquema power to gas

### 6.1. Transformador

L'energia elèctrica generada en els aerogeneradors del parc s'evacua al centre de control a una tensió de 20 kV. Per poder subministrar energia a l'electrolitzador, s'haurà de reduir a 400 V. S'incorporarà un interruptor a la sortida de cada aerogenerador a la línia que uneix un aerogenerador amb un altre formant la línia de 20 kV que va al centre de control. A l'entrada del transformador de l'electrolitzador hi haurà un interruptor que serà el que doni pas a la producció d'hidrogen. Aquest transformador estarà connectat a la línia de 20 kV, on serà reduït de 20 kV a 400 V, tensió de treball de l'electrolitzador.

D'aquesta manera, quan s'estigui generant hidrogen es podrà decidir quin aerogeneradors estaran donant energia a l'electrolitzador.

## **6.2. Electrolitzador**

L'energia elèctrica generada per l'aerogenerador alimenta l'electrolitzador, en el qual s'utilitzarà per realitzar electròlisi de l'aigua per produir hidrogen. L'electrolitzador serà utilitzat per treballar a potència elevada, superior als 200 kW, l'hidrogen generat s'utilitzarà per ser injectat posteriorment a la xarxa de gas natural espanyola.

L'electròlisi és un dels processos més nets per obtenir hidrogen, a més d'obtenir hidrogen de gran puresa. Consisteix en descompondre l'aigua i els seus elements que la formen, hidrogen i oxigen. Abans de veure en què consisteix, cal destacar que per la descomposició és necessari invertir certa quantitat d'electricitat. S'ha de fer menció al primer principi de la termodinàmica, o el principi de conservació de l'energia. Aquest estableix que si es realitza treball sobre un sistema o bé s'intercanvia calor amb un altra, l'energia interna del sistema canviarà. És impossible que s'obtingui més energia que la que necessitem per produir-la, per aquest motiu l'obtenció d'hidrogen mitjançant aquest mètode a través d'una font no renovable, no té cap sentit.

L'electròlisi es portaria a terme dins d'un dipòsit electrolític que consta de dos elèctrodes, ànode i càtode, i un electrolít per facilitar la migració d'ions.

La relació d'energia elèctrica necessària per produir un kg d'hidrogen, és de 45 kWh/kg d'hidrogen. Aquest fet fa impossible pensar en un mercat on l'hidrogen sigui competitiu, a no ser que es parteixi d'energia 100% neta.

Per l'elecció de l'electrolitzador, existeixen dues possibilitats, electrolitzadors alcalins i PEM (Membrana d'Intercanvis de Protons).

### **6.2.1. Tipus d'electrolitzador**

S'han comparat i analitzat els dos tipus d'electrolitzadors. Els electrolitzadors alcalins depenen principalment de l'ús d'una solució d'electròlits, per lo general hidròxid de potassi, que suposa una de les seves principals desavantatges, per la transferència d'ions hidroxils.

Els electrolitzadors alcalins funcionen amb densitats de corrent relativament baixes, menors a  $0,4 \text{ A/cm}^2$ , la temperatura de treball és de 50 a  $100^\circ\text{C}$  i les eficiències de conversió són al voltant del 60 al 70%. La puresa de l'hidrogen produït és aproximadament del 99,8%. El seu consum d'energia elèctrica volta els 5 i 6 kWh per  $\text{m}^3$  d'hidrogen produït.

La pressió de treball és de 4 a 31 bars i la vida útil d'operació és superior a les 100.000h. Els electrolitzadors de tipus alcalí compten amb una tecnologia molt madura, són indicats per instal·lacions que requereixen una altra producció (escala de GW) i aplicacions estacionàries.

D'altra banda, els electrolitzadors de membrana d'intercanvi de protons (PEM) funciona dependent principalment de l'ús de catalitzadors a base de metalls preciosos (platí, platí/ruteni) i un electròlit polimèric sòlid per la transferència de protons, l'ús de catalitzadors provoca un considerable augment del seu cost. No utilitza electròlits líquids, no necessita amiant ni alcalins, com en el cas dels alcalins, que fa més o menys nociu pel medi ambient.

Treballa a pressions baixes entre 6 i 8 bars. Els electrolitzadors tenen un funcionament continu superior als 100.000 hores sense errors en ambients crítics. El consum és de 4 a 5 kWh d'electricitat per  $\text{m}^3$  d'hidrogen produït. La puresa del gas, sense un equip auxiliar de purificació auxiliar és generalment del 99,99%. Tot i que actualment la tecnologia és menys madura que la analitzada anteriorment, existeix un important potencial de desenvolupament d'enginyeria per la millora de la relació cost/prestacions. Els electrolitzadors PEM són indicats per aplicacions portables i de baixa producció (escala kW).

A la següent taula podem observar les diferències entre els dos electrolitzadors:

Característiques	Alcalí	PEM
Potències de treball elevada	X	
Baix cost		X
Alta pressió de treball	X	
Necessitat de poca energia elèctrica per $\text{m}^3$ de $\text{H}_2$		X
Temperatures baixes de treball		X
Llarga vida útil	X	
Capacitat de ser alimentat per energies renovables		X
Alta puresa hidrogen		X
Disseny compacte		X

Taula 13. Comparativa d'electrolitzadors

## 6.2.2. Dimensionat de l'electrolitzador

Com hem estimat en el capítol anterior, s'extreu la possibilitat de disposar de 23.316,3 MWh considerant que es compleixen els pronòstics meteorològics.

La potència de l'energia elèctrica generada ha de ser compatible amb la potència de treball de l'electrolitzador triat. En cas que no siguin compatibles, l'energia generada no podrà ser aprofitada. L'energia generada en el parc és variable, depenent de la força de vent de cada moment. Això complica la feina de trobar un electrolitzador capaç de treballar en una franja de potències que continguin la potència que genera l'aerogenerador.

L'objectiu és trobar una potència de treball que es trobi en un punt d'equilibri, que permeti combinar el màxim temps de funcionament de l'electrolitzador, màxima producció d'hidrogen i preu econòmic. Per escollir l'electrolitzador que millor s'adapti a les necessitats de la instal·lació, s'ha d'analitzar les potències que generin els aerogeneradors durant les limitacions en el parc. De manera que es determini la potència de treball de l'electrolitzador per garantir que es compleixin unes condicions òptimes de treball.

S'han agrupat les potències generades de quatre categories d'electrolitzadors. Les potències seran de 0-200kW, 200-600kW, 600-1.200kW i 1.200-1.500kW. S'han d'analitzar el temps de funcionament del l'electrolitzador durant períodes de temps prolongats de com a mínim mitja hora. Aquest aspecte és una característica important a l'hora de l'elecció, per tant, els electrolitzadors de 0 a 200 kW i els de 1.200 a 1.500 kW queden directament descartats, ja que en cap moment poden treballar en períodes superiors als 30 minuts. S'ha d'intentar treure el màxim rendiment a la capacitat de producció de l'electrolitzador, és per això, que s'ha de donar importància en evitar sobredimensionar la instal·lació, de manera que s'aconsegueixi treure el màxim profit sobre la seva capacitat.

Si mirem la producció d'hidrogen és directament proporcional a la quantitat de temps que estigui treballant l'electrolitzador i la potència de funcionament. És un aspecte molt important, ja que s'intenta generar la màxima quantitat d'hidrogen dintre de les possibilitats.

Analitzant aquests aspectes, tenint en compte els grups de potència descartats, l'electrolitzador de 200 a 600 kW té un preu inferior i treu profit a la capacitat, en canvi, el de major potència, tot i ser més car, té més temps de funcionament produint hidrogen. Fent un

estudi de mercat s'ha observat els rangs de potències analitzats i s'ha trobat electrolitzadors més utilitzats són els de 400, 600 i 900 kW.

Després de l'avaluació dels principals aspectes que es considera que ha de tenir un electrolitzador, es conclou que l'electrolitzador indicat haurà de treballar entre el rang de potències de 400 i 800 kW. Tot i que els electrolitzadors PEM compleixen amb més requisits, no són capaços d'arribar a les potències de treball tant elevades, és per això que haurà de ser alcalí.

Tot i que els electrolitzadors PEM compleixen més requisits demandats, no són capaços d'arribar a potències de treball tant elevades, per tant, l'electrolitzador escollit serà alcalí.

### 6.2.3. Selecció de l'electrolitzador

Per poder escollir la millor opció, s'haurà de valorar diversos factors com les dimensions de l'equip, prestacions i especificacions tècniques, l'ús d'aquest en projectes semblants, i l'experiència en el camp de l'empresa productora.

A continuació, veurem alguns dels electrolitzadors que es comercialitzen actualment, amb la finalitat d'analitzar quin és el millor que s'adapta al nostre parc.

L'empresa Hydrogenics, HySTAT-A, és una de les opcions més completes, ja que l'empresa ofereix la possibilitat d'instal·lar la planta d'hidrogen al complet, no només l'electrolitzador sinó també els elements de transport de l'hidrogen. Cal destacar la utilització d'algun dels electrolitzadors en projectes actuals europeus per la generació de gas eòlic. Analitzem alguns models d'aquest fabricant:

Model	HySTAT 10	HySTAT 15	HySTAT 30	HySTAT 45	HySTAT 60
Pressió de treball (bar)	10				
Número de cel·les	1	1	2	3	4
Puresa (%)	99,99				
Flux hidrogen nominal (Nm <sup>3</sup> /h)	10	25	30	45	60
Consum estimat (kWh/Nm <sup>3</sup> )	5,4		5,2		
Voltatge (V)	400				
Consum H <sub>2</sub> O	1,5-2 litres/Nm <sup>3</sup>				

Taula 14. Característiques models Hydrogenics

Un altre model d'electrolitzador és el dissenyat per l'empresa Nitidor, model Clever. Aquest model, dissenyat per la marca suïssa italiana Casale Chemicals, està dissenyat per ser utilitzat en àmbits interiors com exteriors. Els punts més forts de l'equip són la compacitat, la fiabilitat i el baix manteniment que requereix, i sobretot la possibilitat d'arrencada amb únicament el 25% d'energia requerida, el que el fa especialment apte per aplicacions amb acoblament d'energies renovables. Depenent del rang de producció podem trobar diversos models:

Capacitat de producció (Nm <sup>3</sup> /h)	0,25	0,5	1	1,5	2
Consum potència (kW)	1,5	3	5,5	8,5	11
Rang de control (%)	15 a 100	15 a 100	15 a 100	15 a 100	
Puresa(%)	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Pressió d'operació (bar)	10/20/30	10/20/31	10/20/32	10/20/33	10/20/34
Subministrament (V)	400				
Dimensions (cm)	70*80*105	70*110*160	75*115*170	70*80*180	70*80*180

Taula 15. Especificacions tècniques Nitidor

L'empresa Hydrogen Technologies (Statoilhydro), neix entre la unió de l'empresa de gas noruega Statoil i l'empresa Norks Hydro, una de les majors productores d'energia eòlica a nivell mundial. A més, està considerada una de les empreses més conscienciades en la necessitat d'innovar en energies renovables, el que fa que els seus productes siguin dignes de tenir en compte en els diversos projecte que estan portant a terme actualment en aquest camp. La seva gamma d'electrolitzadors va des de 10 Nm<sup>3</sup>/h fins als 485 Nm<sup>3</sup>/h, ho veiem a la taula següent:

Consum d'energia (kWh/Nm <sup>3</sup> )	Model nº5020	Model nº5020
Número de cel·les	1	2
Pressió màxima (bar)	25	10 a 25
Superfície de cel·la (cm <sup>2</sup> )	300	1000
Puresa (%)	99,99	99,99
Consum d'energia (kWh/Nm <sup>3</sup> )	4,2	4,2
Subministrament (V)	400	400

Taula 16. Característiques fabricant Hydrogen Technologies

Una vegada hem conegut les especificacions d'alguns dels models que hi ha actualment al mercat, podem posar les bases de la nostre elecció. Principalment ens centrarem en la potència de cada un dels equips, ja que s'ha de valorar que el cost de manteniment sigui el

menor possible. Per això, la millor opció es agafar els equips de gran potència per disminuir el número d'electrolitzadors a instal·lar. D'altra banda, s'ha de tenir en compte els rendiments que ens aporten, sent aquests superiors quan treballem a pressions i potències elevades. Junt a la potència de l'equip serà un dels elements més decisius. A més, s'ha valorat la participació d'alguns d'aquests models en projectes similars.

És per això, i basant-nos en cadascun dels punts anteriorment comentats, escollirem l'equip de l'empresa Hydrogenics, concretament el model HySTAT 60-10, per la seva potència i rendiment. Amb aquest model s'hauran d'instal·lar 6 electrolitzadors dins de la planta.

### 6.3. Compressor

La funció del compressor en la instal·lació és comprimir l'hidrogen a una pressió elevada amb la finalitat de poder ser injectat a la xarxa de gas natural. La pressió de sortida de l'electrolitzador és de 10 bars, aquesta per poder ser injectada a la xarxa de gas natural haurà de ser elevada fins a 50 bars. Habitualment la pressió de la xarxa de transport de gas natural secundàries van de 16 bars fins a 60 bars.

Pel que es refereix a la compressió s'ha tingut en compte les característiques pròpies de l'hidrogen, que en un procés d'aquest tipus poden prendre gran importància.

Cal comentar els problemes com la fragilitat. No seran rellevants ens els trams entre l'equip d'electròlisi i el compressor, ja que aquests problemes apareixen a partir dels 200°C i a una pressió de 700 kPa. En el nostre cas la pressió a la sortida dels equips, és atmosfèrica. A més, la temperatura d'operació no supera mai els 80°C en operació. Si considerem l'acció del refrigerant de l'electrolitzador la temperatura a la sortida baixarà considerablement.

Per tant, per la selecció del compressor d'hidrogen tindrem presents aquests efectes però no els tindrem en compte, ja que el nostre equip no hauria de veure's afectat.

Com a última referència als problemes que puguin ocasionar l'hidrogen, només destacar, que degut al la petita mida dels seus àtoms, aquests puguin escapar-se a través de les parets de les canonades, que provocaria un percentatge de pèrdues en el nostre cas poc rellevant.



El compressor escollit serà aproximadament de 325 kW, amb tres etapes de compressió. El compressor es comercialitza per RIX Industries, model 2DS SERIES.

L'oxigen extret de l'electròlisi serà alliberat directament a l'atmosfera sense necessitat d'emmagatzematge ni compressió.

#### **6.4. Emmagatzematge de l'aigua**

L'aigua és l'element principal per l'obtenció de l'hidrogen, és per això, que s'ha d'abastir d'aigua les instal·lacions per fer-la arribar als electrolitzadors. Hi han diferents opcions per obtenir aigua, la primera és la més directa, derivar aigua d'un riu proper. Aquest procediment provoca tenir que realitzar una instal·lació amb dimensions majors perquè el sistema sigui rentable.

Si s'escull aquesta opció s'ha de tenir en compte que s'ha de dissenyar una sèrie de desarenadors a prop de la captació del riu, una bomba o bombes en paral·lel, per la impulsió del cabal de l'aigua uns 400 m sobre el nivell de captació. També s'haurà de tenir un tanc d'emmagatzematge d'aigua lo suficientment gran com per garantir un aprofitament de la instal·lació, i una independència del procés respecte el sistema de bombeig. La unitat de tractament haurà de ser de dimensions majors i un procés més laboriós i costós al tractar-se d'aigua d'un riu. No només s'haurà de desionitzar l'aigua sinó que també eliminar substàncies orgàniques i fangs que poden trobar-se en ella.

Davant els costos elevats tant en infraestructura, instal·lació, com per la impossibilitat de tenir una instal·lació de tuberes al llarg de kilòmetres, s'intenta buscar una opció que impliqui simplicitat i màxim aprofitament de les instal·lacions existents.

L'altra opció plantejada és la instal·lació d'un dipòsit juntament amb els electrolitzador que emmagatzemi una gran quantitat d'aigua. Aquest dipòsit estarà connectat a la xarxa de subministrament d'aigua, i a més, s'omplirà periòdicament mitjançant un camió cisterna extern.

Principalment el dipòsit serà alimentat per una empresa externa de transports líquids que l'emplenarà periòdicament, no obstant, el dipòsit estarà equipat per tal de ser emplenat a través de la xarxa pública en casos extrems, on no sigui possible el transport d'aigua i s'hagi d'emplenar amb urgència.

A l'hora de dimensionar la capacitat del dipòsit que emmagatzemarà l'aigua, s'ha de considerar que interessa que l'aigua emmagatzemada duri varis mesos. L'estudi de la producció contempla un funcionament de 5h durant els mesos de tardor i hivern, i 3h en la resta dels mesos. L'electrolitzador consumeix 1,5-2 litres/Nm<sup>3</sup>, i sabent que necessita 60 Nm<sup>3</sup>/h, podem extreure'n que l'electrolitzador podria arribar a consumir com a màxim aproximadament 350 litres al dia, que comportaria un consum de 130.000 litres a l'any. Amb aquestes dades es pot estimar que amb un dipòsit de 22.000 litres l'empresa subministradora d'aigua l'hauria d'emplenar cada dos mesos aproximadament.

