




Escola Universitària d'Enginyeria  
Tècnica Industrial de Barcelona  
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

**Memòria**



**“Disseny d'un sistema  
d'emmagatzematge  
d'energia fent ús de  
nitrogen líquid a partir  
d'una font renovable”**

TFG presentat per optar al títol de GRAU en  
ENGINYERIA DE L'ENERGIA  
per **Albert Esteban Sanahuja**  
i **Gerard Laguna Benet**

Barcelona, 09 de Juny de 2015

Director: José López López  
Departament de Física i Enginyeria Nuclear (FEN)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

## DADES DE CONTACTE

Albert Esteban Sanahuja

[albert\\_esteban@hotmail.com](mailto:albert_esteban@hotmail.com)

Gerard Laguna Benet

[gerard.laguna.benet@gmail.com](mailto:gerard.laguna.benet@gmail.com)



# ÍNDIX DEL PROJECTE

|  |    |
|--|----|
| I. Memòria .....   | 12 |
| Capítol 1: Memòria justificativa .....                                       | 13 |
| 1.1. Motivació .....   | 13 |
| 1.2. Descripció i objectius principals del projecte .....                    | 14 |
| 1.3. Objecte i abast del projecte.....                                       | 14 |
| Capítol 2: Memòria descriptiva .....   | 15 |
| 2.1. Introducció a l'energia eòlica .....                                    | 15 |
| 2.1.1. Breu ressenya històrica: orígens i evolució de l'explotació eòlica .  | 15 |
| 2.1.2. Tecnologia actual .....   | 16 |
| 2.1.3. Situació actual de l'energia eòlica al món .....                      | 17 |
| 2.1.4. L'energia eòlica a Espanya.....                                       | 19 |
| 2.1.5. Futur de l'energia eòlica .....                                       | 20 |
| 2.2. Introducció a l'emmagatzematge amb nitrogen líquid .....                | 21 |
| 2.2.1. Ressenya històrica de la utilització del nitrogen líquid .....        | 21 |
| 2.2.2. Estat actual de l'emmagatzematge elèctric amb nitrogen líquid ...     | 21 |
| 2.3. Parc eòlic.....   | 22 |
| 2.3.1. Ubicació general del parc eòlic .....                                 | 22 |
| 2.3.2. Aerogeneradors utilitzats.....  | 24 |
| 2.3.3. Simulació d'un parc eòlic.....  | 26 |
| 2.3.4. Simulació del parc eòlic a dissenyar.....                             | 35 |
| 2.3.5. Resultats de la simulació del parc eòlic.....                         | 36 |
| 2.4. Planta d'emmagatzematge d'electricitat a partir de nitrogen líquid .... | 37 |
| 2.4.1. Generació del nitrogen a partir d'una planta generadora .....         | 38 |
| 2.4.2. Etapa de liquació del nitrogen .....                                  | 39 |
| 2.4.3. L'emmagatzematge del nitrogen líquid .....                            | 42 |
| 2.4.4. Compressió i vaporització del nitrogen líquid.....                    | 42 |
| 2.5. Concreció dels valors numèrics del cas d'estudi .....                   | 43 |
| 2.5.1. Descripció del cicle principal .....                                  | 46 |
| 2.5.2. Descripció dels tancs d'oli i criogènics .....                        | 47 |
| 2.5.3. Descripció cicle tèrmic i de refrigeració .....                       | 48 |
| 2.6. Elements de la central d'emmagatzematge .....                           | 49 |
| Capítol 3: Pressupost .....  | 52 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| 3.1.       | Pressupost detallat del parc eòlic .....                            | 53 |
| 3.2.       | Pressupost detallat de la planta d'emmagatzematge amb nitrogen .... | 55 |
| 3.3.       | Pressupost de les hores d'enginyeria .....                          | 56 |
| 3.4.       | Total pressupost del projecte.....                                  | 57 |
| Capítol 4: | Viabilitat econòmica .....  | 58 |
| 4.1.       | Premisses de treball .....  | 58 |
| 4.2.       | Anàlisi viabilitat econòmica escenari increment IPC 0,5 %.....      | 60 |
| 4.3.       | Anàlisi viabilitat econòmica escenari increment IPC 1 % .....       | 62 |
| 4.4.       | Anàlisi viabilitat econòmica escenari increment IPC 2 % .....       | 65 |
| 4.5.       | Avantatges i inconvenients econòmics .....                          | 68 |
| Capítol 5: | Impacte mediambiental .....   | 69 |
| Capítol 6: | Benefici social .....   | 72 |
| Capítol 7: | Conclusions.....  | 74 |
|            | Referències bibliogràfiques .....                                   | 76 |
|            | Bibliografia consultada .....                                       | 78 |
| II.        | Plànols .....   | 80 |
| III.       | Annexos .....   | 86 |

## ÍNDIX DE FIGURES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Parts de la góndola d'un aerogenerador marca Enercon E82. ....                                    | 16 |
| <b>Figura 2.</b> Evolució de la potència instal·lada d'energia eòlica mundial. ....                                | 17 |
| <b>Figura 3.</b> Vector energètic d'Espanya de l'any 2013. ....  | 19 |
| <b>Figura 4.</b> Exemple de CO <sub>2</sub> alliberat en un dia a La Gomera degut a la generació elèctrica. ....   | 22 |
| <b>Figura 5.</b> Illa de la Gomera. Dades del mapa © 2015 Google, La Gomera. ....                                  | 23 |
| <b>Figura 6.</b> Mapa cartogràfic de La Gomera extret de "meteosim" on es poden veure les zones de protecció. .... | 24 |
| <b>Figura 7.</b> En gris, zona apta per a instal·lar-hi el parc eòlic. ....  | 24 |
| <b>Figura 8.</b> Aerogenerador Enercon E82 de 3.000 kW. ....   | 25 |
| <b>Figura 9.</b> Corba de potència i coeficient de potència de l'aerogenerador Enercon E82 de 3.000 kW. ....       | 26 |
| <b>Figura 10.</b> Logotip de l'empresa subministradora del software Openwind® i de les dades del vent. ....        | 26 |
| <b>Figura 11.</b> Interfície del software Openwind®. ....  | 28 |
| <b>Figura 12.</b> Web per extreure els fitxers .shp. ....  | 29 |
| <b>Figura 13.</b> Web per extreure el fitxer de dades de la distribució dels vents. ....                           | 30 |
| <b>Figura 14.</b> Procés per a l'obtenció del fitxer .TAB amb OWC Wizard. ....                                     | 31 |
| <b>Figura 15.</b> Amb vermell, distribució freqüencial del vent generada per a La Gomera a Openwind®. ....         | 31 |
| <b>Figura 16.</b> En marró, exemple de la zona delimitada per a ubicar-hi els aerogeneradors a Openwind®. ....     | 32 |
| <b>Figura 17.</b> Exemple de les especificacions de la turbina utilitzada per a la simulació. ....                 | 33 |
| <b>Figura 18.</b> Exemple de posicionament aleatori dels aerogeneradors dins i fora dels límits del parc. ....     | 33 |
| <b>Figura 19.</b> Exemple del procés d'iteració no finalitzat. ....  | 35 |
| <b>Figura 20.</b> Captura del resultat de l'optimització d'Openwind®. ....   | 36 |
| <b>Figura 21.</b> Resultats Openwind® amb la distribució freqüencial del vent. ....                                | 37 |
| <b>Figura 22.</b> Esquema simplificat de la central d'emmagatzematge. ....   | 37 |
| <b>Figura 23.</b> Generador de nitrogen escollit. ....   | 38 |
| <b>Figura 24.</b> Esquema basic de la central. ....  | 40 |
| <b>Figura 25.</b> Esquema del cicle de liquació de la central. ....  | 41 |
| <b>Figura 26.</b> Esquema del sistema d'expansió. ....   | 42 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 27.</b> Cicle principal de la planta d'emmagatzematge al complet. .... | 43 |
| <b>Figura 28.</b> Diagrama complet de la central d'emmagatzematge. ....          | 45 |
| <b>Figura 29.</b> Circuit d'emmagatzemament tèrmic mitjançant oli. ....          | 49 |
| <b>Figura 30.</b> Compressors 2 i 3 i turbines 1 i 2 del cicle de liquació. .... | 50 |
| <b>Figura 31.</b> Elements del circuit d'expansió .....                          | 51 |