El dipòsit seleccionat serà de 22.000 litres de polièster reforçat amb fibra de vidre. Té alta resistència química i mecànica amb resistència a la corrosió i a la intempèrie, el que suposa que tingui una llarga durabilitat i no necessita cap manteniment. Disposarà d'un sistema de bombeig de la marca Calpeda, model MXV4 32-41, que doni servei al cabal d'entrada principal a l'electrolitzador.

## 6.5. Tractament de l'aigua

Per l'elecció del tipus de tractament que s'ha d'utilitzar s'ha de tenir en compte les propietats i qualitat de l'aigua que abasteix la nostra instal·lació.

Donat que es tracta d'aigua potable, el tractament tindrà la funció de reduir els nivells de minerals i conductivitat que es troba a l'aigua. El tractament que es realitzarà serà intercanvi iònic. Es basa en el pas de l'aigua a través d'un llit porós (resina) contingut en un dipòsit. Durant el pas de l'aigua els ions a eliminar es fixen a la resina i aquest torna a la dissolució els altres ions no perjudicials per al procés que es destina l'aigua.

Un punt important del bescanvi iònic és el paper que realitza el regenerant, ja que arriba un moment en el que s'acaba la capacitat d'intercanvi de la resina, sent precís regenerar-la per poder continuar amb el procés de bescanvi iònic. Existeixen dos tipus de llits, els fixes i els mixtes. En el primer s'eliminen quantitats grans d'ions. Es basa en dos dipòsits, un amb resina catiònica i l'altra amb aniònica. El segon grup el tractament es porta a terme en un mateix dipòsit i el grau de partícules eliminades és menor.

Els electrolitzadors instal·lats, model HySTAT 60 de la marca Hydrogenics, porten incorporats un gran sistema de purificació, un sistema de refrigeració de circuit tancat, un sistema de tractament de l'aigua entrant i que s'acciona a través d'un panell de control.

## 6.6. Sistemes de control, gestió i seguretat de la planta d'hidrogen

Per tal de gestionar la planta productora d'hidrogen, és indispensable habilitar una zona on hi hagin instal·lats tots els equips perquè rebin informació de variables com poden ser pressió, temperatura, energia produïda, cabals, nivells, etc, per poder governar la planta donant resposta a cadascuna de les necessitats que hi puguin haver.

Tota la instal·lació de la planta productora d'hidrogen seguirà la directiva 95/9/EC de ATEX, que descriu quin tipus d'equipament i ambient es permès per treballs en atmosferes explosives.

El correcte funcionament del sistema de control, es fa visible en casos com en el control de nivells del dipòsit d'aigua i el bon funcionament de les bombes.

El sistema de seguretat estarà equipat amb detectors i mesuradors de gasos perillosos a l'àrea de treball. Donat que existeixen una gran varietat de gasos i les aplicacions en les que estan presents varien molt els requeriments que ha de complir el detector seleccionat.

Els detectors de gasos per la qualitat de l'aire o la seguretat en un ambient de treball han de ser robustos, resistents a la corrosió, a les variacions del temps i la pols, i aptes per ser instal·lats en zones perilloses. A més, poden ser adequats per sistemes multisensors, han de tenir un preu baix, una vida útil llarga i ser fàcils d'utilitzar i mantenir per persones mínimament experimentades.

Les aplicacions poden ser dividides en dos categories principals, detecció de gasos tòxics per la salut humana i detecció de gasos combustibles. En aquest cas interessa un detector de gasos combustibles, concretament d'hidrogen. Els sensors utilitzats per aquesta finalitat són sensors electroquímics, catalítics, sensors d'estats sòlids, infrarojos i PID.

Entre els sensors nombrats anteriorment, el que millor s'adapta a les necessitats que reclama la instal·lació que s'està dissenyant és el catalític.

Aquests sensors en presència de materials catalítics, el gas comença a cremar-se a temperatures més baixes que la d'ignició. Un filferro de platí es recobert amb un òxid metàl·lic tractat catalíticament. Així, les molècules de gas combustible es cremen sobre la

superfície del sensor, el que fa que la temperatura del sensor incrementi. El canvi de temperatura altera la resistència del filferro i connectant aquest a un circuit de pont de Wheatstone es produeix una senyal proporcional a la concentració del gas.

És el sensor més popular per la detecció de gasos combustibles. La vida útil depèn molt del fabricant i de l'aplicació, sol estar compresa entre 6 i 8 anys. S'utilitzarà el de la marca Sensotran, model RAEGuard S. Aquesta empresa és líder en el sector i participa en projectes europeus Nano2Hybrids.

## **7. OBRA CIVIL**

Per poder desenvolupar l'activitat elèctrica del parc elèctric, és necessari el condicionament del terreny per tal de crear vies d'accés als aerogeneradors, vials entre els aerogeneradors per una bona comunicació, les cimentacions dels aerogeneradors i les plataformes per el muntatge d'aquests, a més, totes les canalitzacions de mitja tensió.

### **7.1. Camins d'accés**

El parc eòlic s'instal·larà al turó de Puig dels Falguers, dins del terme municipal de La Jonquera. L'accés al parc és a través de camins entre les poblacions de La Jonquera i Cantallops, més exactament el camí que uneix des del Camí vell de Requesens de Cantallops, 17708, fins a l'encreuament de la N-II amb l'AP7 de La Jonquera, 17700, a l'altura de el Còrrec del Mas Brugat.

Des dels accessos de les carreteres aquest camí haurà de ser degudament condicionat i habilitat per possibilitar el trànsit de vehicles pesants.

### **7.2. Vials interiors**

El camí d'accés al parc eòlic desembocarà en un vial de nova generació. Els treballs a realitzar tant en els camins de nova execució com en els existents, serà la disposició de dues capes de 20 cm d'espessor de grava natural de característiques segons la norma PG-3 de compactació fins el 95% del Proctor modificat (compactació dinàmica creada per impacte d'un martell mecànic). A continuació disposarà d'una cobertura de grava artificial amb un espessor de 20 cm i compactació fis el 98%.

El traçat dels vials es realitzarà aprofitant al màxim els camins existents. El criteri que es seguirà, serà intentar mantenir-lo, a mesura de lo possible, paral·lel a la línia d'aerogeneradors.

L'amplada mínima dels camins serà de 4,5 m en recta i corba, si aquesta compta amb un radi major de 60 m. La pendent màxima ha d'estar entre els 8° i 10°, aproximadament entre el 14% i el 17%, si es superessin haurien de ser formigonats o asfaltats.

### 7.3. Cimentacions dels aerogeneradors

L'aerogenerador consta d'una torre metàl·lica tubular troncocònica d'acer d'altura de boixa de 78 m, diàmetre de rotor de 90 m, dividida en tres trams d'acer i pintada. Va cimentada sobre formigó armat on la mida d'aquest depèn de les característiques del terreny i les sol·licituds mecàniques que hagi de suportar. En aquest cas, és de planta quadrada de 15 m de costat i un pedestal cilíndric de 5,5 m de diàmetre i 1,53 d'alçada.

El disseny de la cimentació dels aerogeneradors ha d'adaptar-se a les característiques geotècniques dels sòls on s'ubiquin. Donada les característiques geotècniques de la zona en els trams on s'ubicaran els aerogeneradors, s'aconsella una cimentació superficial mitjançant sabates de suport sobre materials de naturalesa carbonatada més resistents de la zona.

En general, es poden indicar que les tensions de cimentació recomanades per les cimentacions superficials oscil·len entre  $1,2 \text{ Kp/cm}^2$  per la situació més desfavorable, i  $2 \text{ Kp/cm}^2$  per les situacions més comuns que es presentin en el parc.

Les cimentacions consistiran en una sabata de formigó armat (tipus HA-30/B/20/IIa) de planta quadrada. Abans d'executar la sabata es posa a nivell la superfície de suport amb una capa de formigó de neteja, HM-15 de 10 cm d'espessor.



Figura 27. Cimentació en construcció d'un aerogenerador

Sobre la sabata es construeix un pedestal, una planta circular de 5,5 m de diàmetre i 1,53 d'alçada en el que anirà collat el carret mecànic d'ancoratge de l'aerogenerador (virola).

#### **7.4. Suports per muntatge d'aerogeneradors**

L'espai necessari per la construcció i muntatge dels aerogeneradors ve determinat fonamentalment per la superfície que ocupen les grues i l'espai requerit per realitzar les maniobres durant el muntatge, així com l'emmagatzemament de materials. En el muntatge dels aerogeneradors és necessari comptar amb una superfície plana on estacionar la grua que elevi les diferents parts de les màquines.

S'habilita al costat de cada cimentació, màxim un metre de distància, una plataforma amb dimensions en planta de 35x25 metres. La inclinació de les plataformes serà, com a màxim, de un 2%.

#### **7.5. Canalitzacions de mitja tensió**

Les canalitzacions es realitzen entre els aerogeneradors de manera que estiguin elèctricament interconnectats, entre sí i el centre de transformació del parc.

Totes les rutes seguides pels cables són degudament senyalitzades per fites de formigó prefabricat, col·locat sobre un llit de formigó. Les canalitzacions entre aerogeneradors a 20kV consisteixen en rases excavades de 1,2 m de profunditat i 0,6 m d'amplada mínima. En el fons de la rasa s'estén el cable de posada a terra i es recobreix amb una capa petita de terra procedent de l'excavació. Sobre aquesta terra s'estén una capa de sorra de mina o de riu d'uns 100 mm d'espessor, i sobre ella s'allotgen les ternes de cables de mitja tensió, separats horitzontalment entre sí uns 150 mm. Seguidament es recobreixen amb una capa de sorra de mina o de riu, 200 mm.

Per sobre d'aquesta capa en tot el seu recorregut es col·loca una o dos files de lloses prefabricades, que fan de protecció mecànica per sobre dels cables en tot el seu recorregut. Per sobre d'aquesta capa mecànica s'estén una capa de 50 mm de terra procedent de l'excavació lliures de pedres i compactada per medis manuals, a sobre s'estenen els cables de fibra òptica necessaris, que es recobreixen amb uns altres 250 mm del mateix material que es descriu anteriorment. Aquesta capa de terra es compacta convenientment, i sobre ella es col·loca una o dos files de lloses prefabricades. Seguidament s'estén una capa de 300 mm de terra en tongades de 100 mm lliures de pedres i compactada per medis mecànics. En tot el recorregut es col·loquen dues cintes de senyalització que adverteixen la

existència de cablejat de mitja tensió per sota. Finalment, sobre de la cinta de senyalització s'estén una altra capa de terra fins arribar a la superfície del terreny.

En els casos que les rases creuin el vial anterior del parc, es necessària la col·locació de tubs de polietilè de doble capa de 160 mm de diàmetre per protecció del cable, així com tub polietilè de doble capa de 90 mm de diàmetre per els cables de comunicacions, i el formigonat dels mateixos amb HM-15.

## **7.6. Centre de control**

El centre de control es trobarà situat al municipi de La Jonquera a la sortida de l'autopista del mediterrani, a la prolongació del carrer Nord direcció la Nacional II. Es disposa d'un terreny per instal·lar el parc de generació d'hidrogen i la instal·lació del centre de transformació per connectar amb la companyia elèctrica. S'ha escollit aquest terreny perquè coincideix amb la xarxa de gas natural que connecta amb França i esta situat molt proper la l'estació transformadora de la zona.

En el centre de control hi haurà un edifici que constarà d'una sala independent pels aparells de control, mesura, proteccions i comunicacions, una altra amb una zona de reunions, un vestuari amb bany i també disposarà una sala destinada a magatzem.

Al costat de l'edifici de control hi hauran instal·lats els electrolitzadors, dipòsit d'aigua i el centre de transformació del parc d'hidrogen. El tancament exterior serà realitzat mitjançant una malla electrosoldada galvanitzada de 2,3 m d'alçada, cosida a pals d'acer galvanitzat. Aquest postes juntament amb el sòcol perimetral continu de 30 cm d'amplada i 70 cm d'alçada seran recoberts amb formigó.

S'instal·len portes d'entrada de vehicles manuals i una porta d'accés per persones. Les portes seran galvanitzades i malla electrosoldada, de tal manera que mantingui la continuïtat amb el ballat.

La superfície exterior d'intempèrie estarà recoberta amb una capa de grava d'espessor de 10 cm excepte en les zones de trànsit habitual, que es realitzaran amb formigó armat, sobre base convenientment preparada. Aquestes plaques tindran desnivells per evitar l'acumulació de l'aigua en qualsevol punt de la mateixa.



Per el tractament de les aigües fecals s'instal·la una fosa sèptica que ha d'estar connectada a la xarxa d'evacuació d'aigües residuals de la zona. L'edifici ha de complir amb lo establert en la declaració d'impacte ambiental del projecte, la normativa urbanística municipal i amb el codi tècnic d'edificació (CTE).

Tots els accessos a l'interior de l'edifici es realitzarà amb portes metàl·liques amb tancaments antipànic, aïllament acústic-tèrmic i amb dimensions adequades per el pas dels equips a muntar. La il·luminació i ventilació es realitza mitjançant finestres practicables i reixetes. Ha d'estar perfectament preparat per la instal·lació al seu interior dels equips elèctrics en les condicions adequades.

El terra s'ha de dissenyar segons falsos terres tècnics adequats per l'estesa de cables necessaris: cables de control i cables de mitja tensió. Totes les rases per accessos de cables a l'edifici han d'anar perfectament sallades contra l'entrada d'humitat, molt en especial les corresponents a les canalitzacions de cables de la solera de l'edifici.

A l'interior de l'edifici s'instal·larà l'estructura metàl·lica necessària pels muntatges de les cel·les de 20 kV, transformador de serveis auxiliars, així com suports de subjecció dels cables de potència des de les cel·les, equips de serveis auxiliars, comandament i control. Totes les estructures hauran de ser protegides contra la corrosió.

## 8. INFRAESTRUCTURA ELÈCTRICA

El sistema elèctric d'un parc eòlic té per objecte la transferència d'energia elèctrica produïda per cada aerogenerador cap a la xarxa de la companyia elèctrica en unes condicions òptimes tant des del punt de vista del parc com de la companyia.

En els parcs eòlics amb potències instal·lades altes es requereixen dos nivells de transformació. El primer eleva la tensió des del nivell de generació, sortida dels aerogeneradors de baixa tensió, fins la tensió de distribució interna del parc, mitja tensió de 20 kV. Això obliga a que cada aerogenerador compti amb els seu propi centre de transformació. El segon eleva la tensió de la xarxa de mitja tensió interior del parc al nivell d'alta tensió de la xarxa de la companyia elèctrica. A més, la instal·lació disposa d'un centre de transformació més que redueix de mitja tensió a baixa tensió, 400 V, per poder posar en funcionament el sistema d'electròlisi de la planta generadora d'hidrogen.

Les característiques de la infraestructura elèctrica del parc han de ser calculades i dissenyades segons lo estipulat a les normes UNE i en els reglaments vigents de baixa, mitja tensió.

### 8.1. Centres de transformació dels aerogeneradors

Cada aerogenerador porta associat un centre de transformació, que pot situar-se a l'interior de la torre o en una caseta prefabricada de formigó situada al peu de l'aerogenerador. Aquest centre de transformació permet realitzar la connexió de l'aerogenerador a la corresponent línia de mitja tensió.

Quan el centre de transformació s'instal·la a l'interior de l'aerogenerador, és el propi fabricant de l'aerogenerador el que l'especifica i el subministra. Aquest és el cas del projecte en qüestió. El fabricant Gamesa proporciona el centre de transformació.

A la següent taula es mostra les especificacions del transformador instal·lat en cada aerogenerador.

Transformador 0,69/20 kV	
Tipus de transformador	Sec
Relació de transformació	20/0,690 kV
Potència nominal	1.900 kVA
Freqüència	50 Hz
Grup de connexió	Dyn11

Taula 17. Característiques transformador aerogenerador

Cadascun dels centres de transformació disposa de un quadre de baixa tensió instal·lat abans del transformador. Aquesta part junt al transformador es troba dins de la gòndola, i des d'aquí baixen els cables de mitja tensió fins la base de la torre on es troben les cel·les de protecció i maniobra. Aquestes cel·les dels circuits de mitja tensió són compactes i connexió-desconnexió individual de cada turbina respecte a la xarxa elèctrica. A més, les cel·les de MT inclouen una protecció de l'aerogenerador contra curtcircuits, disparador extrem i protecció tèrmica del transformador. A la següent taula s'indiquen les cel·les utilitzades en els CT dels aerogeneradors.

Cel·les	
Tipus de cel·la	Distribució secundària i blindada
Aïllament	Hexafluorur de sofre (SF <sub>6</sub> )
Tensió nominal	24kV
Valor eficaç de la intensitat de curtcircuit	16kV (t <sub>cc</sub> = 0,5s)

Taula 18. Especificació de les cel·les

A continuació es presenta una taula on s'indica el tipus de conductor de potència.