## ÍNDEX DE TAULES

|   |    |
|---|----|
| <b>Taula 1.</b> Potència instal·lada al món d'energia eòlica. ....              | 18 |
| <b>Taula 2.</b> Potència instal·lada en MW per a cada comunitat autònoma. ....  | 19 |
| <b>Taula 3.</b> Pressupost parc eòlic. ....                                     | 53 |
| <b>Taula 4.</b> Pressupost de la planta d'emmagatzematge. ....                  | 55 |
| <b>Taula 5.</b> Hores d'enginyeria. ....  | 56 |
| <b>Taula 6.</b> Pressupost total del projecte.....                              | 57 |
| <b>Taula 7.</b> Viabilitat econòmica segons increment de l'IPC del 0,5 %. ....  | 60 |
| <b>Taula 8.</b> Viabilitat econòmica segons increment de l'IPC de l'1 %. ....   | 62 |
| <b>Taula 9.</b> Viabilitat econòmica segons un increment de l'IPC del 2 %. .... | 65 |
| <b>Taula 10.</b> Valoració qualitativa simple de l'impacte ambiental.....       | 69 |

## **RESUM**

Aquest document presenta un projecte d'innovació dins de l'àmbit energètic. Consisteix en el disseny d'un sistema d'emmagatzematge d'energia mitjançant nitrogen líquid, emprant una font renovable per a la generació. La principal finalitat és substituir la producció elèctrica d'origen no renovable evitant així emissions.

La proposta que es presenta per a dur-ho a terme és la construcció d'un parc eòlic que permet liquar nitrogen i emmagatzemar-lo en un dipòsit criogènic fins que sigui requerit, en el cas que la demanda sigui inferior a la producció. En cas contrari, entra en funcionament la planta d'emmagatzematge i s'inicia el procés en el qual el nitrogen, anteriorment liquat i emmagatzemat, es condueix a les turbines on s'expandirà. Aquesta expansió permet generar energia elèctrica i distribuir-la a la xarxa.

A més, la planta disposa d'un sistema que permet recuperar l'energia tèrmica extreta del nitrogen durant el procés de liquació i retenir-la per a que pugui ser emprada en el moment de l'expansió. Aquest sistema de recuperació fa ús de tancs d'oli i d'una torre de refrigeració, d'aquesta forma s'evita la utilització de fonts tèrmiques auxiliars. Per eludir problemes de subministrament el nitrogen es separa de l'aire i emmagatzemat a la mateixa planta.



## **RESUMEN**

Este documento presenta un proyecto de innovación dentro del ámbito energético. Consiste en el diseño de un sistema de almacenaje de energía mediante nitrógeno líquido, utilizando una fuente renovable para la generación. La principal finalidad es sustituir la producción eléctrica de origen no renovable evitando así emisiones.

La propuesta que se presenta para llevarlo a cabo es la construcción de un parque eólico que permite licuar nitrógeno y almacenarlo en un depósito criogénico hasta que sea requerido, en caso que la demanda sea inferior a la producción. En caso contrario, entra en funcionamiento la planta de almacenaje y se inicia el proceso en el cual el nitrógeno, anteriormente licuado y almacenado, se conduce a las turbinas donde se expandirá. Esta expansión permite generar energía eléctrica y distribuirla a la red.

Además, la planta dispone de un sistema que permite recuperar la energía térmica extraída del nitrógeno durante el proceso de licuación y retenerla para que pueda ser utilizada en el momento de la expansión. Este sistema de recuperación utiliza tanques de aceite y una torre de refrigeración, de esta forma se evita el uso de fuentes térmicas auxiliares. Para eludir problemas de suministro el nitrógeno líquido es separado del aire i almacenado en la misma planta.

## **ABSTRACT**

The following document presents an innovative project within the energetic field, based on the design of an electric power storage system that uses wind farm for the generation. The main purpose of the project is to replace all power production from non-renewable sources in order to avoid greenhouse gas emission.

The solution proposed to work with is the construction of a wind farm that allows to liquefy nitrogen and store it in a cryogenic tank until it is required, when the demand is lower than production. Otherwise the storage plant run into operation, then the liquefied and stored nitrogen is conducted to the turbines where it will be expanded. This expansion allows to generate electrical energy and send it to the grid.

In addition, the plant has a thermal recovery system to recover the thermal energy extracted from nitrogen during the liquefaction process and retain it, so it can be used for the expansion. This retrieval system uses oil tanks and a cooling tower. Thus the use of auxiliary thermal sources can be avoided. To elude supply problems, nitrogen is separated from air and stored in the same storage plant.

## **AGRAÏMENTS**

Voldríem agrair la participació de l'empresa AWSTruepower®, sense la seva ajuda i informació aquest treball no hagués estat possible. Agraïm la fe que han dipositat en nosaltres al proporcionar-nos l'ajuda necessària i la seva experiència per poder continuar en el nostre estudi.

També expressar el més sincer agraïment al Sr. Santi Parés per haver confiant en nosaltres i haver-nos ajudat i aconsellat en les nostres sol·licituds. A més, donar-li les gràcies per la confiança dipositada en nosaltres i pel seu crucial paper en el vincle amb AWSTruepower®.

Expressem el nostre agraïment al tutor d'aquest Treball de Fi de Grau, José López López, per la seva dedicació, el recolzament incondicional que ens ha proporcionat, el respecte que ha mostrat per les nostres idees i pel rigor que ens ha transmès.

Finalment mencionar a tothom que ens ha ajudat d'alguna manera a desenvolupar aquest projecte i ens ha proporcionat un gran suport moral i humà.

A tots, el nostre major reconeixement i gratitud.

# I. Memòria

# **CAPÍTOL 1: MEMÒRIA JUSTIFICATIVA**

## **1.1. Motivació**

La generació elèctrica a partir d'una font no renovable va acompanyada de l'alliberament de gasos a l'atmosfera. Aquests gasos causen efectes devastadors per la Terra i el seus habitants, per evitar-ho es vol substituir la generació a partir de combustibles fòssils per fonts d'energia renovables i respectuoses amb el medi ambient.

Com és conegut, la generació elèctrica a partir d'una font d'energia renovable no sol ser constant. Per evitar problemes de subministrament es vol instal·lar un sistema d'emmagatzematge de l'energia generada sobrant, quan la demanda és baixa i la generació abundant. Aquest sistema també ha de ser respectuós amb el medi ambient per tal de seguir amb la filosofia d'aquest projecte.

Es descarta l'emmagatzematge de l'energia elèctrica fent ús de bateries ja que aquestes, un cop esgotades, són un residu de caire contaminant i no respectuoses amb el medi ambient. Tanmateix no es considera la construcció d'un embassament d'aigua amb la finalitat d'acumular energia per al posterior turbinat, ja que es necessita molt espai físic i una capacitat hídrica elevada per a suplir les necessitats existents. A més a més, la construcció d'un embassament va lligada a la inundació de grans extensions de superfície i en conseqüència es genera un fort impacte mediambiental. Per tant, es decideix dur a terme l'emmagatzematge mitjançant nitrogen perquè és un producte present a tot arreu i apte per a ser instal·lat en qualsevol emplaçament. Aquest emmagatzematge plantejat és respectuós amb el medi ambient, doncs no genera cap residu ni emet gasos contaminants

## 1.2. Descripció i objectius principals del projecte

El present projecte consisteix en realitzar un treball teòric on es pretén emmagatzemar l'energia elèctrica generada en un parc eòlic. L'emmagatzematge d'energia es durà a terme a partir de la liquació del nitrogen, que quan sigui necessari s'expandirà i permetrà generar energia elèctrica en un grup turbina-generator. Es pretén realitzar aquest estudi a l'illa de la Gomera (Illes Canàries) ja que en aquest territori l'energia elèctrica es produeix, en la seva totalitat, amb motors dièsel. Això provoca una gran alliberació de gasos a l'atmosfera, entre d'altres agents contaminants, que es podria evitar.

Aquest treball té com a objectius principals:

- Profunditzar en el coneixement del disseny tècnic complert d'un parc eòlic. Incloent la interacció entre les diferents turbines eòliques, entre d'altres aspectes rellevants de disseny.
- Endinsar-se en l'anàlisi i l'elaboració de simulacions mitjançant diversos softwares especialitzats. A la vegada que es realitzen els càlculs pertinents per a poder fer un anàlisi complert del recurs eòlic.
- Aprendre el funcionament de l'emmagatzematge del nitrogen líquid i fer-ne el disseny complert.
- Instruir-se a l'hora d'utilitzar un sistema de generació elèctrica combinat amb un emmagatzematge.
- Fer una introducció acadèmica a la gestió energètica d'un sistema insular.

## 1.3. Objecte i abast del projecte

L'objecte d'aquest projecte és substituir la generació elèctrica a partir d'una font d'energia no renovable per una de renovable i respectuosa amb el medi ambient. A més, per a proporcionar l'energia elèctrica d'una forma constant es dissenya una central d'emmagatzematge d'energia.

En l'abast d'aquest projecte s'inclou:

- Disseny de la planta generadora d'energia elèctrica.
- El disseny complert de la planta d'emmagatzematge d'energia elèctrica.
- Realitzar un pressupost orientatiu del cost total del projecte.
- Elaborar una viabilitat econòmica.
- Analitzar els avantatges i inconvenients socials i econòmics d'implementar aquest projecte.
- Realitzar una estimació de l'impacte ambiental de la instal·lació.

# **CAPÍTOL 2: MEMÒRIA DESCRIPTIVA**

## **2.1. Introducció a l'energia eòlica**

En aquest apartat es pretén fer una introducció a l'energia eòlica per poder conèixer el seu origen i quin és l'estat actual d'aquesta tecnologia al món. Com també es vol mostrar la situació real d'implantació d'aquesta tecnologia.

### *2.1.1. Breu ressenya històrica: orígens i evolució de l'explotació eòlica*

L'energia eòlica és aquella energia obtinguda a partir del vent, és a dir, és l'energia cinètica generada per l'efecte dels corrents d'aire, i que és transformada en altres formes d'energia útils per a les activitats humanes.

L'energia eòlica és una de les fonts d'energia més antigues utilitzades per la humanitat. Si es retrocedeix en el temps fins a l'any 3.000 aC., els velers Egipcis ja utilitzaven l'energia del vent per a impulsar els vaixells. Així mateix, els primers molins utilitzats per a moldre gra o per a bombejar aigua daten del segle VII i es trobaven a l'antiga Persia (actual Afganistan). Aquells molins eren d'eix vertical i amb sis o vuit veles de tela. A Europa es construïren els primers molins al segle XII, inicialment a França i Anglaterra.

Durant la revolució industrial, i degut a la invenció de la màquina de vapor, els molins van perdre funcionalitat. Tot i això durant els primers anys del segle XIX es va acoblar per primera vegada un generador elèctric a un molí de vent. Aquest va ser l'antecessor de l'actual aerogenerador, que no es va crear fins a la invenció de la dinamo l'any 1950.

No hi va haver un gran interès real per a l'energia eòlica fins als anys 70, quan la primera crisi del petroli va obligar a investigar sobre noves formes d'abastiment elèctric. A finals de la dècada dels 70 van aparèixer els primers aerogeneradors comercials. Va ser als anys 80 quan l'energia eòlica va començar a créixer, sobre tot a partir dels moviments contra l'energia nuclear. A l'última dècada del segle XX es quan es produeixen els avanços més importants que varen fer d'aquesta font d'energia una alternativa viable i real a les fonts tradicionals d'energia.

### 2.1.2. Tecnologia actual

En l'actualitat (dades de l'any 2013) segons la llista MAKE Consulting (NAW Staff 2015) les empreses líders proveïdores de turbines eòliques són:

- 1r. Vestas amb una quota de mercat del 13,2 %.
- 2n. Goldwind amb una quota de mercat del 10,3 %.
- 3r. Enercon que representa una quota de mercat del 10,1 %.
- 4t. Siemens amb un 8,0 % de la quota de mercat.

Conegudes quines són les principals empreses del mercat dels aerogeneradors es passa a explicar com són i com funcionen els aerogeneradors més comuns.

La majoria dels aerogeneradors actuals són d'eix horitzontal i estan constituïts per una cimentació de formigó armat adequada al terreny i a les càrregues de vent que ha de suportar l'aerogenerador en qüestió. Sobre la cimentació s'hi aixeca una torre, típicament d'acer i d'estructura tubular, bastant alta per tal d'evitar les baixes velocitats del vent presents a poca altura. A l'extrem de la torre s'hi situa una góndola giratòria d'acer o fibra de vidre accessible des de l'interior.

Aquesta góndola al seu interior conté:

- El tren de potència compost per elements com l'eix lent del rotor, la caixa multiplicadora, entre d'altres.
- La maquinària elèctrica com el generador elèctric, elements de control i accionament i altres màquines auxiliars.
- Diferents mecanismes suplementaris com ara el fre hidràulic d'emergència del rotor, el fre d'orientació de la góndola, els mecanismes de canvi de l'angle de pas de les pales, entre molts altres elements.
- Sistemes de control electrònic encarregats del supervisat de les diferents variables, del registre d'incidències i del control del funcionament de l'aerogenerador. S'acostuma a incloure un mòdul de comunicació amb una central de comandament.



**Figura 1.** Parts de la góndola d'un aerogenerador marca Enercon E82.



A l'exterior de la góndola s'hi pot trobar:

- La caixa encarregada d'unir les pales amb el rotor i que pot incorporar el mecanisme capaç de canviar l'angle de pas de les pales segons convingui.
- El mecanisme aerodinàmic d'orientació que sol ser un penell que detecta la velocitat i orientació del vent.
- Un parallamps per evitar descàrregues elèctriques als elements que conté la góndola.

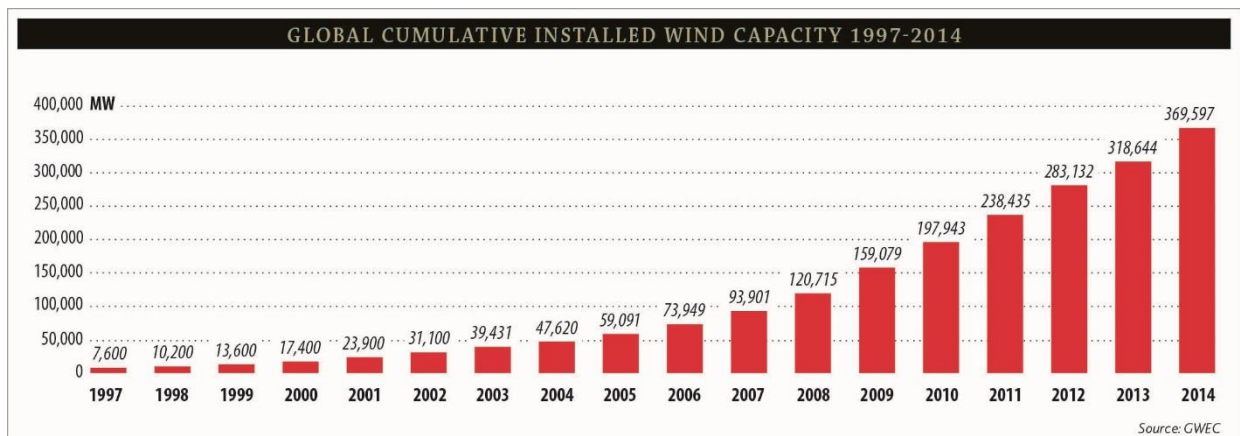
Tots aquests elements poden variar segons el model i la marca d'aerogenerador però com s'ha dit, de manera generalitzada tenen aquesta estructura.

### *2.1.3. Situació actual de l'energia eòlica al món*

Segons GWEC (*Global Wind Energy Council*), la potència global instal·lada d'energia eòlica era de 369.597 MW a finals de l'any 2014. (GWEC 2014)

A la **Taula 1** es pot observar quina és la potència instal·lada d'energia eòlica per a cada regió del planeta.

La **Figura 2** mostra quin ha estat el progrés de la potència instal·lada mundialment des de l'any 1997 fins a l'any 2014. Es pot observar l'evolució exponencial que ha patit aquesta font d'energia degut al desenvolupament de la tecnologia.



**Figura 2.** Evolució de la potència instal·lada d'energia eòlica mundial.

Destacar que en els darrers cinc anys la potència instal·lada d'energia eòlica al món s'ha gairebé duplicat, experimentat així un fort creixement i esdevenint una important font de producció elèctrica mundial.