Línies	
Costat de MT del CT aerogenerador	AFUMEX DS1Z-A 3x25 + 3x10D
Costat de BT del CT aerogenerador	RV 0,6 1/Kv 3x2x(1x240) mm <sup>2</sup> Al
Quadre de BT al aerogenerador	RV 0,6 1/Kv 3x2x(1x240) mm <sup>2</sup> Al

Taula 19. Característiques conductors aerogenerador

Depenent de la posició de l'aerogenerador en el parc i la seva funcionalitat, enllaçant o no amb altres aerogeneradors, varien els mòduls que configuren les cel·les, essent les següents.

### **8.1.1.Mòdul 0L+1L+1P**

És la configuració utilitzada en tots els aerogeneradors en posicions mitges de l'estesa de la línia. Permet, no només la protecció del transformador sinó la seva connexió de la resta de l'estesa, i la prolongació de l'estesa de la línia.

Aquest conté una cel·la de protecció del transformador (0L), una cel·la de línia del parc eòlic sense seccionament (1L) i una cel·la de línia de parc eòlic sense seccionament (1P) .

### **8.1.2.Mòdul 0L+1P**

És la configuració utilitzada en tots els aerogeneradors en posicions finals en l'estesa de la línia. Permet, no només la protecció del transformador sinó la seva connexió a la resta de l'estesa.

Conté una cel·la de protecció del transformador (0L) i una cel·la de línia del parc eòlic sense seccionament (1P). Per la connexió a les cel·les s'utilitzen terminals aïllats, endollables, apantallats i cargolats.

S'utilitzen cables de mitja tensió per realitzar la interconnexió del transformador amb la cel·la de protecció i maniobra. El fabricant especifica i subministra el tipus de cable a utilitzar. La connexió es fa mitjançant uns terminals com els citats anteriorment en el costat de les cel·les i terminals rectes apantallats en el costat del transformador.

## **8.2. Línia soterrada de mitja tensió**

Una xarxa de MT, 20 kV, interconnecta els centres de transformació dels aerogeneradors i transporta l'energia generada fins la línia aèria que portarà l'energia fins el parc de generació d'hidrogen on hi haurà l'estació transformadora. El nombre de circuits d'aquesta xarxa depèn del número d'aerogeneradors del par i de la potència de cadascun d'ells i de les distàncies entre ells.

La línia soterrada estarà dividida en dos trams, en el primer estarà format per una línia que comprendrà 5 aerogeneradors i el segon connectarà els altres 5 aerogeneradors restants.

L'estesa és subterrània i els cables s'estenen agrupats en ternes, directament en rases, tal i com es descriu a l'apartat de canalització de MT. Per la interconnexió dels aerogeneradors, aquestes línies es connecten en les posicions d'entrada i sortida de les cel·les de MT situades en els centres de transformació. Cada una de les línies està connectada a una de les cel·les de protecció de la línia de la subestació transformadora. Tots els càlculs es troben descrits a l'Annex B.

El tipus de conductor de la línia de distribució soterrada serà el model RHZ1 12/20 kV 3x1x(95,120,150,240) mm<sup>2</sup> Al. El conductor complirà les especificacions que estableixi la normativa en vigor, d'acord amb la tensió i condicions del servei destinats.

En el nostre cas tal i com s'ha calculat a l'annex B, el conductor utilitzat per la instal·lació serà el conductor XLPE (Polietilè reticulat) en alumini de 400 m<sup>2</sup>. En els punts d'unió dels diferents trams de l'estesa s'utilitzen empalmes elàstics contràctils en fred, les peces i terminals seran de compressió. Els terminals seran del tipus endollable, colzades cargolables i apantallats.

### 8.2.1. Comunicacions per fibra òptica

Juntament amb els conductors de MT, s'estén un conjunt de línies de fibra òptica per comunicacions del sistema de control i protecció del parc o per comunicacions del sistema de control eòlic i torre de meteorologia. Les principals característiques dels cables de fibra òptica estan resumits a la següent taula.

16 fibres per cable
62,5/125 µm per fibra òptica multimode
9/125 µm per fibra òptica monomode
Resistència al foc
Contingut lliure d'halògens
Protecció contra la penetració H <sub>2</sub> O
Protecció contra rosegadors
Atenuació màxima a 1.300 nm de 1 dB/km
Per estesa soterrada directament enterrada

Taula 20. Característiques fibra òptica

### 8.3. Línia aèria de mitja tensió 20 kV

La xarxa de MT aèria té com a objectiu connectar el parc eòlic amb el centre de producció d'hidrogen que estarà situat a 2,8 km al municipi de La Jonquera. Les característiques generals de la línia calculats els seus paràmetres a l'annex A, es veuen resumits a la Taula 21.

Tensió nominal (kV)	20
Freqüència (Hz)	50
Potència màxima de transport (MW)	8,79
Conductor de fase	LA-110
Número de circuits	1
Número de conductors per fase	1
Cable de fibra òptica/terra	AC-50
Tipus d'aïlladors	Vidre
Longitud de la línia (km)	2,8
Zona aplicació	B
Número suport en angle	0
Número suports en alineació	10
Número suports final de línia	2
Cimentacions	Quatre potes

Taula 21. Característiques de la línia

#### 8.3.1. Descripció del traçat

La línia de mitja tensió té el seu origen al cim del Puig dels Falguers on es situa el parc eòlic, des de on a través de 12 suports, arribarà fins les instal·lacions productores d'hidrogen situades a La Jonquera a la sortida de l'autopista del mediterrani, a la prolongació del carrer Nord direcció la Nacional II.

La longitud total de la línia és de 2,8 km, íntegrament en el terme municipal de La Jonquera. Aquesta línia està formada per diferents cantons seguint els canvis de desnivell del terreny. Un cantó és el tram entre dos punts d'amarratge o ancoratge.

S'ha triat posar un suport d'amarratge o ancoratge a prop de canvis de desnivell pronunciat, a més, escorçant la longituds dels cantons s'afavoreix la seguretat en el cas de caiguda d'algun suport i que aquest esdevingui a un efecte dominó que ocasioni la caiguda de tota la línia. A continuació s'indiquen el nombre de cantons amb les característiques de cadascun.

Cantons	Vans de regulació (m)	Angle amb el següent cantó
1 al 7	225	0°
7 al 8	262	0°
8 al 12	243	0°

Taula 22. Resum de cantons

### 8.3.2. Suports

Els suports a utilitzar en la construcció de la línia aèria seran metàl·lics de gelosia de les sèries contemplades en la norma Endesa LNE008, dissenyats per la instal·lació d'un circuit simple de 20kV amb una cúpula per la instal·lació del cable de terra i la fibra òptica. Els materials per perfil d'acer hauran de complir amb la norma UNE-EN10025, de 8 de febrer de 2006, de productes laminats en calen d'acer per estructures.

Així mateix els perfils, l'amplada mínima dels quals haurà de ser de 40mm, i la resta de components han d'haver estat fabricats d'acord amb la norma UNE-EN 10056 d'acer AE 275-B (S 275 JR) o AE 355-B (S355 J0) de límit elàstic 275 0 355 N/mm<sup>2</sup> respectivament.

Els cargols utilitats seran del tipus M-14 o superior d'una qualitat mínima de 5,6 assegurada. La composició de la matèria prima, la designació i les propietats mecàniques compleixen la norma UNE 17115, de 14 de juliol de 2010, d'elements de fixació per a línies aèries elèctriques. S'ajustaran al que prescriu aquesta norma les dimensions dels cargols, les longituds de la volandera i les femelles hexagonals.

La superfície dels suports presentarà una galvanització llisa adherent, sense discontinuïtat, sense tasques, i amb un espessor local del recobriment mínim de 75 µm, tal i com indica la norma Endesa LNE008.

L'altura dels suports està determinada per la distància mínima a mantenir entre el terreny i els demás obstacles i els conductors de la línia aèria, segons estableix a l'apartat 5 de la ITC-LAT 07 del RLAT i en la norma Endesa LDZ001.

La separació entre fases ve donada per la distància a mantenir dels conductors entre sí en els vans de la línia, segons indica a l'apartat 5.4.1. de la ITC-LAT 07 del RLAT i en la norma Endesa LDZ001.

La posició aproximada de cada suport ve indicada per les coordenades mostrades a la següent taula. A l'hora d'instal·lar els suports es podrà variar les coordenades si el terreny fa difícil la instal·lació del suport.

Suport	Funció suport	Denominació	X	Y
1	FL	ARCE C-7000	491871,5	4698205,5
2	AL-SU	ARCE C-1000	491634,5	4698195,5
3	AL-SU	ARCE C-1000	491253,5	4698230,5
4	AL-SU	ARCE C-1000	490934,5	4698265,5
5	AL-SU	ARCE C-1000	490594,5	4698200,5
6	AL-SU	ARCE C-1000	490324,5	4698165,5
7	AL-AM	ARCE MI-1500	490114,5	4698180,5
8	AL-AM	ARCE C-2000	489944,5	4698195,5
9	AL-SU	ARCE C-1000	489764,5	4698175,5
10	AL-SU	ARCE C-1000	489614,5	4698185,5
11	AL-SU	ARCE C-1000	489229,5	4698115,5
12	FL	ARCE C-7000	489009,5	4698025,5

Taula 23. Suport i coordenades línia aèria parc eòlic

### 8.3.3. Fonamentacions

Les fonamentacions dels suports seran de formigó fraccionades. Aquests tipus de fonamentacions estan compostes de quatre blocs independents i seccions de forma prismàtica. El bloc sobresortirà del terreny, com a mínim 20 cm, formant un sòcol, amb l'objectiu de protegir els extrems inferiors dels muntants i les unions.

A l'apartat 3.6.1. de la ITC-07 del RLEAT marca que aquest tipus de fonamentacions han de tenir un coeficient de seguretat a la bolcada de 1.5 per a hipòtesis normals. Aquest coeficient de seguretat és la relació entre el moment estabilitzador mínim respecte a l'aresta més carregada de la fonamentació i el moment bolcador màxim motivat per les forces externes. Aquestes fonamentacions tindran les dimensions necessàries per suportar les càrregues tan de compressió com d'arrencada com el suport transmet al terra. Tal i com s'indica a l'apartat 3.6 de la ITC-07 del RLEAT, s'han de realitzar comprovacions a l'arrencada, a compressió i l'adherència entre ancoratge i fonamentació.



### 8.3.4. Conductors

La línia està constituïda per un conductor d'alumini amb ànima d'acer galvanitzat del tipus 94-AL1/22-ST1A (LA 110), d'acord amb les normes UNE-EN 50182, de 26 de setembre de 2002, de conductors per línies elèctriques aèries, conductors de filferros rodons cablejats amb capes concèntriques. Les característiques del conductor són les següents:

Secció total (mm <sup>2</sup> )	Alumini	94,20
	Total	116,20
Equivalent en coure (mm <sup>2</sup> )		60,00
Diàmetre total (mm)	Acer	6,00
	Total	14,00
Alumini	Número/diàmetre	30/2
Acer	Número/diàmetre	7/2
Càrrega de ruptura (daN)		4.310,00
Resistència elèctrica a 20°C (Ω/km)		0,31
Massa (kg/km)		433,00
Mòdul d'elasticitat (daN/mm <sup>2</sup> )		8.000,00
Densitat de corrent de l'alumini (A/mm <sup>2</sup> )		2.988,00
Coeficient de dilatació lineal (°C <sup>-1</sup> ·10 <sup>-6</sup> )		17,80

Taula 24. Característiques conductor

Per la protecció contra les descàrregues atmosfèriques i per comunicacions, la línia estarà dotada d'un cable de terra del tipus 50-ST1A (AC-50). Perquè la protecció contra les descàrregues atmosfèriques sigui eficaç es disposarà l'estructura del cap dels suports a instal·lar de forma que l'angle que forma la vertical que passa pel punt de fixació del cable de terra, amb la línia determinada per aquest punt i el conductor, no excedeixi dels 35°. Les característiques principals del cable són les especificades a la següent taula. Totes hauran de respondre a l'especificat en la norma Endesa GE LNE004.

Secció resistent (mm <sup>2</sup> )	49,48
Diàmetre exterior (mm)	9,00
Nombre de filferro	7,00
Diàmetre dels filferros (mm)	3,00
Càrrega de ruptura (daN)	6,17
Mòdul d'elasticitat teòric (daN/mm <sup>2</sup> )	18,00
Resistència elèctrica a 20°C (Ω/km)	4,09
Coeficient dilatació lineal (°C <sup>-1</sup> )	11,50·10 <sup>-8</sup>

Taula 25. Característiques conductor terra

### 8.3.5. Aïllaments

L'aïllament està dimensionat mecànicament per el conductor LA-110, garantint un coeficient de seguretat a ruptura superior a 3, i elèctricament per 20 kV . Aquest constarà de cadenes senzilles amb aïlladors de vidre. Es pot diferenciar entre dos tipus d'aïllaments, els de suport de suspensió i els de suports d'amarratge o ancoratge, tal i com mostren les següents taules.

Material	Vidre
Denominació	U40B
Pas (mm)	110
Diàmetre (mm)	225
Línia de fuga (mm)	320
Càrrega de ruptura (kN)	40
Norma d'acoblament	11

Taula 26. Suport de suspensió

Material	Vidre
Denominació	U70BL
Pas (mm)	146
Diàmetre (mm)	255
Línia de fuga (mm)	320
Càrrega de ruptura (kN)	70
Norma d'acoblament	16A

Taula 27. Suport d'amarratge o ancoratge

La normativa aplicable són la Norma GE LNE003 d'Endesa, d'aïlladors de vidre per línies aèries d'alta tensió superiors a 30 kV. La norma UNE-EN 60383, d'assajos d'aïlladors per a línies superiors a 1000 V. Les característiques elèctriques del conjunt d'aïlladors són, segons CEI 383, d'aïlladors per línies aèries de tensió superior a 1 kV, són les mostrades a continuació.

Tensió suportada de curta durada a freqüència industrial (kV)	420
Tensió suportada als impulsos tipus llamp (kV)	600
Longitud de línia de fuga (mm)	1.920

Taula 28. Característiques conjunt d'aïlladors

### **8.3.6. Ferramentes**

S'engloba sota aquesta denominació tots els elements necessaris per la fixació d'aïlladors als suports i als conductors, els de fixació del conductor de terra al suport, els de protecció elèctrica dels aïlladors i els accessoris del conductor com antivibradors, separadors, etc.

Per l'elecció de les ferramentes es tindrà en compte el comportament sota l'efecte corona i serà fonamentalment d'acer forjat, protegit de la oxidació mitjançant un galvanitzat de foc. Hauran de tenir un coeficient de seguretat mecànic no inferior a 3 respecte a la seva càrrega mínima de ruptura, segons l'apartat 3.3 de la ITC-07 del RLEAT.

### **8.3.7. Accessoris**

La línia contendrà diferents accessoris imprescindibles com poden ser salva ocells, plaques de senyalització que alerten de perill a persones alienes a la construcció.

Els salva ocells, en compliment amb la normativa vigent en la que s'estableixen normes de la protecció de l'avifauna per les instal·lacions elèctriques d'alta tensió, s'instal·laran espirals de 30 cm de diàmetre per 1 metre de longitud com a mesura preventiva per evitar col·lisions. Aquests dispositius estaran establerts segons la norma AGD002 d'Endesa Distribució.

S'instal·laran plaques de senyalització de risc elèctric en tots els suports, on s'indicarà la tensió de la línia, el titular de la instal·lació i el número de suport, tal i com s'indica a l'apartat 2.4.7. de la ITC-07 del RLEAT. La placa es col·locarà a una altura el terra de 3 m en la cara paral·lela o més propera a camins o carreteres per poder ser vista més fàcilment.

### **8.4. Xarxa de terres**

La xarxa de posada a terra inclou l'estesa d'un conductor de coure nuu a l'interior de les rases que recorren tot el parc eòlic. En la cimentació de cada aerogenerador es realitza una xarxa de terres a la que es connecta a l'armadura de la sabata, de manera que es compleixen les especificacions del fabricant d'aerogeneradors orientades a limitar les tensions de defecte a terra que poden produir-se a la instal·lació.

#### **8.4.1. Posada a terra de l'aerogenerador**

La posada a terra dels aerogeneradors es realitza en la cimentació d'aquests on es disposa d'un mallat electrosoldat connectat a la xarxa de posada a terra del centre de transformació dels aerogeneradors.

Es realitzarà simultàniament als treballs de cimentació, està compostat per un conductor de coure nuu de 95 mm<sup>2</sup> de secció mínima. El sistema de posada a terra es farà amb un anell exterior a la cimentació suportat per piquetes de coure. Un anell s'instal·larà sobre la cimentació englobant la sabata de forma que serveixi el de conductor equipotencial en l'accés a l'aerogenerador i limiti les tensions de pas en aquest punt.

#### **8.4.2. Posada a terra parc eòlic**

La xarxa del parc estarà formada per un únic terra global que farà les funcions de terra de protecció i de servei. La posada a terra de cada aerogeneradors ja s'ha estipulat al subapartat anterior.

La pantalla de cables de la xarxa de MT que uniran els aerogeneradors es connectarà, en els seus extrems, a la instal·lació de posada a terra de cadascun d'ells. A més, el conductor de coure nuu de 95 mm<sup>2</sup> de secció soterrat en el fons de la rasa de cables connectarà la posada a terra de tots els aerogeneradors del parc.