**Taula 1. Potència instal·lada al món d'energia eòlica.**

| GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY (MW) – REGIONAL DISTRIBUTION |                        |                |                |                  |
|---|------------------------|----------------|----------------|------------------|
|   |                        | End 2013       | New 2014       | Total (End 2014) |
| AFRICA & MIDDLE EAST  | Morocco                | 487            | 300            | 787              |
|   | South Africa           | 10             | 560            | 570              |
|   | Egypt                  | 550            | 60             | 610              |
|   | Tunisia                | 245            | -              | 245              |
|   | Ethiopia               | 171            | -              | 171              |
|   | Cape Verde             | 24             | -              | 24               |
|   | Other <sup>1</sup>     | 115            | 14             | 129              |
|   | <b>Total</b>           | <b>1,602</b>   | <b>934</b>     | <b>2,535</b>     |
| ASIA  | PR China               | 91,413         | 23,196         | 114,609          |
|   | India                  | 20,150         | 2,315          | 22,465           |
|   | Japan                  | 2,669          | 130            | 2,789            |
|   | Taiwan                 | 614            | 18             | 633              |
|   | South Korea            | 561            | 47             | 609              |
|   | Thailand               | 223            | -              | 223              |
|   | Pakistan               | 106            | 150            | 256              |
|   | Philippines            | 66             | 150            | 216              |
|   | Other <sup>2</sup>     | 167            | -              | 167              |
|   | <b>Total</b>           | <b>115,968</b> | <b>26,007</b>  | <b>141,964</b>   |
| EUROPE  | Germany                | 34,250         | 5,279          | 39,165           |
|   | Spain                  | 22,959         | 28             | 22,987           |
|   | UK                     | 10,711         | 1,736          | 12,440           |
|   | France                 | 8,243          | 1,042          | 9,285            |
|   | Italy                  | 8,558          | 108            | 8,663            |
|   | Sweden                 | 4,382          | 1,050          | 5,425            |
|   | Portugal*              | 4,730          | 184            | 4,914            |
|   | Denmark                | 4,807          | 105            | 4,883            |
|   | Poland                 | 3,390          | 444            | 3,834            |
|   | Turkey                 | 2,958          | 804            | 3,763            |
|   | Romania                | 2,600          | 354            | 2,954            |
|   | Netherlands            | 2,671          | 141            | 2,805            |
|   | Ireland                | 2,049          | 222            | 2,272            |
|   | Austria                | 1,684          | 411            | 2,095            |
|   | Greece                 | 1,866          | 114            | 1,980            |
| Rest of Europe <sup>3</sup>                                       | 5,715                  | 835            | 6,543          |                  |
| <b>Total Europe</b>   | <b>121,573</b>         | <b>12,858</b>  | <b>134,007</b> |                  |
| of which EU-28 <sup>4</sup>                                       | 117,384                | 11,829         | 128,790        |                  |
| LATIN AMERICA & CARIBBEAN   | Brazil**               | 3,466          | 2,472          | 5,939            |
|   | Chile                  | 331            | 506            | 836              |
|   | Uruguay                | 59             | 405            | 464              |
|   | Argentina              | 218            | 53             | 271              |
|   | Costa Rica             | 148            | 50             | 198              |
|   | Nicaragua              | 146            | 40             | 186              |
|   | Honduras               | 102            | 50             | 152              |
|   | Peru                   | 2              | 146            | 148              |
|   | Caribbean <sup>5</sup> | 250            | -              | 250              |
|   | Others <sup>6</sup>    | 55             | 28             | 83               |
| <b>Total</b>  | <b>4,777</b>           | <b>3,749</b>   | <b>8,526</b>   |                  |
| NORTH AMERICA   | USA                    | 61,110         | 4,854          | 65,879           |
|   | Canada                 | 7,823          | 1,871          | 9,694            |
|   | Mexico                 | 1,917          | 634            | 2,551            |
|   | <b>Total</b>           | <b>70,850</b>  | <b>7,359</b>   | <b>78,124</b>    |
| PACIFIC REGION  | Australia              | 3,239          | 567            | 3,806            |
|   | New Zealand            | 623            | -              | 623              |
|   | Pacific Islands        | 12             | -              | 12               |
|   | <b>Total</b>           | <b>3,874</b>   | <b>567</b>     | <b>4,441</b>     |
| <b>World total</b>  | <b>318,644</b>         | <b>51,473</b>  | <b>369,597</b> |                  |

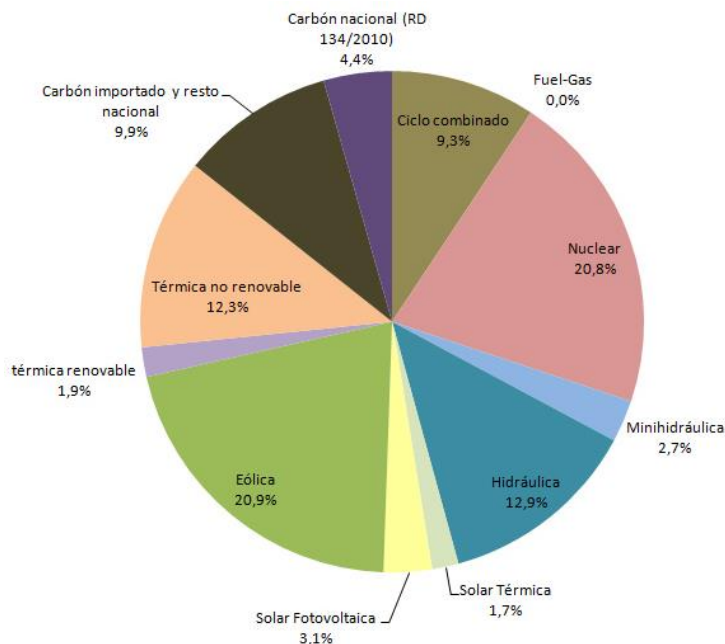
*Source: GWEC*

<sup>1</sup> Algeria, Iran, Israel, Jordan, Kenya, Libya, Nigeria  
<sup>2</sup> Bangladesh, Mongolia, Sri Lanka, Vietnam  
<sup>3</sup> Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Estonia, Finland, Faroe Islands, FYROM, Hungary, Iceland, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Malta, Norway, Romania, Russia, Switzerland, Slovakia, Slovenia, Ukraine  
<sup>4</sup> Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, UK  
<sup>5</sup> Caribbean: Aruba, Bonaire, Curacao, Cuba, Dominica, Guadalupe, Jamaica, Martinica, Granada, St. Kitts and Nevis  
<sup>6</sup> Bolivia, Colombia, Ecuador, Venezuela

**Note:**  
 Project decommissioning of approximately 523 MW and rounding affect the final sums  
 \* Provisional figure  
 \*\* Projects fully commissioned, grid connection pending in some cases

### 2.1.4. L'energia eòlica a Espanya

L'energia eòlica a Espanya a l'any 2013 representà un 20,9 % del vector energètic total a nivell espanyol. (AEE 2011a)



**Figura 3.** Vector energètic d'Espanya de l'any 2013.

La potència instal·lada d'energia eòlica a Espanya a finals de 2014 era de 22.986,5 MW. (AEE 2011b)

La **Taula 2** (AEE 2011b) mostra la potència instal·lada acumulada a finals de l'any 2013 i l'any 2014 per cada comunitat autònoma, a la vegada que indica el número de parcs eòlics existents. Finalment es suma aquesta potència i s'indica que el número total de parcs eòlics a Espanya a l'any 2014 era de 1.077.

**Taula 2.** Potència instal·lada en MW per a cada comunitat autònoma.

| COMUNIDAD AUTÓNOMA   | Acumulado 31/12/2013 | Potencia 2014 | Acumulado 31/12/2014 | Nº de parques (*) |
|----------------------|----------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| Castilla y León      | 5.560,01             |               | 5.560,01             | 241               |
| Castilla-La Mancha   | 3.806,54             |               | 3.806,54             | 139               |
| Andalucía            | 3.337,73             |               | 3.337,73             | 153               |
| Galicia              | 3.314,12             | 14,18         | 3.328,3              | 161               |
| Aragón               | 1.893,31             |               | 1.893,31             | 87                |
| Cataluña (**)        | 1.267,05             | 1,8           | 1.268,85             | 47                |
| Comunidad Valenciana | 1.188,99             |               | 1.188,99             | 38                |
| Navarra              | 1.003,92             |               | 1.003,92             | 49                |
| Asturias             | 518,45               |               | 518,45               | 21                |
| La Rioja             | 446,62               |               | 446,62               | 14                |
| Murcia               | 261,96               |               | 261,96               | 14                |
| Canarias             | 165,11               | 11,5          | 176,61               | 56                |
| Pais Vasco           | 153,25               |               | 153,25               | 7                 |
| Cantabria            | 38,30                |               | 38,30                | 4                 |
| Baleares             | 3,68                 |               | 3,68                 | 46                |
| <b>TOTAL</b>         | <b>22.959,02</b>     | <b>27,48</b>  | <b>22.986,5</b>      | <b>1.077</b>      |

Realçar que la potència instal·lada a les illes Canàries a finals de l'any 2014 era de 176,61 MW i contava amb 56 parcs eòlics distribuïts per les diferents illes que formen l'arxipèlag.