A l'arribada de la línia aèria es connectaran els cables de terra del parc eòlic, amb lo que les dues posades a terra quedaran connectades.

#### **8.4.3. Posada a terra de la línia aèria de MT**

La posada a terra dels suports de la línia es realitzarà tenint en compte el que especifica a l'apartat 7 de la ITC-07 del RLEAT, considerant que la línia disposi d'un sistema de desconexió automàtica, amb un temps de desacoblament inferior d'un segon.

Per poder identificar els suports en eles que s'ha de garantir els valors admissibles de tensió de contacte, es poden diferenciar entre freqüentats i no freqüentats.

Els suports freqüentats estan situats en llocs d'accés públic i on la presència de persones alienes a la instal·lació elèctrica és freqüent, en canvi, els no freqüentats estan situats en llocs que no són d'accés públic. Segons si el suport és del tipus freqüentat o no, s'han de complir uns requisits. En cas dels suports freqüentats, es demanarà la correcta actuació de les proteccions, que es compleixin les tensions admissibles i el correcte dimensionament davant els efectes de llamps. D'altra banda, els suport no freqüentat es demanarà la correcta actuació de les proteccions.

#### **8.4.4.Posada a terra de la subestació**

La posada a terra de la subestació serà un terra únic on es connectaran totes les estructures metàl·liques de la instal·lació, el forjat metàl·lic, totes les parts metàl·liques sense tensió de l'aparellatge, els secundària dels transformadors, la cuba del transformador de potència i les columnes d'enllumenat.

La xarxa de terres estarà construïda per una malla de cable de coure de 50 mm de secció. Les connexions sota terra es realitzaran mitjançant soldadures cadwell d'alt punt de fusió.

#### **8.4.5.Posada a terra de l'edifici de control**

La posada a terra de l'edifici es realitza amb un anell interior connectat a la xarxa de terres de la subestació, que enllaça amb l'exterior estan connectats tots els equips i les masses metàl·liques de l'edifici mitjançant soldadures aluminotèrmiques, grapes i terminals de posada a terra. L'edifici, ha de tenir una superfície equipotencial, per lo que s'uneixen totes les armadures embegudes en el formigó mitjançant soldadura elèctrica. Les portes, reixes, i finestres estaran en contacte amb la superfície equipotencial.

Per realitzar la xarxa de terres, s'enterra una malla bàsica d'elèctrodes de coure nuu, paral·lels en direcció longitudinal i transversal al recinte, formant retícules pràcticament uniformes en contacte amb el terreny natural, col·locades a 80 cm per sota el nivell del terreny explanat de la plataforma, per permetre el control dels gradients superficials i garantir que les tensions de pas i contacte estiguin en els límits marcats per la MIE-RLEAT 13.

## 8.5. Subestació elèctrica del parc

Amb la finalitat d'evacuar l'energia produïda s'ha de realitzar la construcció d'una subestació transformadora que elevi la tensió del nivell de mitja tensió al nivell de distribució que marqui el punt de interconnexió amb la companyia elèctrica. Per definir els nivells d'aïllament de la subestació és necessari tenir en compte les condicions climàtiques en el lloc de la ubicació. Els nivells d'aïllament venen definits per el MIE-RAT 12.

La configuració de la subestació és variable. Típicament, l'esquema utilitzat en el costat d'alta tensió és el de simple barra amb seccionador i interruptor automàtic en les posicions dels transformadors i amb un seccionador de línia, un seccionador tripolar de barres i interruptor en la posició de línia. Per la mesura en les posicions de línia i transformador, s'instal·len transformadors d'intensitat en cada fase amb quatre secundaris i tres transformadors de tensió inductius amb triple secundari. Per protecció contra sobretensions d'origen atmosfèric, s'instal·len parallamps del tipus autovàlvules.

L'esquema utilitzat en mitja tensió és de simple barra, disposat en cel·les d'interior, en les que es connecten les línies de mitja tensió dels aerogeneradors, el secundari dels transformadors de potència i els transformadors de serveis auxiliars. Totes les posicions aniran dotades d'interruptor, transformadors d'intensitat, seccionador d'aïllament de barra amb posada a terra. En les barres de cada parc hi haurà una cel·la de mesura de tensió amb seccionament.

A la subestació es construirà un edifici que disposarà d'una sala independent per cel·les de 20 kV amb aïllament sòlid o en SF6, una altra sala per les instal·lacions de serveis auxiliars i per el control, mesura, proteccions i comunicacions amb zones per reunions, una altra sala per equip des control eòlic del parc i un bany amb vestuaris. També disposarà una sala que servirà de magatzem.

El transformador de potència es situa a l'intempèrie junt a l'edifici. La profunditat de les cimentacions per l'aparellatge depèn de les característiques del sòl. Com a norma general, la cimentació corresponent als elements d'intempèrie es resoldrà amb sabates aïllades de formigó en massa. Es porta a terme en dues fases. La primera s'excava, encofra i formigona fins arribar a la cota apropiada, deixant embeguts els pernns d'ancoratge, als que es cargolaran els suports metàl·lics dels diferents aparells. També en aquesta primera fase, es deixaran passats els tubs per el pas de cables elèctrics i del cable de terra.

En la segona fase de formigonat, s'arriba a la cota de coronació i es realitza l'acabat en forma de punta de diamant. Un cop finalitzades les cimentacions es fa s'emplena l'excavació amb grava natural, estesa i compactada fins arribar al 95% de l'assaig de Proctor.

Per els transformadors, es construeix una fosa per la recollida del possible oli que desprenguin i la conducció cap al dipòsit de recollida. El transformador de potència es recolza sobre carrils embeguts en bigues armades, en la pròpia fosa del transformador, de manera que queda dividit en tres cossos. La construcció es fa en formigó armat, amb carrils d'acer i tubs d'acer inoxidable per el pas de líquids entre cadascun dels cossos i sortida cap al dipòsit.

Per evitar la propagació d'incendis entre els transformadors de potència, es col·locaran murs tallafocs de formigó armat. Per recollir l'oli s'instal·la un dipòsit que està connectat a la fosa mitjançant tubs d'acer inoxidable. La seva missió és recollir l'oli en cas d'averia de la màquina, evitant així que caigui en el terreny i complint amb la protecció del medi ambient. Aquest dipòsit té una capacitat d'un 30% superior al volum d'oli del transformador. Està construït en formigó armat i té una boca d'accés i una escala per permetre l'accés de personal. Ha de ser estanc, i es sella convenientment per dins i per fora, mitjançant l'aplicació de dos mans creuades de pintura impermeabilitzant. L'evacuació de l'aigua de la pluja es realitza mitjançant tubs d'acer inoxidable a mode de sifó, de tal manera que l'aigua sobrant surt per pressió del volum total o per pressió a l'arribada de l'oli en cas d'accident.

Es contempla també la realització de totes les canalitzacions i arquetes necessàries en l'interior de la parcel·la de la subestació, incloses les corresponents a les de mitja tensió.

### **8.5.1. Generalitats**

L'energia produïda en el parc eòlic s'evacuarà a la xarxa elèctrica a través de la subestació transformadora 20/66 kV, ubicada juntament amb les instal·lacions productores d'hidrogen situades a La Jonquera a la sortida de l'autopista del mediterrani, a la prolongació del carrer Nord direcció la Nacional II.

La subestació transformadora 20/66 kV serà intempèrie-interior i tindrà la següent configuració. Estarà equipat amb un sistema de 66 kV en intempèrie format per una posició d'entrada de línia de 66 kV i una posició de transformació 20/66 kV de 25/30 MVA. També hi haurà un transformador de potència trifàsic 20/66 kV d'intempèrie, aïllat d'oli miner, amb

regulació en buit per tomes en el costat d'alta tensió. El sistema de 20 kV, esquema de simple barra, serà tipus interior en cel·les d'aïllament en aire compost per: dues entrades de línia aèria a 20 kV procedents del parc eòlic, dues cel·les de línia, una cel·la de transformació de potència, una cel·la de transformador de serveis auxiliars, dos cel·les de bateries de condensadors, un transformador 20.000/400 V per l'alimentació de serveis auxiliars i un grup electrogen alimentat per gasoil.

Cadascun d'aquests sistemes estarà degudament equipat amb els elements de maniobra, mesura i protecció necessaris per la seva maniobra. Aquestes instal·lacions s'ubicaran a l'edifici de control del parc especificat anteriorment.

### 8.5.2. Nivells d'aïllament

Segons el MIE-RAT 12, de condicions tècniques i garanties de seguretat en central elèctriques, subestacions i centres de transformació, i els càlculs realitzats a l'annex E, per el sistema de 20 kV, els nivells d'aïllament són els que corresponen a materials del grup A ( $1 \text{ kV} < U_n < 52 \text{ kV}$ ) per aïllament ple. En canvi, per el sistema de 66 kV, els nivells d'aïllament són els que corresponen a materials del grup B ( $52 \text{ kV} < U_n < 300 \text{ kV}$ ).

A la següent taula s'especifiquen els nivells d'aïllament nominals associats a tots els valors normalitzats de la tensió més elevada suportada per materials dels dos sistemes.

	Grup A	Grup B
Tensió més elevada pel material	24 kV	72,5 kV
Tensió nominal suportada als impulsos tipus llamp	125 kV	325 kV
Tensió nominal suportat de curta duració a freqüència industrial	50 kV	140 kV

Taula 29. Definició dels nivells d'aïllament nominals

### 8.5.3. Distàncies de seguretat

L'apartat 3 del MIE-RAT 12 especifica les normes a seguir per la fixació de les distàncies mínimes a punts en tensió en l'aire. En la següent taula s'especifica el valor mínim de la distància que s'ha de respectar en els equips i instal·lacions en que no es realitzin assajos en correspondència amb un nivell d'aïllament.



Tensió nominal	Tensió suportada nominal als impulsos tipus llamps	Distància mínima fase-terra a l'aire	Distància mínima entre fases a l'aire
20 kV	125 kV	22 cm	22 cm
66 kV	325 kV	63 cm	63 cm

Taula 30. Definició de distàncies mínimes a l'aire

#### 8.5.4. Passadissos i zones de protecció

Els passadissos de servei tindran una amplada suficient per permetre la fàcil maniobra i inspecció de les instal·lacions, respectant en qualsevol cas els següents valors mínims.

	Amplada (m)
Passadissos de maniobra amb elements en tensió a un sol costat	1,00
Passadissos de maniobra amb elements en tensió a ambdós costats	1,20
Passadissos d'inspecció amb elements en tensió a un sol costat	0,80
Passadissos d'inspecció amb elements en tensió a ambdós costats	1,00

Taula 31. Dimensions dels passadissos de servei

Els elements en tensió situats sobre els passadissos estaran a una altura mínima de 3,13 metres sobre el sòl. En les zones on sigui previsible el pas d'aparells o màquines, es mantindrà una distància mínima entre elements en tensió i el punt més alt d'aquells igual o superior a 63 cm, senyalitzant convenientment la altura màxima permesa per el pas d'aparells o màquines. Igualment en zones accessibles qualsevol element en tensió estarà situat a una altura mínima sobre el terra de 2,30 m.

#### 8.5.5. Sistema de 66 kV

Els equips de maniobra, tall, protecció i mesura a instal·lar són els mostrats a la següent taula.

## Posició de línia 66 kV

1	interruptor automàtic tripolar de SF <sub>6</sub>
1	seccionador trifàsic amb fulles de posada a terra
1	seccionador trifàsic sense fulles de posada a terra
3	transformador d'intensitat
1	transformador de tensió inductiu
3	parallamps autovàlvules unipolars

## Posició de barres 66 kV

1	aïlladors suports de barres
3	transformadors de tensió inductius

## Posició del transformador 20/66 kV

1	seccionador trifàsic sense fulles de posada a terra
3	transformador d'intensitat
1	interruptor automàtic tripolar de SF <sub>6</sub>
3	parallamps autovàlvules unipolars

Taula 32. Aparellatge sistema 66 kV

**8.5.6. Sistema de 20 kV**

Respon a l'esquema de simple barra i es compon d'un conjunt de cel·les destinades a una cel·la de transformador, dues cel·les de línia, una cel·la de serveis auxiliars i dues cel·les de bateries de condensadors.

**8.5.7. Disjuntors i seccionadors**

S'instal·laran interruptors automàtics tripolars de SF<sub>6</sub>, per servei exterior, de 1.250 A d'intensitat assignada i 31,5 kA de poder de tall, amb accionament tripolar de tipus electromecànic. Estaran constituïts per tres pols, cadascun d'ells amb una sola càmera d'extinció de SF<sub>6</sub>, l'aïllament extern serà de porcellana de color marró.

L'accionament i tancament de l'interruptor serà del tipus de ressort rearmable mitjançant motor trifàsic elèctric, amb els elements necessaris per l'accionament local i a distància. Es disposarà de la possibilitat de maniobrar l'interruptor localment de forma manual.

Els interruptors disposaran de dispositius de senyalització externa de posició en el propi interruptor amb senyalitzacions de interruptor obert i tancat, ressorts tensats i desatansats.

També s'instal·laran seccionadors tripolars de dos columnes giratòries per pol, amb fulles de posada a terra en les posicions de línia i sense fulles els seccionadors de barres. Els aïlladors seran cilíndrics de material ceràmic de color marró. Les fulles seran de coure electrolític amb contactes del mateix material. Les fulles de posada a terra podran ser de ferro amb contactes de coure electrolític.

Les fulles principals disposaran d'accionament electromecànic local, remot i manual, amb un únic dispositiu de comandament previst per maniobrar simultàniament els tres pols localment, garantint maniobres segures sense sobreesforços o xocs a l'obertura o en el tancament.

Les fulles de posada a terra disposaran d'accionament manual a peu de l'aparell d'enclavament mecànic amb fulles principals del seccionador.

#### **8.5.8. Transformador d'intensitat i de tensió**

S'instal·laran transformadors d'intensitat unipolar, de tipus aïllador, servei exterior, per mesura i protecció. L'aïllament intern serà de paper impregnat amb oli, amb refrigeració natural, i l'exterior serà de porcellana color marró.

El transformador de tensió serà inductiu unipolar, de tipus aïllador, servei exterior per mesura i protecció. L'aïllament serà el mateix que el transformador d'intensitat.

#### **8.5.9. Parallamps autovàlvules**

Els parallamps instal·lats seran de tipus autovàlvula en cada fase de la línia d'entrada i en proximitats dels borns de 66 kV del transformador de potència, amb el fi de limitar els efectes produïts per eventual sobretensions en el neutre. Els parallamps seran d'òxid de zinc (OZn), per servei exterior, de 10 kA de corrent de descàrrega nominal, amb aïllament extern de material ceràmic de color marró o silicó. Estaran dotats d'un comptador de descàrregues per cada joc.

Cada element estarà equipat d'un dispositiu per l'expulsió de l'arc exterior, si la pressió a l'interior del parallamps s'eleva perillosament.

### 8.5.10. Transformador de potència

S'instal·larà una unitat trifàsica en bany d'oli per la instal·lació a l'intempèrie, amb les següents característiques:

Transformador 20/66 kV	
Potència	10 MVA ONAF/ONAF
Relació de transformació	66/20 kV
Freqüència	50 Hz
Grup de connexió	YNd11
Tensió de curtcircuit màxima	10%

Taula 33. Característiques transformador de potència

Tensió assignada	Tensió més elevada pel material	Tensió suportada a 50 Hz/1min	Tensió suportada impuls 1,2/50µs
20 kV	24 kV	140 kV	125 k V
66 kV	72,5 kV	50 kV	325 k V

Taula 34. Nivells d'aïllament segons UNE 20.101

Els transformadors disposaran de refrigeració per circulació natural de l'oli a través de radiadors refredats per aire natural (ONAN) i forçat (ONAF). El transformador, amb tots els seus accessoris haurà de constituir un conjunt complet i independent muntat sobre un bastidor provingut de rodes que permeti el seu desplaçament sobre carrils en dues direccions perpendiculars.

### 8.5.11. Cel·les de mitja tensió

Tot l'aparellatge de 20 kV serà de tipus interior, instal·lat en cabines blindades i compartimentades, a l'interior de l'edifici. La distribució i protecció en 20 kV estarà composta bàsicament de dos cel·les de protecció d'entrada de línia, una cel·la de protecció de transformador de potència i una cel·la de protecció de transformador de serveis auxiliar. Les cel·les de protecció disposaran d'un element de tall automàtic en SF<sub>6</sub>, i seran de tipus compartimentat.

Les cabines de línia es connectaran mitjançant cables soterrats unipolars d'aïllament sec RHZ1 12/20 kV Al, amb terminals del mateix grau d'aïllament. Cada toma o sortida de línia a l'exterior estarà equipada amb el corresponent joc d'autovàlvules de 24 kV de 10 kA.

### 8.5.12. Proteccions

La subestació estarà equipada amb dispositius de protecció indicats a continuació depenent dels nivells de tensió.

Línia de 66 kV
Protecció de sobreintensitat en les tres fases
Protecció direccional de sobreintensitat de terra
Protecció de màxima i mínima tensió
Protecció de freqüència
Reenganxament

Taula 35. Proteccions línia de 66 kV

Posició del transformació
Protecció de sobreintensitat en les tres fases
Protecció de sobreintensitat de neutre
Reenganxament
Protecció diferencial
Protecció pròpies de la màquina (relé de Buchholz, sobrepessió, etc)

Línia de 20 kV
Protecció de sobreintensitat en les tres fases
Protecció direccional de sobreintensitat de terra
Protecció de màxima i mínima tensió
Reenganxament

Taula 36. Característiques proteccions del transformador i línia de 20 kV

### 8.5.13. Instal·lacions auxiliars

Hi haurà una alimentació amb corrent contínua per el subministrament als sistemes de control, maniobra i enllumenat d'emergència, s'instal·larà un sistema de bateries amb una capacitat de 100 Ah a 120 i 48V, a més del corresponent rectificador i components de senyalització i protecció.

A més, hi haurà una alimentació de corrent alterna a 400V mitjançant un transformador de 50 kVA, amb debanats encapsulats, amb baixos nivells de potència sonora i descàrregues parcials, equipat de protecció de sobretemperatura. L'estació disposarà d'un grup electrogen com a segona font d'alimentació dels serveis auxiliar amb les següents característiques:

serà de 50 kVA, de gasoil amb capacitat de dipòsit de 400 litres amb un rang de tensions de 400/230 V.

#### 8.5.14. Equips de mesura

La mesura de l'energia intercanviada amb la xarxa elèctrica es realitzarà amb el Reglament de Punts de Mesura i Consum i Trànsits d'Energia Elèctrica i les seves Instruccions Tècniques. Es mesurarà en 66 kV, a partir de transformadors de tensió en barres i els transformadors d'intensitat instal·lats en la posició de sortida de línia. L'equip consistirà en un comptador d'energia activa i reactiva i un registrador amb un mòdem de comunicacions, preferentment tot integrat en un únic equip.

#### 8.6. Centre de transformació electrolitzador

Com s'ha comentat a l'apartat 6.1, és necessària una transformació de tensió a l'entrada de la instal·lació del parc de generació d'hidrogen. La tensió de treball de l'electrolitzador és de 400 V, per això és necessari la reducció de MT a BT. La línia procedent del parc d'aerogeneradors és de 20 kV, per tant, s'instal·larà un centre de transformació de mitja a baixa tensió.

El centre de transformació a instal·lar segons s'ha calculat prèviament a l'annex C, és un mòdul prefabricat del fabricant Ormanzabal, model Kiosco Ormaset. Aquest CT és un monobloc de formigó i destaca per el poc impacte visual. La instal·lació d'aquest és en superfície (semienterrat). Hi ha accessos independents a l'aparellatge de MT i de BT, cadascuna amb dues fulles amb fixació a 90° i 180°. Té una elevada seguretat per les persones contra a contactes directes accidentals, tensions de pas i de contacte, a més, està protegit contra forts impactes.

Tensió assignada			Ur	kV	24
Freqüència assignada			fr	Hz	50
Transformador	Potència			kVA	1.000
Aparellatge MT	Corrent assignada	Barres	Ir	A	400/630
		Sortida	Ir	A	400/630
	Corrent curta duració		Ik	kA	16/20
Quadre BT	Tensió assignada		r	V	420
	Corrent assignada	Barres	Ie	A	1.600

Taula 37. Característiques tècniques

Està equipat de ventilació per circulació natural de l'aire mitjançant reixetes. Les entrades de MT i sortides de BT dels cables és a través d'orificis semiperforats en la base de l'edifici. Com a la majoria de CT prefabricats, disposa d'una fosa de recollida del possible oli que desprenguin i la conducció cap al dipòsit de recollida. Aparellatge del CT és el sistema CGMCOSMOS.

La configuració serà de tres funcions en línia i un de protecció amb fusibles (3LP), com es mostra a la següent figura.

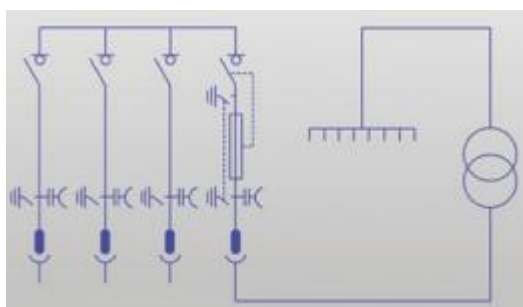


Figura 28. Configuració 3LP

### 8.6.1. Característiques constructives CGMCOSMOS

La cel·la CGMCOSMOS es basa en l'arquitectura compartimentada de cuba (A), mecanisme de maniobra (B) i base (C), especificat a la següent figura. La cuba, sellada i aïllada en gas  $\text{SF}_6$  conté l'embarrat, els elements de maniobra i els elements de tall. El dielèctric utilitzat actua com a medi d'aïllament i d'extinció. La cuba està provinguda d'una membrana per dirigir de forma segura la sortida dels gasos en cas d'arc intern, i de manòmetre pel control de la pressió del gas aïllant.

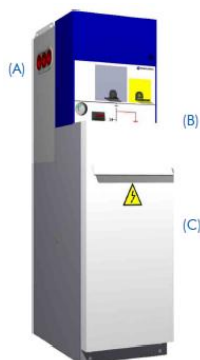


Figura 29. Parts de la cel·la

L'embarrat fa la connexió els travessador passatapa monofàsic de l'exterior de la cel·la amb els elements de tall del seu interior. La unió elèctrica entre diferents mòduls del sistema es realitza mitjançant el conjunt ORMALINK patentat en 1991 per Ormanzabal.



Figura 30. Conjunt Ormalink

Les cel·les extensibles disposen de tulipes (travessadors passatapes femelles laterals), que faciliten la connexió entre els seus embarrats principals. L'interruptor-seccionador integra en un element de tres posicions les funcions d'interruptor, seccionador i seccionador posada a terra. L'interruptor automàtic està basat en la tecnologia de tall en buit. La distància de seccionament s'assegura mitjançant un interruptor-seccionador instal·lat en sèrie.

Els fusibles de protecció s'allotgen horitzontalment en compartiments independents per fases i es carreguen mitjançant un carro portafusibles. Els compartiments portafusibles proporcionen aïllament addicional i estanquitat contra la pol·lució, canvis de temperatura i condicions climàtiques adverses. Des del seu interior l'acció del percussió del fusible es transmet en el dispar.

El mecanisme de maniobra permet realitzar operacions de connexió i desconexió en els circuits de MT. Els esquemes sinòptics frontals integren els dispositius de senyalització de posició. Màxima fiabilitat verificada mitjançant l'assaig en cadena cinemàtica del mecanisme de senyalització segons la IEC 62271-102.

El compartiment de cables, que es pot observar a la següent figura, està ubicat en la zona inferior davantera de la cel·la, disposa de tapa enclavada amb el seccionador de posada a terra, la qual permet accés frontal al cablejat de MT.

La connexió dels cables aïllats de MT procedents de l'exterior es realitza mitjançant travessadors passatapes admeten connectors endollables o cargolables aïllats amb o sense pantalla equipotencial.



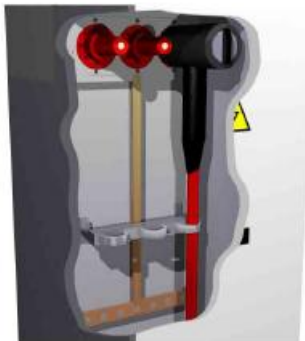


Figura 31. Compartiment cablejat

### 8.6.2. Seguretat

Les cel·les estan dissenyades per la protecció de persones i bens contra els efectes d'un arc intern segons els criteris de l'Annex A de la norma IEC 62271-200.

A més, les cel·les disposen d'enclavaments interns de sèrie que permet un servei fiable i segur, d'acord amb les exigències de la norma IEC 62271-200. El conjunt d'enclavaments evita operacions insegures, impossibilita tancar simultàniament l'interruptor-seccionador i el seccionador de posada a terra. Permet l'obertura de la tapa d'accés als cables de MT únicament amb el seccionador de posada a terra connectat. També condiona l'accés a la zona de cables/portafusibles. Les cel·les d'aquest sistema admeten independentment la realització de maniobres per cadenat de l'interruptor i del seccionador de posada a terra.

Els elements de tall i connexió es torben dins d'una cuba d'acer inoxidable, estanca i hermèticament sellada, aïllats en SF<sub>6</sub>. Aquest aïllament integral en gas proporciona insensibilitat contra efecte dels arcs interns, protegint a persones i bens. La seva estanquitat manté en condicions òptimes d'operació durant la vida útil de la cel·la, segons la norma IEC 62271-1.

El centre de transformació estarà equipat per enllumenat d'emergència i material de seguretat per persones: banqueta aïllant per maniobrar, un parell de guants de maniobra, una placa reglamentària "Perill de mort" i "Primers auxilis".

## 8.7. Línia aèria de 66 kV

Aquesta línia aèria de 66 kV té com a objectiu connectar la subestació elèctrica del parc amb l'estació transformadora de l'empresa distribuïdora de la zona, amb la finalitat d'evacuar l'energia elèctrica generada pel parc eòlic a la xarxa elèctrica.

La línia recorrerà paral·lela a la Nacional II, discorrent el carrer del Nord, direcció l'estació transformadora. La longitud de la línia serà de 586 m i tindrà les següents característiques calculades a l'annex A.

Tensió nominal (kV)	66
Freqüència (Hz)	50
Potència màxima de transport (MW)	29,013
Conductor de fase	LA-110
Número de circuits	1
Número de conductors per fase	1
Cable de fibra òptica/terra	AC-50
Tipus d'aïlladors	Vidre
Longitud de la línia (km)	0,586
Zona aplicació	A
Número suport en angle	1
Número suports en alineació	1
Número suports final de línia	2
Cimentacions	Monoblocs

Taula 38. Característiques de la línia de 66 kV

### 8.7.1. Emplaçament de la línia

La línia té origen a la subestació situada juntament amb el parc de producció d'hidrogen i mitjançant 5 suports arribarà a l'estació transformadora situada al carrer Nord, 2. La línia transcorrerà íntegrament dins del municipi de La Jonquera.

Com s'ha descrit a la línia aèria de 20 kV, les línies estan formades per cantons seguint els canvis de desnivell del terreny. Tenint en compte que un cantó és el tram entre dos suports d'amarratge o ancoratge, es triarà col·locar aquests suports en zones a prop d'un desnivell pronunciat i en encreuaments amb carreteres o edificacions. A la següent taula podem veure els cantons que tindrà la línia i els encreuaments.

Cantons	Vans de regulació (m)	Angle amb el següent cantó
1-2	201	165°
2-3	180	0°
3-4	205	0°

Taula 39. Resum cantons línia 66 kV

### 8.7.2. Suports

Els suports a utilitzar compliran els mateixos requisits de la línia estudiada anteriorment de 20 kV. Hauran de ser metàl·lics de gelosia de les sèries contemplades a la norma Endesa LNE008, dissenyats per un circuit simple de 66 kV amb cúpula per cable de terra. La línia estarà formada per 4 suports, dos faran la funció de final de línia, un suport d'amarratge amb angle de 165° i l'altra suport serà d'alineació amb amarratge. Tots els suports seran d'amarratge, ja que la zona d'aplicació de la línia transcórrer per una zona d'aparcament i sobrevola la via d'accés a la nacional II. La posició aproximada de cada suport ve indicada per les coordenades mostrades a la següent taula, s'ha de tenir en compte que poden variar les coordenades si el terreny fa difícil la instal·lació del suport.

Suport	Funció suport	Denominació	X	Y
1	FL	ARCE AGR-9000	491871,5	4698205,5
2	AN-AM	ARCE HAR-5000	491634,5	4698195,5
3	AL-AM	ARCE MI-1500	491253,5	4698230,5
4	FL	ARCE HAR-9000	490934,5	4698265,5

Taula 40. Suports i coordenades línia 66 kV

### 8.7.3. Cimentacions

Les cimentacions dels suports seran de formigó monobloc. Aquest tipus de fonamentacions està composta per un sol bloc de formigó de forma prismàtica. Aquest bloc sobresortirà del terreny, com a mínim 20 cm, formant un sòcol, amb l'objectiu de protegir els extrems inferiors dels muntants i les unions.

A l'apartat 3.6.1. de la ITC-07 del RLEAT marca que aquest tipus de fonamentacions han de tenir un coeficient de seguretat a la bolcada de 1.5 per a hipòtesis normals. Aquest coeficient de seguretat és la relació entre el moment estabilitzador mínim respecte a l'aresta més carregada de la fonamentació i el moment bolcador màxim motivat per les forces externes. Aquestes fonamentacions tindran les dimensions necessàries per suportar les càrregues tan

de compressió com d'arrencada com el suport transmet al terra. Tal i com s'indica a l'apartat 3.6 de la ITC-07 del RLEAT, s'han de realitzar comprovacions a l'arrencada, a compressió i l'adherència entre ancoratge i fonamentació.

#### 8.7.4. Característiques dels conductors

S'utilitzaran els mateixos conductors de la línia de 20 kV descrita anteriorment, és per això que el conductor escollit per la instal·lació de la línia de 66 kV, serà d'alumini amb ànima d'acer galvanitzat del tipus 94-AL1/22-ST1A (LA 110), d'acord amb les normes UNE-EN 50182, de 26 de setembre de 2002, de conductors per línies elèctriques aèries, conductors de filferros rodons cablejats amb capes concèntriques. El conductor de terra que protegeix contra les descàrregues atmosfèriques serà del tipus 50-ST1A (AC-50) amb les mateixes condicions esmentades a l'apartat 8.3 de la Memòria. Les característiques dels conductors estan descrites a les següents taules.

Secció total (mm <sup>2</sup> )	Alumini	94,20
	Total	116,20
Equivalent en coure (mm <sup>2</sup> )		60,00
Diàmetre total (mm)	Acer	6,00
	Total	14,00
Alumini	Número/diàmetre	30/2
Acer	Número/diàmetre	7/2
Càrrega de ruptura (daN)		4.310,00
Resistència elèctrica a 20°C (Ω/km)		0,31
Massa (kg/km)		433,00
Mòdul d'elasticitat (daN/mm <sup>2</sup> )		8.000,00
Densitat de corrent de l'alumini (A/mm <sup>2</sup> )		2.988,00
Coeficient de dilatació lineal (°C <sup>-1</sup> · 10 <sup>-6</sup> )		17,80

Taula 41. Característiques del conductor de fase

Secció resistent (mm <sup>2</sup> )	49,48
Diàmetre exterior (mm)	9,00
Nombre de filferro	7,00
Diàmetre dels filferros (mm)	3,00
Càrrega de ruptura (daN)	6,17
Mòdul d'elasticitat teòric (daN/mm <sup>2</sup> )	18,00
Resistència elèctrica a 20°C (Ω/km)	4,09
Coeficient dilatació lineal (°C <sup>-1</sup> )	11,50 · 10 <sup>-8</sup>

Taula 42. Característiques conductor de terra

### 8.7.5. Aïlladors

L'aïllament està dimensionat mecànicament per el conductor LA-110, garantint un coeficient de seguretat a ruptura superior a 3, i elèctricament per 66 kV . Aquest constarà de cadenes senzilles amb aïlladors de vidre. Es pot diferenciar entre dos tipus suports, de suspensió i d'amarratge o ancoratge.

El tipus d'aïllador que s'utilitzarà en ambdós cadenes serà l'U70BS, les característiques d'aquest es mostra a la següent taula.

Material	Vidre
Denominació	U70BS
Pas (mm)	127
Diàmetre (mm)	255
Línia de fuga (mm)	320
Càrrega de ruptura (kN)	70
Norma d'acoblament	11

Taula 43. Característiques de l'aïllament

La normativa aplicable són la Norma GE LNE003 d'Endesa, d'aïlladors de vidre per línies aèries d'alta tensió superiors a 66 kV. La norma UNE-EN 60383, d'assajos d'aïlladors per a línies superiors a 1000 V. Les característiques elèctriques del conjunt d'aïlladors són, segons CEI 383, d'aïlladors per línies aèries de tensió superior a 1 kV, són les mostrades a continuació.

Tensió suportada de curta durada a freqüència industrial (kV)	420
Tensió suportada als impulsos tipus llamp (kV)	600
Longitud de línia de fuga (mm)	1.920

Taula 44. Característiques conjunt d'aïlladors

### 8.7.6. Ferramentes

S'engloba sota aquesta denominació tots els elements necessaris per la fixació d'aïlladors als suports i als conductors, els de fixació del conductor de terra al suport, els de protecció elèctrica dels aïlladors i els accessoris del conductor com antivibradors, separadors, etc.

Per l'elecció de les ferramentes es tindrà en compte el comportament sota l'efecte corona i serà fonamentalment d'acer forjat, protegit de la oxidació mitjançant un galvanitzat de foc. Hauran de tenir un coeficient de seguretat mecànic no inferior a 3 respecte a la seva càrrega mínima de ruptura, segons l'apartat 3.3 de la ITC-07 del RLEAT.