### *2.1.5. Futur de l'energia eòlica*

La investigació i el desenvolupament en l'àmbit eòlic està en constant evolució, ja que l'energia eòlica és una de les alternatives més viables en quan al futur abastiment d'electricitat a les ciutats i llars.

Alguns projectes que poden indicar quin serà el futur dels aerogeneradors i en conseqüència de l'energia eòlica són: (Tecnología y Mercado 2015)

- Aerogenerador INVELOX

Es tracta d'un projecte de l'empresa nord-americana SheerWind, que consisteix en la utilització d'embuts per a capturar el vent i que podrien arribar a produir un 600 % més d'energia elèctrica que els aerogeneradors actuals.

El vent entra per un embut que es va estrenyent fent que la velocitat del vent augmenti amb la conseqüència de que la turbina es mogui més ràpid i produeixi més energia. A més, pot adaptar-se a qualsevol mida i generar electricitat amb velocitats del vent baixes.

- Aerogeneradors voladors

Són aerogeneradors que floten a l'aire i gràcies a una dinamo generen electricitat. Utilitzen cables de subjecció al terra, per evitar que s'escapin, a la vegada que serveixen per transmetre l'energia elèctrica.

Estan dissenyats per elevar-se centenars de metres i d'aquesta manera poder aprofitar les corrents d'aire més regulars i intenses de les cotes altes.

- Windfreeways

Aquest projecte es basa en l'aprofitament del vent generat pels automòbils quan circulen a gran velocitat per autovies i autopistes. El sistema es basa en un parell de turbines d'eix horitzontal que es mourien quan passes un cotxe. Possiblement, aquest projecte es podria extrapolar a les línies de tren o metro i així aprofitar el moviment generat a l'aire.

- Turbines eòliques sense pales

El principi d'aquest generador eòlic és generar electricitat mitjançant la inducció magnètica en un generador situat a la base, al convertir el moviment oscil·latori vibrant de la part superior de l'aerogenerador. És necessari aconseguir la forma i les dimensions adequades per tal que aparegui el fenomen de ressonància, que en aquest cas incrementaria la oscil·lació i per tant l'energia generada. Per una banda, alguns dels avantatges que presenta aquest tipus d'aerogenerador és l'eliminació de les parts mòbils, per tant menys desgast i menys manteniment. D'altra banda al tenir un disseny simple, els costos de fabricació es redueixen de forma substancial.

Aquest són alguns dels molts projectes que s'estan desenvolupant actualment i que poden representar el futur d'aquesta tecnologia.

## 2.2. Introducció a l'emmagatzematge amb nitrogen líquid

En aquest apartat es fa una breu introducció a l'emmagatzematge d'energia elèctrica a partir del nitrogen líquid.

### *2.2.1. Ressenya històrica de la utilització del nitrogen líquid*

Emmagatzemar energia elèctrica fent ús del nitrogen líquid és una tecnologia molt nova i es podria dir que encara està en fase d'implementació. És per això que les plantes que existeixen d'aquest tipus són proves a petita escala per a poder investigar i desenvolupar la tecnologia utilitzada. En un futur més o menys proper es creu que se'n podria fer un ús més extensiu com el que es fa amb d'altres tipus de tecnologies.

En un origen aquesta tecnologia va sorgir per implementar-la en els motors de nitrogen que es podrien utilitzar en els cotxes. Aquest fet permetria als cotxes evitar l'emissió de gasos contaminants a l'atmosfera alhora que evitaria altres problemes com utilitzar bateries. Així mateix aquest tipus de motors són més econòmics que els convencionals i permetrien reduir el cost del vehicle.

El punt clau en el funcionament d'aquesta tecnologia en els automòbils rau en que el nitrogen té un punt d'ebullició molt baix. Com a resultat d'això, quan el nitrogen s'emmagatzema en un ambient pressuritzat sota control, s'obté un gran potencial d'energia apta per alliberar. El líquid es deixa alliberar fora del tanc pressuritzat i llavors es pre-escalfa en un artefacte anomenat economitador. Allà pren calor per vaporitzar-se i així expandir-se en una reacció endotèrmica. Aquest gas expandit es convertit en energia mecànica que mou l'eix directriu del vehicle. Com que el nitrogen és el principal element de l'aire i el nitrogen pur és l'únic producte involucrat en la reacció, no es produeix pol·lució al moure el vehicle en qüestió.

Tot i els avantatges que presenta aquesta tecnologia aplicada en l'automoció, els diferents projectes s'han deixat en segon pla i ha esdevingut una tecnologia que encara està en fase embrionària i s'ha de desenvolupar. Algun dels inconvenients que presenta aquesta tecnologia és el baix rendiment dels motors de nitrogen i la perillositat de manipular el nitrogen líquid per als usuaris.

Arran d'aquest desenvolupament ha esdevingut la capacitat d'emmagatzemar nitrogen en estat líquid a gran escala per a poder aprofitar l'alliberament energètic produït en la seva expansió. D'aquesta forma existeix la capacitat d'emmagatzemar electricitat, utilitzant l'energia elèctrica sobrant per a comprimir el nitrogen i en el moment donat, alliberant-lo i expandir-lo fent girar un generador que produirà electricitat.

### *2.2.2. Estat actual de l'emmagatzematge elèctric amb nitrogen líquid*

Com es comenta en anterioritat, actualment l'emmagatzematge elèctric fent ús del nitrogen líquid està en via de desenvolupament. És per això que no hi ha gaires plantes d'aquest tipus en funcionament i trobar antecedent és força complicat. Tot i això, una empresa londinenca ha construït una planta pilot que utilitzarà aquest sistema per emmagatzemar energia elèctrica de la xarxa. Si tot va bé, hi ha la possibilitat de que el govern del Regne Unit pugui finançar l'explotació d'una planta més gran capaç de mostrar la seva viabilitat econòmica. Aquest fet fa pensar que en el cas d'instal·lar una planta d'aquestes característiques a l'estat espanyol, el govern en podria finançar una part.

Sembla que amb l'augment de la producció d'energia a partir de fonts renovables, l'emmagatzematge d'energia de la xarxa elèctrica pren cada vegada una importància major. Si això és cert, s'investigarà cada vegada més en aquest tipus d'emmagatzematge i en tota la tecnologia que l'envolta. Aquest fet permetrà obtenir rendiments més elevats i a la vegada costos d'instal·lació menors, incrementant així la viabilitat econòmica d'aquest tipus de plantes d'emmagatzematge elèctric.

## 2.3. Parc eòlic

En aquest apartat s'exposa quin és i com s'ha dut a terme el disseny del parc eòlic d'aquest projecte. El parc eòlic pretén generar energia suficient per alimentar l'illa i la planta que s'hi pretén instal·lar a més, com s'ha dit, l'energia elèctrica produïda i no utilitzada serà emmagatzemada en la planta que fa ús de nitrogen líquid.

### 2.3.1. Ubicació general del parc eòlic

El parc eòlic que pretén instal·lar aquest projecte s'ubica a l'illa canària de La Gomera, pròxim a la població de San Sebastián de La Gomera. Les coordenades geogràfiques de l'emplaçament són 28° 5' 42,80" Nord i 17° 8' 8,74" Oest.

L'illa té una superfície de 369,76 km<sup>2</sup> i una població de 23.076 habitants. A La Gomera, tot i haver-hi cultius de fruites tropicals i petites explotacions de ramaderia, la seva economia es basa en el turisme, en especial el turisme rural.

#### Necessitat

Un motiu per el qual s'ha escollit realitzar el projecte a l'illa de La Gomera és perquè actualment la producció d'energia elèctrica es fa al complet amb motors dièsel. En conseqüència s'alliberen grans quantitats de diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) a l'atmosfera. La central que subministra energia elèctrica a l'illa és El Palmar i té una potència instal·lada de 22,8 MW, distribuïts en deu grups de generadors.



**Figura 4.** Exemple de CO<sub>2</sub> alliberat en un dia a La Gomera degut a la generació elèctrica.

El diòxid de carboni alliberat, en elevades concentracions, pot ser perjudicial per a la salut humana i també per al planeta. Per una banda, grans concentracions de

CO<sub>2</sub> a l'aire causen problemes respiratoris a la població i les partícules en suspensió poden anar lligades a problemes cancerígens. D'altra banda, l'alliberació de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera provoca l'augment de la temperatura del planeta, donant lloc a l'anomenat escalfament global, intervenint en l'efecte hivernacle.

Aquesta central elèctrica també emet grans quantitats d'altres gasos i també residus d'origen perillós. Alguns residus generats per la central són olis de motor, olis de transmissió, envasos contaminats, absorbents, entre d'altres. (Espanya 2015)



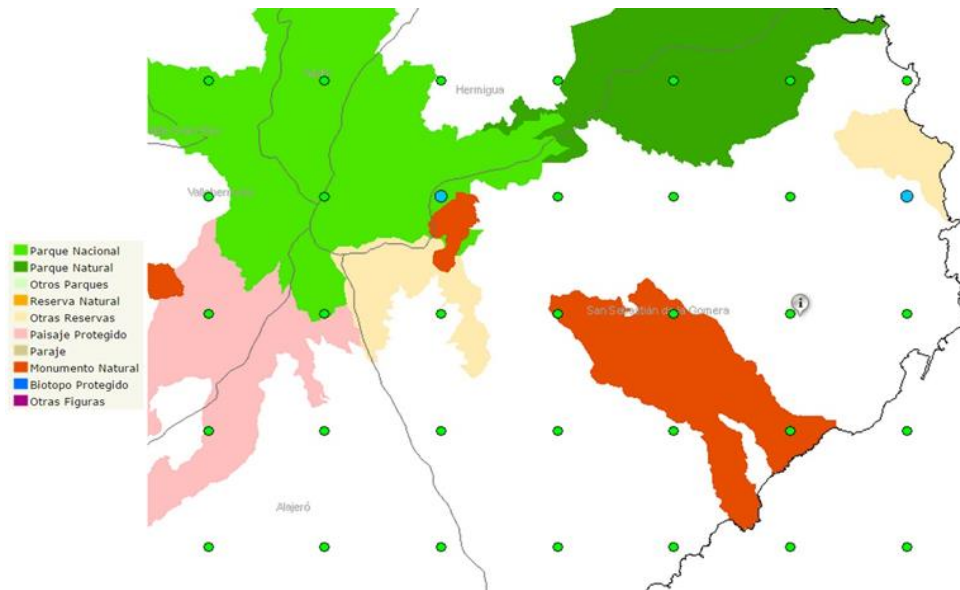
**Figura 5.** Illa de la Gomera. Dades del mapa © 2015 Google, La Gomera.

Un altre motiu per al qual l'illa de La Gomera ha estat l'emplaçament escollit per a realitzar aquest estudi és l'abundància de vent. Com que la idea del projecte és generar energia a partir d'una font renovable i en aquesta illa el vent hi és present gairebé cada dia, La Gomera esdevé un paratge adequat per a projectar-hi un parc eòlic.

### Justificació ambiental

Abans d'instal·lar el parc eòlic s'ha d'assegurar que els límits del parc no estiguin en territori protegit. L'Institut para la Diversificación y Ahorro de la Energia" (IDAE) disposa d'una aplicació online anomenada "meteosim" que pot servir per conèixer quines són les zones protegides. (IDAE 2015)

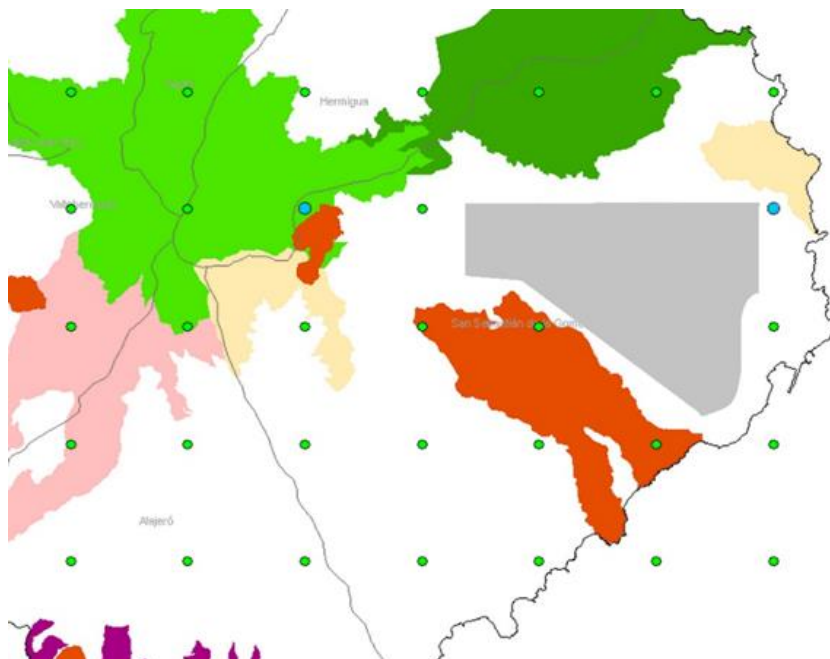
En aquesta aplicació hi ha indicat sobre un mapa cartogràfic les zones de protecció especial. Com indica la llegenda, tota zona que estigui pintada en el mapa és d'interès natural, en canvi si no apareix pintada no està afectada.



**Figura 6.** Mapa cartogràfic de La Gomera extret de "meteosim" on es poden veure les zones de protecció.

La zona marcada en gris a la **Figura 7** és apta per a construir-hi el parc eòlic i serà la zona utilitzada per a simular-hi amb Openwind®.

L'empresa AWSTruepower® ha proporcionat el software Openwind® juntament amb les dades necessàries per a dur a terme la simulació del parc eòlic. La seva aportació ha estat crucial per a l'elaboració del parc eòlic.



**Figura 7.** En gris, zona apta per a instal·lar-hi el parc eòlic.

### 2.3.2. Aerogeneradors utilitzats

El parc eòlic que es dissenya en aquest projecte està format per aerogeneradors de la marca Enercon model E82 de 3.000 kW de potència nominal. (ENERCON 2010)



### Especificacions de l'aerogenerador

Els generadors eòlics escollits tenen una potència nominal de 3.000 kW. Aquesta gran capacitat permetrà generar més energia que la que es generaria amb un nombre igual d'aerogeneradors de menys potència. Per tant, la mida del parc eòlic serà més reduïda causant així el menor impacte possible a l'illa de La Gomera.

Mencionar que s'ha estudiat la possibilitat d'instal·lar aerogeneradors d'una potència més elevada, això permetria reduir la mida del parc eòlic i abreujar al mínim l'impacte visual. L'inconvenient d'aquests aerogeneradors de més potència que els instal·lats és que la caixa acostuma a estar a altures superiors als 80 m i en el cas d'estudi, només es disposava de les dades del vent a una altura de 80 m. És per aquests motius que s'ha cregut convenient escollir els aerogeneradors de la marca Enercon i fer el disseny i la simulació del parc eòlic de la forma més fidel a la realitat possible.

El diàmetre del rotor és de 82 m essent la gòndola a una altura de 80 m. La superfície escombrada per les tres pales de les que disposa l'aerogenerador és de 5.281 m<sup>2</sup>. La classe de vent suportada és IEC/NVN IIA, la velocitat del vent de connexió (cut-in) és de 2 m/s i la velocitat de desconexió (cut-out) de 25 m/s.