## 9. ESTUDI VIABILITAT ECONÒMICA

Un dels aspectes més importants és l'avaluació econòmica del projecte per proporcionar la informació necessària perquè el projecte es consideri viable econòmicament. A continuació es realitzarà l'estudi econòmic del projecte a estudi considerant en tot moment que la producció anual és estimada, de la mateixa manera que el valor del mercat de l'energia produïda.

### 9.1. Despeses

Les despeses del parc es poden dividir en dos grans grups. Per un costat tenim les despeses d'inversió, que corresponen a les fetes abans i durant la instal·lació del parc eòlic, i les despeses d'explotació, que són aquelles un cop ja està instal·lat els parcs i posats en funcionament. Un cop estipulades les despeses d'inversió calculades en el pressupost del projecte, es pot observar que el cost d'inversió ascendeix a 21.747.134,70 euros.

Les despeses d'explotació es poden estimar i desglossar en el cost del lloguer dels terrenys del parc eòlic i el parc de producció d'hidrogen, costos de la operació i manteniment per un correcte funcionament de les instal·lacions, gestió i administració del parc i assegurances i impostos a pagar durant el funcionament.

Segons el Pla de Energies Renovables 2011-2020, decreta que es poden considerar les despeses d'explotació com un 4-6% del cost d'inversió de la instal·lació, quedant repartit aquest valor amb aquest percentatges:

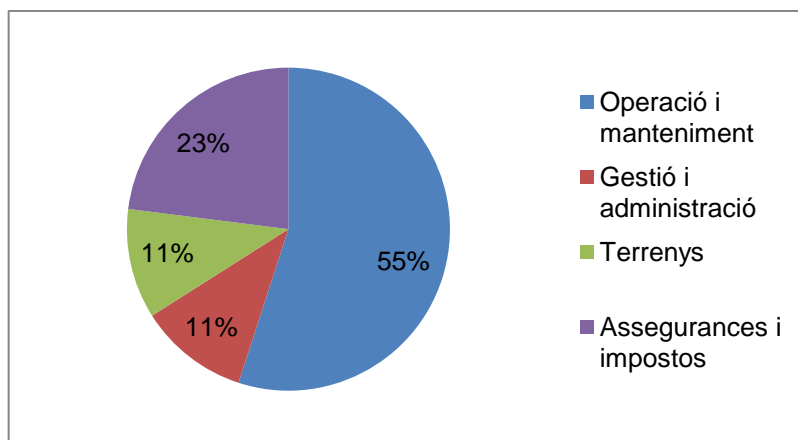


Figura 32. Parts de les despeses d'explotació

És per això que considerarem un 3,5% del cost de la inversió, i s'obté que les despeses d'explotació ascendeixen a 761.149,71 euros anuals.

A continuació es mostra la taula amb els corresponents despeses fraccionades:

Concepte	%	Import (€)
Operació i manteniment	55,00	418.632,34
Terrenys	11,00	83.726,47
Assegurances i impostos	23,00	175.064,43
Gestió i administració	11,00	83.726,47

Taula 45. Costos parcials d'explotació anuals

## 9.2. Ingressos

Els ingressos que es produeixen son derivats de la venda d'energia elèctrica i d'hidrogen. Aquesta activitat, en general, té un règim diferent al de la venda d'energies tradicionals, trobades en el règim ordinari. Si aquestes energies rebessin un preu per kW/h similar al de qualsevol central convencional, no serien rentables a nivell econòmic.

És per això que per tal de disminuir les emissions de CO<sub>2</sub>, les energies renovables s'acollen al denominat règim especial segons marca el Reial Decret 661/2007, de 25 de maig, pel que es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.

Els ingressos per venda en mercat estan tarificats a un preu/kWh, que ja conté la prima, de 9,7153 c€/kWh, última actualització del 28 de gener del 2012 al RD611/2006 article 29. Per una producció anual de 2,33 GW/any tenim un ingressos per venda en mercat de 2.306.673,12 €/any.

## 9.3. Valorització econòmica

Per la valorització econòmica es calcula la Taxa Interna de Retorn del projecte, TIR, paràmetre que representa la rendibilitat del projecte en sentit estricte, és a dir, en el suposat que tota la financiació s'efectués amb fondos propis. La TIR és un tipus de descompte a efectes d'actualització amb el que s'igualen els fluxos de caixa positius i negatius en un projecte d'inversió. Pel que el projecte sigui rentable, la TIR ha de ser major al cost del



capital empleat. També es pot considerar com el tipus d'interès, utilitzat per descomptar o actualitzar els fluxos de rendibilitat d'una inversió.

En aquest projecte la TIR a 25 anys queda definida amb un 5,65%. Del valor obtingut es dedueix que mitjançant una financiació adequada es pot obtenir una rendibilitat major que si s'efectués tota la inversió amb fondos propis.

Si analitzem la TIR en els 25 anys, no comença a generar beneficis fins 14è any, on la TIR és de 0,78%.

#### **9.4. Amortització**

El període d'amortització és el valor més important a l'hora d'avaluar la viabilitat econòmica dels parcs. L'amortització es calcula dividint els costos d'inversió amb els ingressos anuals restant-li els costos d'explotació.

S'obté una amortització de 13,21 anys, amb el que s'estima que la inversió del projecte estarà totalment amortitzada en el període de 14 anys. Considerant que la vida útil estipulada en aquests tipus d'instal·lacions són de 25 anys, com a mínim, obtenim que durant 11 anys s'estaran generant beneficis.

## **10. RESUM DEL PRESSUPOST**

El cost total del parc eòlic amb la planta per la producció d'hidrogen, que està detallat en el pressupost ascendeix a disset milions nou-cents setanta-dos mil vuit-cents trenta-vuit euros amb seixanta cèntims, sense I.V.A.

## 11. CONCLUSIÓ

Atenent a tots els criteris de política energètica europea, regional i els interessos municipals, s'ha desenvolupat el projecte de disseny, construcció i explotació d'un parc eòlic i un parc de producció d'hidrogen. Complint amb els objectius proposats al inici del projecte, el parc eòlic projectat té una potència nominal de 20 MW situat al terme municipal de la Jonquera.

Les fases fonamentals per el desenvolupament del projecte es descriuen a continuació. En primer lloc, s'ha identificat un potencial emplaçament i s'ha mesurat i avaluat el recurs eòlic de la zona. Una vegada realitzada l'avaluació del recurs, s'ha definit la instal·lació del nombre i posicionament dels aerogenerador per poder obtenir una aproximació del potencial eòlic anual. Definida la instal·lació, s'han especificat les característiques de tota la infraestructura relacionada per l'evacuació de l'energia generada a la xarxa elèctrica i al parc de producció d'hidrogen.

En tot moment s'han seguit els reglaments i instruccions tècniques a l'hora de realitzar els càlculs exposats als annexos de la memòria, i a tots els documents que l'acompanyen.

S'ha pogut comprovar la viabilitat tècnica i econòmica del projecte amb una amortització de 14 anys, tenint en compte, a curt termini, una conservació del preu de l'energia. Tot i que podria augmentar amb nous canvis de política sobre energies renovables, com podria ser amb el sorgiment de noves primes, per el desenvolupament de noves tecnologies com la de l'hidrogen presentada en aquest estudi.

Com s'ha comentat la inversió inicial del projecte és elevada, i els costos de producció són notables, tot i això, tenint en compte que no existeixen financiacions, no fan variar la rendibilitat del projecte, ja que els marges entre costos de producció i els ingressos a percebre encara poden absorbir possibles augments.

Albert Cucharero Mayol  
Graduat en Enginyeria Elèctrica

Sant Feliu de Guíxols, 31 de maig de 2015.

## **12. RELACIÓ DE DOCUMENTS**

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

### 13. BIBLIOGRAFIA

Associació Empresarial Eòlica (<http://www.aeeolica.org/> , 4 de març 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](http://www.boe.es/boe_catalan/dias/2008/03/19/pdfs/BOE-A-2008-5269-C.pdf), 12 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](http://www.boe.es/boe_catalan/dias/2001/01/15/pdfs/A00061-00111.pdf), 18 de abril de 2015)

Centro Nacional del Hidrogeno ([www.cnh2.es](http://www.cnh2.es), 12 d'abril de 2015)

Endesa Distribución. Proyecto de ejecución línea aérea alta tensión, 22 de març de 2015.

EON projecte P2G Alemanya (<http://www.eon.com/en/media/news/press-releases/2013/8/28/eon-inaugurates-power-to-gas-unit-in-falkenhagen-in-eastern-germany.html>, 2 d'abril de 2015)

GAS NATURAL FENOSA ([www.gasnaturalfenosa.es](http://www.gasnaturalfenosa.es), 23 d'abril de 2015).

GTAI Power to Gas Technology ([www.gtai.de](http://www.gtai.de), 8 d'abril de 2015).

Hidrogena Desarrollos Energéticos SL ([www.hidrogena.com](http://www.hidrogena.com), 2 de maig de 2015).

Iberdrola Distribución. Proyecto Tipo. Línea aérea de 66kV, 19 de març de 2015.

Imedexsa. Catálogo general.

([https://dl.dropboxusercontent.com/u/46503025/CatalogoCompleto2012\\_ES.pdf](https://dl.dropboxusercontent.com/u/46503025/CatalogoCompleto2012_ES.pdf), 10 de març de 2015)

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Atlas eòlic espanyol (<http://atlaseolico.idae.es/>, 14 de març de 2015).

Ledesme Larrea, Pablo. *Línea aérea de 132kV para el transporte de 50MAV*  
Leganés: Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior, 2011.  
(<http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13631/PFCSEMBFINAL.pdf?sequence=1>) ,  
23 febrer 2015.)

Made Torres. Serie Arce.

([http://www.invertaresa.com/GRUPO/made/espanol/descargas/catalogos/05\\_serie\\_arce.pdf](http://www.invertaresa.com/GRUPO/made/espanol/descargas/catalogos/05_serie_arce.pdf),  
14 de març de 2015

ORMAZABAL. Transporte y Distribucion (<http://www.ormazabal.com/es/tu-negocio/compa%C3%B1%C3%ADa/transporte-y-distribuci%C3%B3n>, 3 de maig de 2015)

Osoro Sánxhez, Julia. Línea de alta tensión simple circuito a 132kV entre las subestaciones B y M en Ciudad Real. Projecte Fi de Carrera. Ingeniería Industrial. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad Pontificia Comillas.

PLA D'ENERGIES RENOVABLES 2011-2020

(<http://www.idae.es/index.php/id.670/relmenu.303/mod.pags/mem.detalle>, 24 de febrer de 2015)

UNESA. Regulacion Eléctrica en España y Europa. (<http://www.unesa.es/sector-electrico/la-regulacion-electrica-en-espana-y-europa>, 9 de març de 2015)

Xargayó Bassets, J. (2013). *Exemple "Annex de càlculs" d'una línia d'A.T.* Apunts procedents de UdGMoodle.

Xargayó Bassets, J. (2013). *Exemple de projecte d'execució línia AT.* Apunts procedents de UdGMoodle.

## 15. GLOSSARI

BT: Baixa Tensió

C.d.T.= Caiguda de Tensió

CT: Centre de Transformació

EHE: Institución Española del Hormigón Estructural

ET: Estació Transformadora

Icc: Intensitat de curtcircuit

ISO: International Organization for Standardization

ITC: Instrucció Tècnica Complementària

LAT: Línia Alta Tensió

MT: Mitja Tensió

P2G: Power to Gas

P.A.T: Posada A Terra

PVC: Clorur de Polivinil

RLEAT: Reglament de Línies Elèctriques d'Alta Tensió

UNE: Une Norma Española

XLPE: Polietilè Reticulat.

## A. CÀLCULS ELÈCTRICS LÍNIES AÈRIES

La Instrucció Tècnica Complementària, ITC-LAT-07, del Reglament de Línies Elèctriques d'Alta Tensió, sobre les línies aèries amb conductors nus, que es troba regulada al Reial Decret 223/2008, de 15 de febrer, pel que s'aproven el Reglament les condicions tècniques i garanties de seguretat en línies elèctriques d'alta tensió i les seves instruccions tècniques complementàries, de la 01 a la 09, estableix al seu apartat 4 (càlculs elèctrics), subapartat 1 (règim de funcionament), els càlculs s'han de tenir en compte en línies aèries amb conductors nus.

Conseqüentment, el projecte de les línies aèries d'alta tensió ha de recollir els càlculs citats anteriorment, de forma que la secció del conductor escollit compleixi amb cada un dels criteris següents:

La intensitat màxima admissible per el conductor ha de ser superior a la intensitat admissibles. La caiguda de tensió, en règim permanent, ha d'estar dins d'unes toleràncies admissibles.

Les pèrdues de potència (pèrdues per efecte de Joule i efecte corona) han d'estar dins d'unes toleràncies admissibles.

Es realitzaran aquests càlculs de les dues línies paral·lelament, ja que es tracta del mateix conductor i el mateix tipus de línia, circuit simple. A la següent taula podem veure les característiques elèctriques de les dues línies.

	Línia de 20 kV	Línia 66 kV
Tensió nominal (kV)	20	66
Freqüència (Hz)	50	20
Número de circuits	1	1
Número de conductors per fase	1	1
Cos $\varphi$	0,9	0,9
Caiguda de tensió	6%	6%
Longitud de la línia (km)	2,8	0,586

Taula 46. Característiques elèctriques de les línia aèries



El conductor que constitueix ambdues línies de circuit simple és del tipus 94-AL1/22-ST1A (LA 110), on les característiques principals són:

Denominació	94-AL1/22-ST1A o LA 110
Secció resistent (mm <sup>2</sup> )	116.2
Diàmetre exterior (mm)	14.00
Nombre de filferros	37
Diàmetre dels filferros (mm)	2.00
Càrrega de ruptura (kN)	43.17
Pes aproximat (kg/km)	432.5
Mòdul d'elasticitat teòric (N/mm <sup>2</sup> )	80000
Resistència elèctric a 20°C (Ω/km)	0.3067
Coeficient dilatació lineal (1/K)	17.9E-6

Taula 47. Característiques elèctriques LA-110

La ITC-LAT-07, en el seu Apartat 4.2.1, estableix les densitats de corrent màximes en règim permanent per els conductors de coure, alumini i aliatge d'alumini. Les densitats màximes en règim permanent no han de sobrepassar uns valors específics. Per una secció nominal del cable d'alumini de 95mm<sup>2</sup>, la densitat de corrent és de 3.2 A/mm<sup>2</sup>. Per altra banda, per una secció de 125mm<sup>2</sup>, la densitat de corrent disminueix a 2,90A/mm<sup>2</sup>.

El conductor escollit té una secció de 116.2mm<sup>2</sup>, no té cap densitat de corrent establerta, és per això que s'interpolà entre els valors més propers, corresponent una densitat de corrent de 2,988A/mm<sup>2</sup>. S'indica que pels cables d'alumini-acer amb composició 30+7, s'ha d'aplicar un coeficient corrector a la densitat de corrent de 0,916. El valor resultant s'ha d'aplicar per a la secció total del conductor.

Per tant, aplicant el factor de correcció de 0,916 i aplicant el valor per a tota la secció, obtenim una intensitat màxima de circulació pel cable de 318,04A.

Amb aquesta intensitat es pot deduir la potència màxima de transport de les línies. Aquesta està limitada per la intensitat màxima determinada anteriorment i per la caiguda de tensió. L'equació per trobar la potència, és la mostrada a continuació.

$$P_{\max} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_{\max} \cdot \cos\varphi \quad (\text{Eq. 1})$$

On:

$U_N$ : tensió nominal de la línia.

$I_{\max}$ : intensitat màxima del conductor.

$\cos\varphi$ : factor de potència de la línia.

S'efectuen els càlculs per ambdues línies aplicant diferents valors de tensió nominal, 20 kV i 66 kV, i es treu com a resultat que la potència màxima de transport per la línia de 20 kV serà de 9,91 MW. Per la línia de 66 kV la potència serà de 32,72 MW.

Per trobar el valor de caiguda de tensió i de pèrdua de potència, s'ha de calcular els valors de resistència, reactància i susceptància de la línia.

### A.1. Resistència

La resistència presentada pels conductors d'una línia és la causa més important de pèrdua de potència en les línies elèctriques d'alta tensió. Aquest paràmetre depèn tant de les característiques del conductor com dels factors externs com la temperatura.

La resistència en corrent continu d'un conductor a la temperatura  $\Theta$  ve donada per l'expressió,

$$R_{\Theta} = R'_{\beta} \cdot [1 + \alpha_{20^{\circ}} \cdot (\Theta - 20)] \quad (\text{Eq.2})$$

On:

$R_{70^{\circ}\text{C}} = R_{\Theta} =$  Resistència en corrent continu a  $70^{\circ}\text{C}$  (temperatura de servei). El RLAT marca que no es pot superar els  $85^{\circ}\text{C}$ .

$R'_{\beta} = R_{20^{\circ}\text{C}} =$  Resistència en corrent continu a  $20^{\circ}\text{C}$ , valor que ve especificat pel fabricant i normes.