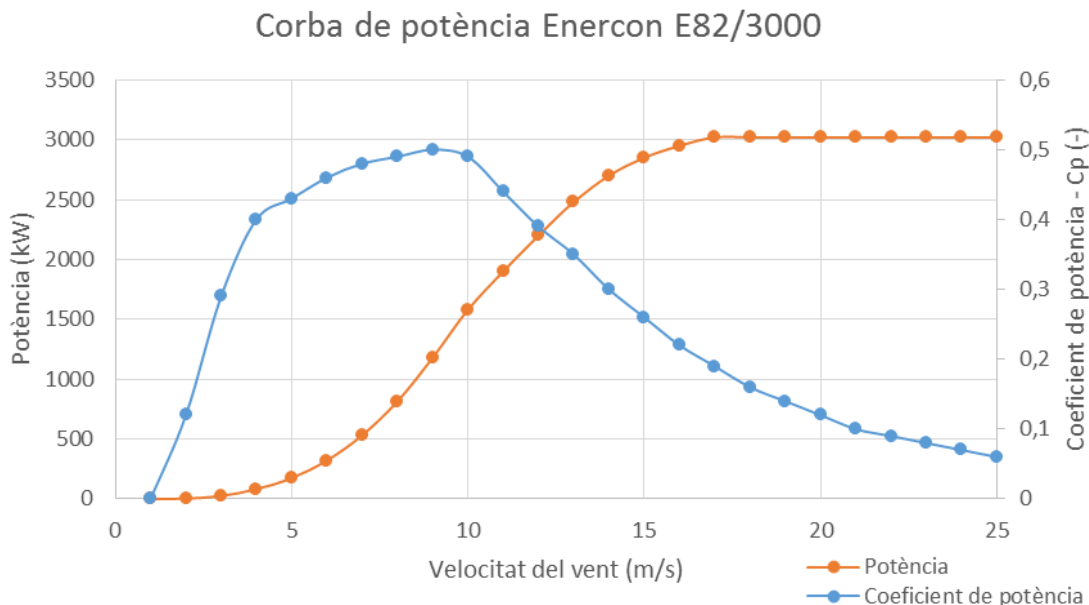
Es pot controlar l'angle de pas de les pales (pitch control) i utilitza un sistema de monitoratge i control ENERCON SCADA. L'aerogenerador no utilitza caixa d'engranatges sinó que funciona amb accionament directe, treballa a velocitat variable, el seu generador és síncron d'ímants permanents i, en el cas de l'instal·lat, proporciona una tensió de sortida de 690 V.



**Figura 8.** Aerogenerador Enercon E82 de 3.000 kW.

### Corba de potència

A l'hora de fer càlculs i prendre decisions estratègiques, és molt útil conèixer la corba de potència i coeficient de potència de l'aerogenerador. Enercon subministra la informació de la potència generada per l'aerogenerador per a cada velocitat del vent i també el seu coeficient de potència.



**Figura 9.** Corba de potència i coeficient de potència de l'aerogenerador Enercon E82 de 3.000 kW.

La **Figura 9** mostra la corba traçada a partir de la taula informativa que proporciona Enercon pel model d'aerogenerador E82 amb les dades calculades a una densitat de l'aire de 1,225 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.3.3. Simulació d'un parc eòlic

Per tal de dissenyar el parc eòlic i optimitzar la distribució dels aerogeneradors, s'utilitza el software Openwind<sup>®</sup> subministrat per l'empresa AWSTruepower<sup>®</sup>.



**Figura 10.** Logotip de l'empresa subministradora del software Openwind<sup>®</sup> i de les dades del vent.

Aquest software permet el disseny, l'optimització i l'avaluació de projectes d'energia eòlica.

#### Introducció a Openwind<sup>®</sup>

Openwind<sup>®</sup> és un programa desenvolupat per AWSTruepower<sup>®</sup> i està construït al voltant d'una plataforma de codi obert. La seva interfície d'usuari, tipus de dades i arquitectura segueixen el model dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG). (Awstruepower 2014)

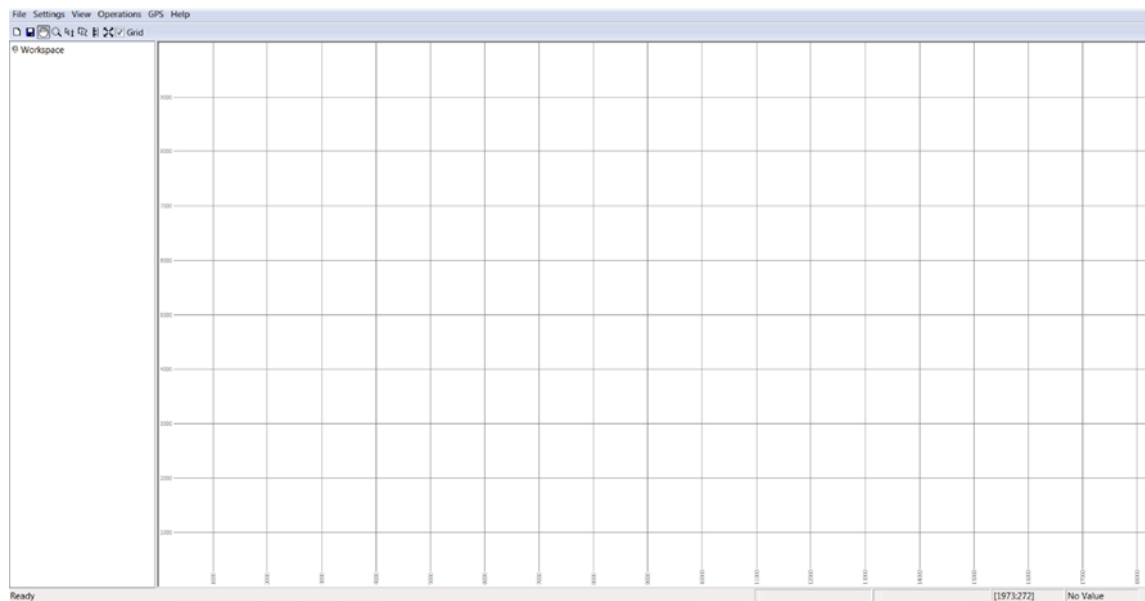
Openwind<sup>®</sup> permet separar la informació en diferents capes temàtiques, fet que permet treballar amb elles per separat i dona la possibilitat de relacionar la

informació existent entre capes a través d'un sistema de jerarquia. La superposició de la informació és força important per poder obtenir una correcta visualització del territori en l'espai de treball. El programa permet reordenar i canviar la jerarquia de les capes segons convingui en cada cas. (Alfonzo and González 2011)

Les interaccions entre capes d'Openwind® només poden existir entre dos capes, per tant és important tenir-ho en compte al moment de realitzar canvis. Degut a que les dades introduïdes en una capa poden tenir efecte a les capes creades posteriorment, la interfície d'Openwind® està formada principalment pels següents tipus de fitxers i capes:

- **Capa vectorial (arxiu .SHP):** és la capa base en la qual es carreguen els fitxers que contenen la informació que utilitzarà el modelat. Principalment conté informació del territori i de les diferents característiques que el defineixen; com pot ser nuclis urbans, carreteres, cases aïllades, parcs, cementiris, entre d'altres.
- **Recurs eòlic (arxiu .WRG):** és el fitxer que conté la informació sobre el recurs eòlic del territori a simular. Aquest fitxer està compost per tres capes, una amb informació de la velocitat mitjana del vent, una altra amb la mitjana de densitat de potència i finalment una capa amb les dades d'elevació del terreny.
- **Distribució de freqüències (arxiu .TAB):** aquesta capa conté la informació carregada de la distribució de freqüències del vent, és a dir es genera una rosa dels vents indicant en quina freqüència bufa el vent per a cada direcció. Aquest fitxer permet realitzar la simulació i poder extreure'n un resultat optimitzat per al territori on es pretén fer la simulació.
- **Zona que delimita el parc eòlic:** és una capa poligonal que es crea per a definir els límits en els quals el programa realitzarà la optimització i simulació del parc eòlic.
- **Capa d'aerogeneradors:** en aquesta capa s'ubiquen les turbines que es pretenen simular per al parc eòlic. Les especificacions de les turbines es carreguen anteriorment i això permet que la simulació a realitzar sigui fidel al parc eòlic real.

Les capes d'Openwind® es poden manipular en el workspace (part esquerra de la interfície del programa), aquestes capes es veuen representades a l'espai dret d'aquesta interfície fet que permet visualitzar les propietats del parc eòlic a simular.



**Figura 11.** Interfície del software Openwind®.

### Definició de les dades a Openwind®

Per a poder realitzar la simulació del parc eòlic que es pretén dissenyar s'ha fet ús de diferents fitxers de dades i de diferents softwares. A continuació s'explica quins han estat els passos per a definir les dades de cada fitxer.