$\alpha_{20^{\circ}\text{C}} =$  Coeficient temperatura ( $1/^{\circ}\text{C}$ ), suposem alumini pur.

La resistència en corrent altern d'un conductor a la temperatura  $\Theta$  ve donada per l'expressió,

$$R_{\Theta} = R'_{\Theta} \cdot (K) \tag{Eq.3}$$

On:

$R'_{\Theta}$  = Resistència del conductor en corrent contínua a la temperatura  $\Theta$ .

$K$  = Factor d'efecte pel·licular.

Per obtenir el valor de la resistència en corrent altern, ha sigut necessari el càlcul de la resistència en CC, que ha obtingut un valor de 0,3686  $\Omega$ /km, i el factor d'efecte pel·licular, és per això que es realitzen els següent càlculs. Per trobar l'efecte pel·licular s'aplica la següent equació depenent de la longitud de la línia, és per això que es realitzarà per ambdues distàncies.

$$x = 0,063598 \cdot \sqrt{\frac{f \cdot \mu}{R'_{\Theta} \cdot l}} \tag{Eq. 4}$$

On:

$f$ : freqüència de la línia (50 Hz)

$\mu$ : permeabilitat del conductor ( $12,56 \cdot 10^{-7}$ )

$R'_{\Theta}$ : resistència del conductor en corrent contínua (0,368  $\Omega$ /km)

$l$ : longitud de la línia ( $L_{20kV}=2,8$  km i  $L_{66kV}=0,586$  km)

Com a resultat de l'equació 4, s'ha obtingut que els dos valors depenent de la longitud de la línia és aproximadament 0. Mirant la taula de relacions d'efecte pel·licular es troba que  $K$  té un valor de 1.

$x$	$K$	$K'$	$x$	$K$	$K'$	$x$	$K$	$K'$	$x$	$K$	$K'$
0.0	1.00000	1.00000	2.9	1.28644	0.86012	6.6	2.60313	0.42389	17.0	6.26817	0.16614
0.1	1.00000	1.00000	3.0	1.31809	0.84517	6.8	2.67312	0.41171	18.0	6.62129	0.15694
0.2	1.00001	1.00000	3.1	1.35102	0.82975	7.0	2.74319	0.40021	19.0	6.97446	0.14870
0.3	1.00004	0.99998	3.2	1.38504	0.81397	7.2	2.81334	0.38933	20.0	7.32767	0.14128
0.4	1.00013	0.99993	3.3	1.41999	0.79794	7.4	2.88355	0.37902	21.0	7.68091	0.13456

Taula 48. Taula de relacions efecte pel·licular

Amb aquest valor es passa a calcular la resistència en corrent altern i es troba que per la línia de 66 kV i la de 20 kV serà el mateix valor. Per tant, tenim que la resistència en corrent altern serà de 0,368 Ω/km.

A partir de les característiques del conductor donades pel fabricant, s'han obtingut els valors de la resistència per diferents temperatures exposades a la Taula 48 i representat a la Figura 30.

Temperatura (°C)	20	60	75	85	90
R'(CC)(Ω/km)	0,3067	0,3594	0,3792	0,3924	0,399
R(CA)(Ω/km)	0,3067	0,3595	0,3793	0,3925	0,3991

Taula 49. Valors de resistència en funció de la temperatura

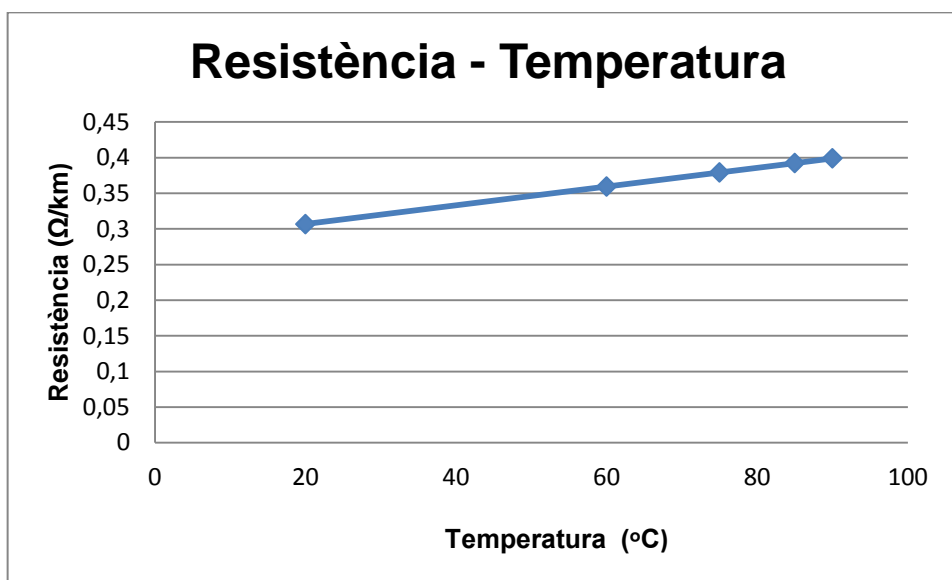


Figura 33. Representació de l'evolució de la resistència en funció de la temperatura

## A.2. Reactància

Tot conductor es troba sota l'efecte de dos fluxos de diferent naturalesa. Per una banda, el flux que s'introdueix en el propi conductor degut al pas del corrent, afectant tant a l'interior del conductor com a la part exterior. D'altra banda, la suma dels fluxos originats per altres conductors propers. Aquests fluxos creen forces electromotrius (fem) autoinduïdes que originen una reactància X, definida per l'expressió:

$$X=2\pi \cdot f \cdot L \tag{Eq.5}$$

On:

f=freqüència

L= Coeficient d'inducció mútua, donat per la següent expressió:

$$L = \left( \frac{1}{2n} + 4,605 \log \left( \frac{DMG}{RMG'} \right) \right) 10^{-4} \quad (\text{Eq.6})$$

On: DMG i RMG' corresponen a la distància mitja geomètrica entre conductors i el radi equivalent del feix de subconductors respectivament. Aquests paràmetres depenen del tipus de suport.

Els paràmetres DMG i RMG' venen definits per les següents equacions.

$$RMG' = r \cdot e^{\frac{1}{4}} \quad (\text{Eq.7})$$

$$DMG = \sqrt[3]{d_{12} + d_{23} + d_{31}} \quad (\text{Eq.8})$$

On:

r=radi del conductor (mm)

d<sub>ij</sub>= distància entre el conductor 'i' i el conductor 'j' (mm)

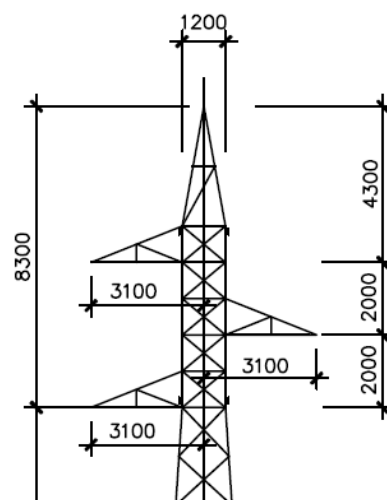


Figura 34. Dimensions de la creueta

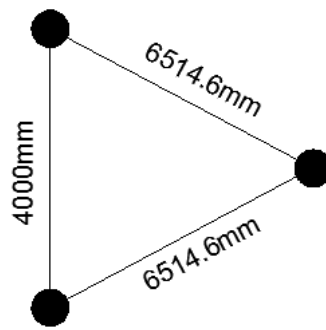


Figura 35. Distàncies cablejat a la creueta

Tenim que les dues línies aèries elèctriques de la nostra instal·lació equipen la mateixa creueta, és per això que se'ns simplifiquen els càlculs. Si apliquem les equacions anteriors obtenim com a resultats els mostrats a la següent taula.

X (Ω/km)	0,4351
DMG (mm)	5537,05
RMG' (mm)	5,4516
L (H/km)	1,385·10 <sup>-3</sup>

Taula 50. Valors de la reactància

### A.3. Susceptància

La diferència de potencial entre els conductors que formen la línia, dóna lloc a la capacitat. Es pot definir la capacitat com la càrrega per unitat de diferència de potencial. El valor d'aquest paràmetre depèn tant de les propietats del conductor com de la geometria de la creueta i queda definit per la següent expressió.

$$C = \frac{24,2}{\log \frac{DMG}{RMG}} 10^{-9} \tag{Eq. 9}$$

On:

RMG: Radi del feix de subconductors (mm)

DMG: Distància mitja geomètrica entre conductors (mm)

La susceptància s'obté multiplicant el valor de la capacitat obtingut per la pulsació, segons la següent equació.

$$B=2\pi \cdot f \cdot C \quad (\text{Eq.10})$$

Com a l'apartat anterior de l'annex A, ens tornem a trobar amb un sol càlcul per ambdues línies. El valor obtingut queden recollits a la següent taula.

B (S/km)	C (F/km)
$2.528 \cdot 10^{-6}$	$8.33 \cdot 10^{-9}$

Taula 51. Valors susceptància i capacitat

#### A.4. Conductància

La conductància representa la facilitat d'un conductor al pas del corrent. Aquest paràmetre depèn de múltiples factors com la tensió, la temperatura, el tipus d'aïllador utilitzat i el número d'aïlladors per km.

Tenint en compte la longitud de la línia, les pèrdues per efecte corona i les pèrdues en els aïlladors es poden considerar menyspreables, per tant considerarem que el valor de la conductància és zero.

#### A.5. Càlcul model equivalent

Amb l'objectiu de representar el comportament d'una línia, s'utilitzaran tres models en funció de les característiques de la línia: el model en sèrie, el model en  $\pi$  i el model de paràmetres distribuïts.

El model en sèrie és el més senzill i és adequat per a línies curtes, amb una longitud màxima de 100 km. El model  $\pi$  és recomanat per a línies de longitud mitja, entre 100 i 300 km. El model de paràmetres distribuïts és el més complex dels tres model i està recomanat per a línies llargues, de més de 300 km.

En el cas a estudi, ens trobem en dos casos de línia curta de menys de 100 km, és per això que en ambdues instal·lacions s'utilitzarà el model en sèrie.

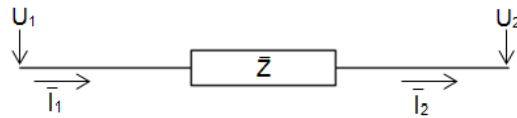


Figura 36. Representació model en sèrie

La Z és la suma de la resistència i a reactància. El valor de Z que serà el mateix tant per la línia de 20 kV com la de 66 kV serà de  $0,368+0,4352j \Omega/\text{km}$ .

### A.6. Caiguda de tensió de la línia

Utilitzant el model equivalent en sèrie descrit a l'apartat anterior, es calcula la caiguda de tensió que es produeix a la línia.

$$\Delta U = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_2|} \cdot 100 \quad (\text{Eq.11})$$

On:

$U_2$  = Tensió composta

$U_1$  = Tensió composta

Per poder aplicar l'equació anterior és necessari  $U_1$ , per fer-ho s'aplica la següent equació per trobar la intensitat.

$$I_1 = I_2 = \left( \frac{\bar{S}}{\sqrt{3} \cdot U_N} \right)^* \quad (\text{Eq. 12})$$

On:

$U_N$ : Tensió composta (66  $\angle$  0° kV) i (20  $\angle$  0° kV).

S: Potència aparent de la línia de 66 kV (32,71  $\angle$  25,84° MVA) i (9,91  $\angle$  25,84° MVA) per la línia de 20 kV.



Aplicant les equacions anteriorment descrites obtenim que la caiguda de tensió per la línia de 66 kV serà de 2,34% i de la línia de 20 kV serà de 2,724%, ambdós inferiors al màxim recomanat per aquest tipus d'instal·lacions (5%).

## A.7. Pèrdues per potència

Es calcularan les pèrdues per potència d'una línia, que poden ser per efecte de Joule i per efecte corona.

### A.7.1. Pèrdues per efecte Joule

Quan circula un corrent per una línia trifàsica es produeix una pèrdua de potència, on el seu valor és:

$$P_p = 3 \cdot I_s^2 \cdot Z \cdot l \quad (\text{Eq.13})$$

On:

$P_p$  = Pèrdua de potència en la resistència sèrie en Watts.

$I_s$  = Corrent en (A) que circula per la línia.

$Z$  = Impedància de la línia ( $\Omega/\text{km}$ )

$l$  = Longitud total de la línia en (km)

$$\Delta P_{\%} = \frac{P_p}{P} \cdot 100 \quad (\text{Eq.14})$$

La pèrdua de potència percentual de una línia també pot expressar-se com diferència relativa entre la potència entregada per la font d'alimentació i la potència que arriba a la càrrega.

En la línia de 66 kV s'ha trobat que la pèrdua de potència és d'un 0,2505% que representen 81.800 W i un 3,95%, 391.445 W per la línia de 20 kV.

### **A.7.2. Pèrdues per efecte corona**

L'efecte corona és un fenomen que es produeix quan els conductors d'una línia arriben a un potencial amb un valor superior o igual a la rigidesa dielèctrica de l'aire. En aquesta situació, l'aire actua com conductor i es produeixen corrent de fuga, donant lloc a pèrdues de potència.

Conforme a lo establert a l'apartat 4.3. de la ITC-LAT-07 del RLAT que marca la necessitat de comprovació del component dels conductors a l'efecte corona de les línies de tensió superior a 66kV.

Tal i com indica la normativa, es tracta d'una línia de 66kV i una altra de 20 kV, per tant menysprearem les pèrdues per efecte corona.

### **A.7.3. Pèrdues de potència totals**

Generalment, les pèrdues de potència totals en una línia són la suma de les pèrdues produïdes per l'efecte Joule i les pèrdues causades per l'efecte corona. En l'apartat anterior ha quedat demostrada l'absència d'efecte corona per la qual cosa no es produiran pèrdues associades a aquest efecte.

Les pèrdues totals de la línia de 66 kV seran de 81.800 W i de 391.445 W per la línia de 20kV.

## B. CÀLCUL ELÈCTRIC LÍNIA SOTERRADA

Fent referència a l'apartat 5 de la normativa particular de la companyia subministradora, que estipula que els conductors escollits són unipolars d'alumini homogenis amb seccions normalitzades de 150 i 240 mm<sup>2</sup>, podent utilitzar cable de 400 mm<sup>2</sup> en aquells casos que sigui necessari. Aquests cables reuniran les característiques indicades de la norma ENDESA DND001, així com les 6700022 i 6700024.

La tensió nominal de cable ve donada per la tensió nominal de la xarxa a la que està connectat i per les característiques de les proteccions de la mateixa.

La secció del conductor de la xarxa soterrada de mitja tensió d'un parc estableix quatre criteris: intensitat màxima admissible, caiguda de tensió i la pèrdua de potència.

### B.1. Estudi de les intensitats de la línia

L'elecció de la secció en funció de la intensitat màxima admissible es realitza a partir de la potència que ha de transportar el cable, calculant la intensitat corresponent i escollint el cable adequat d'acord amb els valors d'intensitats màximes que figuren en les dades de subministrament del fabricant, segons els factors de correcció que recullen les característiques de la disposició que no presenten les taules d'intensitats màximes admissibles.

#### B.1.1. Intensitat màxima

La intensitat màxima que ha de suportar, donat que en cap punt de la instal·lació la temperatura del conductor pot suportar uns límits establerts. Aquesta intensitat vindrà donada per la potència màxima demanada per el tram 1 de la línia d'aerogeneradors, que serà 5 aerogeneradors de 2 MW, per lo que tindrem un total de 10.000 kW.

$$I_{\text{màx}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\phi} \quad (\text{Eq. 15})$$

On:

$U_N$ : Tensió nominal 20 kV.

S: Potència aparent de la línia de 20 kV.

$\Phi$ : Factor de potència de la línia.

Un cop realitzat el càlcul obtenim una intensitat màxima de la línia d'aerogeneradors per el tram 1 és de 320,75 A. El segon tram al comprendre el mateix nombre d'aerogeneradors de la mateixa potència serà del mateix valor. Per poder comparar aquest valor amb els suportats per les seccions de cada cable, es necessari aplicar abans uns coeficients de correcció (0,9), que indica els fabricants i que són causats per l'agrupament de cables i la profunditat d'enterrament. Per lo que no ha de ser superior a 356,39 A per cadascun dels trams.

Agafant com a referència l'article 6.1.2.1. de la ITC-LAT 06, seleccionem la secció més adequada per la corrent màxima que suporta el conductor. En aquest cas, escollim un conductor XLPE (Polietilè reticulat) en alumini de 400 mm<sup>2</sup>, que suporta una intensitat de 415A, tot i que amb un cable de secció inferior de 390 mm<sup>2</sup> la instal·lació estaria ben dimensionada, es tria sobredimensionar-la, per poder optar en un futur una ampliació de potència del parc sense haver de remodelar la línia soterrada.

### B.1.2. Intensitat de curtcircuit

En general, els cables suporten sense problemes corrents de curtcircuits de magnitud considerable, assumible per altres parts de la instal·lació. Per la comprovació d'aquesta magnitud utilitzarem la següent expressió.

$$I_{cc} \cdot \sqrt{t} = K \cdot S \quad (\text{Eq. 16})$$

On:

S= 400 mm<sup>2</sup>, la secció del cable utilitzat.

t= 1 segon. Temps de desconnexió que es prendrà.

K= 93. Constant que depèn del material del conductor i que, en el nostre cas és alumini-acer.

Efectuant el càlcul de la intensitat de curtcircuit, trobem una Icc de 37,2 kA.

## B.2. Caiguda de tensió

La caiguda de tensió que es produeix a la línia del conductor es calcula mitjançant la següent equació:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot L \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) \quad (\text{Eq.17})$$

On:

I= Corrent en (A) que circula per la línia.

R= Resistència de la línia ( $\Omega/\text{km}$ )

X= Reactància de la línia ( $\Omega/\text{km}$ )

L= Longitud total de la línia en (1,4 km per tram)

Segons les especificacions del fabricant la resistència del conductor serà 0,102  $\Omega/\text{km}$  i la de la reactància de 0,106  $\Omega/\text{km}$ , amb un factor de potència de 0,9.

Per tant, la caiguda de tensió per cada tram serà de 10,43 V per cada tram, per tant podem considerar que la línia soterrada té una caiguda de tensió de 20,86 V, és a dir, un 0,104%.

## B.3. Pèrdues de potència

L'estimació de les pèrdues de potència que es produeixen en els conductors es tradueixen en el càlcul de les pèrdues produïdes per efecte de Joule. La pèrdua de potència activa es produeix es calcula amb la següent equació.

$$\Delta P_p = 3 \cdot I_s^2 \cdot R \cdot L \quad (\text{Eq.18})$$

On:

$P_p$ = Pèrdua de potència en la resistència sèrie en Watts.

$I_s$ = Corrent en (A) que circula per la línia (tram)

R= Resistència de la línia( $\Omega/\text{km}$ )

L= Longitud del tram de la línia (km)

Aquesta forma d'estimar les pèrdues dóna com a resultat les pèrdues de potència en règim nominal, és a dir, quan els aerogeneradors treballen a màxima càrrega, situació de baixa probabilitat durant l'any. Les pèrdues tenen un valor de 54,40 kW per tram, que correspon 108,81 kW per el total dels aerogeneradors (tram 1 i 2).

Aquest valor de pèrdues de potència, correspon a un 0,052% de pèrdues, valor inferior al mínim exigit en el reglament, fins i tot per considerar-lo nul.

#### B.4. Resum càlculs elèctrics

Recollim a la següent taula els càlculs realitzats per cada línia d'aerogeneradors, considerant els dos trams de línies, el que conté els aerogeneradors 1 al 5 i l'altra tram del 6 al 10.

Trams de línies	Tensió [kV]	Intensitat [A]	Longitud [km]	Secció [mm <sup>2</sup> ]	R [Ω/km]	X [Ω/km]	C.d.t [V]	C.d.t [%]
Sub - A1	20,00	356,39	0,20	400,00	0,102	0,106	10,43	0,052
A1 - A2	20,00	285,11	0,23	400,00	0,102	0,106	9,45	0,047
A2 - A3	20,00	213,83	0,26	400,00	0,102	0,106	8,14	0,040
A3 - A4	20,00	142,56	0,28	400,00	0,102	0,106	5,84	0,029
A4- A5	20,00	71,28	0,35	400,00	0,102	0,106	3,65	0,018

Taula 52. Resum càlculs elèctrics línia soterrada 20kV

## C. Càlcul elèctric del centre de transformació

En el present annex es realitzaran els càlculs necessaris per poder escollir el centre de transformació situat a la instal·lació productora d'hidrogen. Aquest centre transformarà de 20kV a 400V.

### C.1. Estudi de les intensitats

La intensitat a la part d'alta tensió, costat primari, ve donada per la següent expressió:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (\text{Eq. 19})$$

On:

$U_n$ : Tensió nominal primari, 20 kV.

$S$ : Potència aparent de transformador.

Aplicant aquesta equació obtenim el valor de la intensitat del primari de 28,86 A.

Tot seguit calcularem la intensitat del costat de baixa tensió, secundari, que al ser un sistema trifàsic ve donat per l'expressió:

$$I_s = \frac{S - P_{fe} - P_{cu}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (\text{Eq. 20})$$

On:

$U_n$ : Tensió nominal primari, 20 kV.

$S$ : Potència aparent de transformador.

$P_{fe}$ = Pèrdues en el ferro, valor que s'obté mitjançant un assaig al buit al transformador, proporcionat pel fabricant (2.600 W).

$P_{cu}$ = Pèrdues a l'enrotllament, valor que s'obté mitjançant l'assaig de curtcircuit, proporcionat també pel fabricant (17.000 W).

S'obté una intensitat primària de 1.415,08 A

Per el càlcul de la intensitat de curtcircuit es determina una potència de curtcircuit de 350MVA en la xarxa de distribució, dada proporcionada per la companyia subministradora.

Per realitzar aquest càlcul d'intensitat pel primari en el costat d'alta tensió utilitzem la següent equació.

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (\text{Eq. 21})$$

On:

$U_N$ : Tensió nominal primari, 20 kV.

$S_{cc}$ : Potència curtcircuit de la xarxa.

Aplicant aquesta equació obtenim el valor de la intensitat de curtcircuit del primari de 10,10A.

La intensitat en el secundari per curtcircuit en el costat de baixa tensió, sense tenir en compte la impedància en el costat d'alta.

$$I_{ccs} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot \frac{U_{cc}}{100} U_s} \quad (\text{Eq. 22})$$

On:

$U_s$ : Tensió nominal primari, 400 V.

S: Potència aparent de transformador.

$U_{cc}$ : Tensió percentual de curtcircuit del transformador. (6%)

Aplicant aquesta equació obtenim el valor de la intensitat del primari de 24,05 kA.



## C.2. Dimensionament de la ventilació

Per calcular la superfície de la reixa d'entrada d'aire utilitzarem la següent equació.

$$S = \frac{P_{fe} - P_{cu}}{0,24 \cdot k \cdot \sqrt{h \cdot \Delta t^3}} \quad (\text{Eq. 23})$$

On:

$\Delta t$ =Diferència de temperatura entre l'aire de sortida i d'entrada, que sol ser, en aquest cas, 15°.

$h$ = 2 m. Distància vertical entre centres de reixes.

$P_{fe}$ = Pèrdues en el ferro, valor que s'obté mitjançant un assaig al buit al transformador, proporcionat pel fabricant (2.600 W).

$P_{cu}$ = Pèrdues a l'enrotllament, valor que s'obté mitjançant l'assaig de curtcircuit, proporcionat també pel fabricant (17.000 W).

$k$ = Coeficient en funció de la reixa d'entrada d'aire, considerat 0,6.

$S$ = Superfície mínima de la reixa d'entrada de ventilació del transformador.

Substituint els valors anteriors a l'equació 23, obtenim una superfície mínima de 1,65 m<sup>2</sup>. Per la qual cosa instal·larem tres reixetes de 960 mm x 707 mm cadascuna . Les reixetes d'entrada i sortida d'aire aniran situades a les parets a diferents altura, essent la distància mitja verticalment de separació entre els punts mitjos d'aquestes reixes de 2 m, tal i com es té en compte per efectuar els càlculs.

## D. CÀLCULS ELÈCTRICS INSTAL·LACIONS DE BAIXA TENSÍO

En aquest capítol es realitzarà les comprovacions de la secció adequada del conductor escollit per la connexió entre l'aerogenerador i el centre de transformador i entre l'electrolitzador i el centre de transformador d'aquest.

### D.1. AEROGENERADORS

Per el càlcul justificat de la secció del conductor utilitzarem el nou Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió, i les seves Instruccions Tècniques Complementàries. A continuació, es comprovarà que la secció del cable proposat amb els requisits necessaris, i que es comproven tot seguit.

#### D.1.1. Estudi intensitat màxima

La tensió de generació dels aerogeneradors Gamesa G90 és de 690 V. Per això, utilitzarem cables de coure electrolítics amb aïllament 0,6/1 kV.

Es procedirà a calcular la corrent màxima que ha de transportar, donat que en cap punt de la instal·lació, la temperatura del conductor pot suportar uns límits establerts. És per això que es farà referència a unes taules proporcionades pel fabricant, on s'expressen les intensitats màximes de servei per les diferents tensions de servei i els cables utilitzats. La intensitat màxima de servei prevista ( $I_{\max}$ ) vindrà donada per la potència màxima demandada per el generador 2.000 kW.

$$I_{\max} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\phi} \quad (\text{Eq. 24})$$

On:

$U_N$ : Tensió nominal 690 V.

$S$ : Potència aparent de la línia de 2 MW.

$\Phi$ : Factor de potència de la línia.

El valor de la intensitat màxima és de 1,85 kA. Seguint lo establert a la ITC-BT-06 del REBT, a l'apartat 4.2, on diu que s'ha d'aplicar la norma UNE 20435, que diu que en aquests casos

especials s'ha de tenir en compte l'agrupament de cables que aplicarem un factor de correcció de 0,80.

Un cop aplicat aquest factor de correcció, la intensitat màxima obté un valor de 2,32 kA, fent referència a la norma UNE 20435, segons una taula per conductors i aïllament reticulat, i en la columna de conductors unipolars, escollim una secció de 50 mm<sup>2</sup>, que suporta una intensitat màxima de 2,7 kA.

### D.1.2. Caiguda de tensió

La caiguda de tensió del tram soterrat ve donat per l'expressió:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot L \cdot (R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) \quad (\text{Eq.25})$$

On:

I= Corrent en (A) que circula per la línia.

R= Resistència de la línia ( $\Omega/\text{km}$ )

X= Reactància de la línia ( $\Omega/\text{km}$ )

L= Longitud total de la línia en (40 m)

Obtenim els resultats amb una caiguda de tensió de 9,51 V, el 1,37%, per tant, dins dels marges establerts per RBT.

### D.2. ELECTROLITZADOR

Seguint els mateixos passos que a l'apartat anterior, on es comprovava la secció del cable de baixa tensió per l'aerogenerador, per comprovar el dimensionament del cable de l'electrolitzador al CT, es realitzen els mateixos càlculs.

Obtenim una intensitat màxima admissible de 1,60 kA, aplicant el factor de correcció marcat per la ITC-BT 06 del RBT, tenim una intensitat màxima de 2 kA. Amb aquesta intensitat mirant les taules estipulades a la ITC 06, s'obté una secció de 25 mm<sup>2</sup>.

Amb aquesta secció es calcula la caiguda de tensió ocasionada a la instal·lació i s'obté unes pèrdues de 0,02 V, és a dir, un 0,10%.

## E. CÀLCUL ELÈCTRIC SUBESTACIÓ TRANSFORMADORA

A continuació es realitzaran els càlculs bàsics justificatius per la subestació transformadora de 20/66kV de la instal·lació.

### E.1. Intensitats nominals

La intensitat nominal en el costat d'alta tensió ve donada per l'expressió:

$$I_{66kV} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad (\text{Eq. 26})$$

On:

$U_N$ : Tensió nominal 66 kV.

$S$ : Potència aparent del transformador de 10 MVA.

La intensitat nominal en el costat d'alta tensió serà de 87,58 A.

Seguint el mateix procediment calculem la intensitat en el costat de baixa (20 kV) i s'obté una intensitat de 288,67 A.

### E.2. Intensitats curtcircuits

La potència provinent del parc d'aerogeneradors per part de baixa tensió serà de 5MW per un total de 10 turbines. La reactància dels generadors serà del 22%. La intensitat de curtcircuit generada serà:

$$I_{cc\_20kV} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot U_N} \quad (\text{Eq. 27})$$

On:

$U_N$ : Tensió nominal 20 kV.

$S$ : Potència aparent és de 5 MVA per un total de 10 turbines.

La intensitat de curtcircuit de del costat de 20 kV serà de 6,56 kA

Pel que fa la part de 66kV ve donat per la potència de curtcircuit de 642 MVA a efecte de proteccions i càlculs proporcionat per l'empresa subministradora.

La intensitat de curtcircuit queda amb un valor de 5,62 kA utilitzant l'equació mostrada a continuació.

$$I_{cc,66kV} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad (\text{Eq. 28})$$

On:

$U_N$ : Tensió nominal 66 kV.

S: Potència aparent de la xarxa de 642 MVA.

### E.3. Dimensionat dels embarrats

Es realitzarà els càlculs corresponents als embarrats de 66 kV i 20 kV.

#### E.3.1. Dimensionat embarrat de 66 kV

Hi ha dues formes de càlcul, una per densitat de corrent i per sol·licitació electrodinàmica.

Calcularem primerament per densitat de corrent on l'embarrat està constituït per un tub de coure de diàmetre 30/25 mm i la secció del tub ve determinada per la següent equació:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (D+d) \cdot (D-d) \quad (\text{Eq. 29})$$

On:

D: Diàmetre exterior en mm.

d: Diàmetre interior en mm.

Aplicant els valors s'obté una secció de 216 mm<sup>2</sup> i a partir d'aquesta secció podem trobar la densitat de corrent:

$$d = \frac{I}{S} \quad (\text{Eq. 30})$$

On:

I: Intensitat nominal de costat de 66 kV.

S: Secció calculada anteriorment.

La densitat de l'embarrat serà de 0,40 A/mm<sup>2</sup>, compleix amb la densitat admissible marcada segons el MIBT 004 que és de 3,2 A/mm<sup>2</sup>.

A continuació, calcularem per l'altre mètode per sol·licitació electrodinàmica. Calcularem la corrent de curtcircuit inicial i la de xoc a partir de la potència de curtcircuit que s'ha adoptat.

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_N} \quad (\text{Eq. 31})$$

On:

U<sub>N</sub>: Tensió nominal 66 kV.

S: Potència aparent de la xarxa de 642 MVA.

Aplicant els valors obtenim una intensitat de 5,62 kA. La intensitat de xoc total (I<sub>s</sub>) a partir de la calculada de curtcircuit inicial, s'obté mitjançant la següent equació:

$$I_s = X \cdot 1,414 \cdot I_{cc} \quad (\text{Eq. 32})$$

On:

X: Coeficient que ve en funció de la relació entre la resistència òhmica i la inductiva. En el nostre cas és de 1,8.

I<sub>cc</sub>: Intensitat calculada a l'equació 31.

El resultat de la intensitat de xoc és de 14,3 kA.

### E.3.2. Dimensionat embarrat de 20 kV

Realitzant els mateixos passos que en el subapartat anterior del càlcul de l'embarrat de 66kV, es farà amb el de 20 kV. Per això obtenim que l'embarrat estarà constituït per una platina de coure de 30x10 mm on la densitat de corrent és de 0,96 A/mm<sup>2</sup>, on la densitat admissible marcada segons MIBT 004 és de 2,75 A/mm<sup>2</sup>.

Efectuant els càlculs per sol·licitació electrodinàmica, amb conformitat amb el MIE-RAT 05, la resistència mecànica dels conductors haurà de verificar, en cas de curtcircuit que:

$$\frac{I^2 \cdot L^2}{60 \cdot D \cdot W} = t \quad (\text{Eq. 33})$$

On:

I= Intensitat permanent de curtcircuit trifàsic.

L= Separació longitudinal entre aïlladors de suport.

D= Separació entre fases.

W= Mòdul de resistència dels conductors.

t= Càrrega de ruptura del material dels conductors

En el cas d'utilitzar les platines comentades anteriorment, situant els conductors a una distància de 40 cm, tindrem una intensitat de curtcircuit de 10 kA. Per tant utilitzant l'equació 33 amb els valors corresponent i aïllant la separació longitudinal obtenim que la màxima distància que es prendran entre suports, en els traçats rectes, utilitzant platina de coure de 30x10 cm serà de 375 mm. D'aquesta manera complirem la normativa estipulada anteriorment.

### E.4. Nivells d'aïllament

Els nivells d'aïllament que s'han adoptat per la instal·lació de 66 kV, corresponen al C.E.I. 72,5 kV, aïllament ple, és a dir, que suporta 325 kV, a impuls tipus llamp i 140 kV a freqüència industrial durant un minut.

En 20 kV, el CEI 24 kV, que suporta 125 kV, a impuls tipus llamp i 50 kV a freqüència industrial durant un minut.

### **E.5. Distàncies de seguretat**

D'acord amb el nivell d'aïllament adoptat i segons el que indiquen les ITC MIE-RAT 12 en 66 i 20 kV, les distàncies mínimes fase-terra i entre fases és de 63 i 22 cm, respectivament.

En a subestació projectada les distàncies adoptades entre eix de fases i entre fases i terra és de 95 cm per la tensió de 66 kV i la de 40 cm per la tensió de 20 kV, molt superiors a les mínimes exigides.

Segons la ITC MIE-RAT-15 els elements en tensió no protegits que es trobin sobre els passadissos hauran d'estar a una altura mínima sobre el terra mesurada en cm igual a la següent equació.

$$H = 250 + D \quad (\text{Eq. 34})$$

### **E.6. Dimensionat de la ventilació**

Donat que es tracta d'un transformador instal·lat a l'intempèrie, no són necessaris càlculs de ventilació.