#### *a. Fitxers .shp*

Els fitxers amb format .shp contenen la informació geogràfica, entre d'altra, de la illa de La Gomera (Illes Canàries). Per generar aquests fitxers s'ha utilitzat el web de la *Conserjería de Economía, Hacienda y Seguridad del Gobierno de Canarias*. ("Exportación de Ficheros EIEL" 2014)



**Figura 12.** Web per extreure els fitxers .shp.

Un cop seleccionada del web quina és la informació que es vol obtenir, aquesta s'exporta amb un fitxer comprimit. Aquest fitxer exportat inclou tots els fitxers en format .shp necessaris per a poder-los importar a Openwind® i així definir el territori, en el cas concret d'estudi, de l'illa de La Gomera.

Per importar aquests fitxers a Openwind® es selecciona "Open Vector Layer" del menú "File".

#### *b. Fitxers .WRG*

Un cop definit el territori s'ha d'especificar el recurs eòlic de l'illa de La Gomera. Aquesta informació ha estat subministrada per AWSTruepower®. Aquest fitxer està compost per tres capes, una on hi ha la informació sobre la velocitat mitjana del vent a l'illa, una altra amb la mitjana de la densitat de potència i finalment una amb les dades d'elevació del terreny.

#### *c. Fitxer .TAB*

A continuació s'especifica la distribució de freqüències del vent, és a dir en quina freqüència bufa el vent per a cada direcció. Aquesta informació s'ha obtingut del web de Iowa Environmental Mesonet (IEM). (IEM 2015)

Un cop s'han seleccionat els paràmetres que es volen exportar i amb quin tipus de modelat de base de dades es vol, se n'extreu un fitxer de text en format .txt.

Select Network: Spain ASOS [Switch to Network]

1) Select Station/Network by clicking on location:

1) Selected Station(s): You can download from one or more stations. select all

2) Select From Available Data:

Note: Cloud information and raw METAR data is not available for all observations, the IEM continues to backfill this information.

3) Specific Date Range (If needed):

Note: Data is available from this archive up until the current UTC date. A process runs at midnight Iowa time to populate the previous UTC's day worth of data.

4) Timezone of Observation Times:

The following options are available for how the observation time is presented.

5) Download Options:

6) Finally, get Data:

Download Variable Description

- station: three or four character site identifier
- valid: timestamp of the observation
- tmpf: Air Temperature in Fahrenheit, typically @ 2 meters
- dwpf: Dew Point Temperature in Fahrenheit, typically @ 2 meters
- relh: Relative Humidity in %
- drct: Wind Direction in degrees from north
- sknt: Wind Speed in knots
- p01i: One hour precipitation for the period from the observation time to the time of the previous hourly precipitation reset. This varies slightly by site. Values in inches
- alti: Pressure altimeter in inches
- mslp: Sea Level Pressure in millibar
- vsby: Visibility in miles
- gust: Wind Gust in knots
- skyc1: Sky Level 1 Coverage
- skyc2: Sky Level 2 Coverage
- skyc3: Sky Level 3 Coverage
- skyc4: Sky Level 4 Coverage
- sky11: Sky Level 1 Altitude in feet
- sky12: Sky Level 2 Altitude in feet
- sky13: Sky Level 3 Altitude in feet
- sky14: Sky Level 4 Altitude in feet
- presentwx: Present Weather Codes (space separated)
- metar: unprocessed reported observation in METAR format

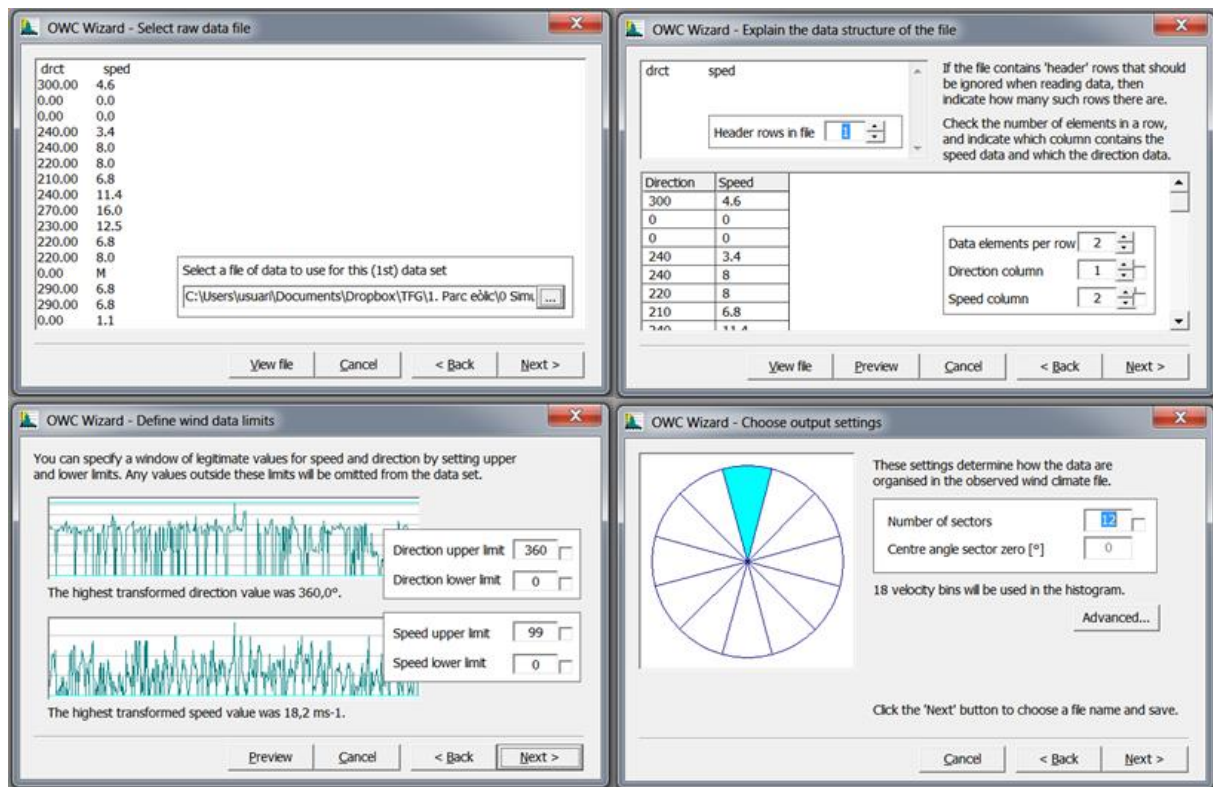
**Figura 13.** Web per extreure el fitxer de dades de la distribució dels vents.

El fitxer que s'ha generat s'obre amb el software Microsoft Excel (indicant-li quin tipus de separador s'utilitza, en aquest cas punt i coma, seguidament del tipus de separador decimal utilitzat). Aquest nou document es guarda en format .txt tabulat, ja que d'aquesta manera podrà ser important a un software amb capacitat per al tractament específic d'aquesta base de dades.

En els següents passos s'utilitza el software WASP (de l'anglès *Wind Atlas Analysis and Application Program*). En concret s'empra l'aplicació OWC Wizard d'aquest software. (Technical University of Denmark 2015)

La utilització de l'aplicació OWC Wizard del software WASP permet crear un fitxer de dades amb extensió .TAB apte per a ser importat a Openwind®. Per a fer-ho es defineixen diferents dades generals com l'altura de mesura o la longitud i latitud d'ubicació. Tot seguit s'adjunta el fitxer de dades creat anteriorment i es defineixen

els paràmetres i propietats que el componen. Un cop fet tot el procés s'apliquen els factors de conversió adients per tal de disposar de les unitats en el sistema internacional i es determina quin format es requereix per al fitxer de sortida.



**Figura 14.** Procés per a l'obtenció del fitxer .TAB amb OWC Wizard.

Aquest fitxer generat té l'extensió .TAB i es pot importar directament a Openwind®, per a fer-ho es selecciona "Open Meteorological Mast" del menú "File". Un cop importat, Openwind® ja disposa de la distribució freqüencial del vent o rosa freqüencial dels vents.



**Figura 15.** Amb vermell, distribució freqüencial del vent generada per a La Gomera a Openwind®.

*d. Zona per a delimitar el parc eòlic*

Un cop s'han importat tots els fitxers de dades a Openwind® es delimita una zona apta per a construir-hi el parc eòlic. Això es pot fer afegint una capa poligonal indicant el terreny disponible per a ubicar-hi les turbines eòliques. Assenyalant la jerarquia adequada, Openwind® permetrà optimitzar el procés que determina quina és la ubicació òptima dels aerogeneradors dins dels límits indicats per aquesta capa.



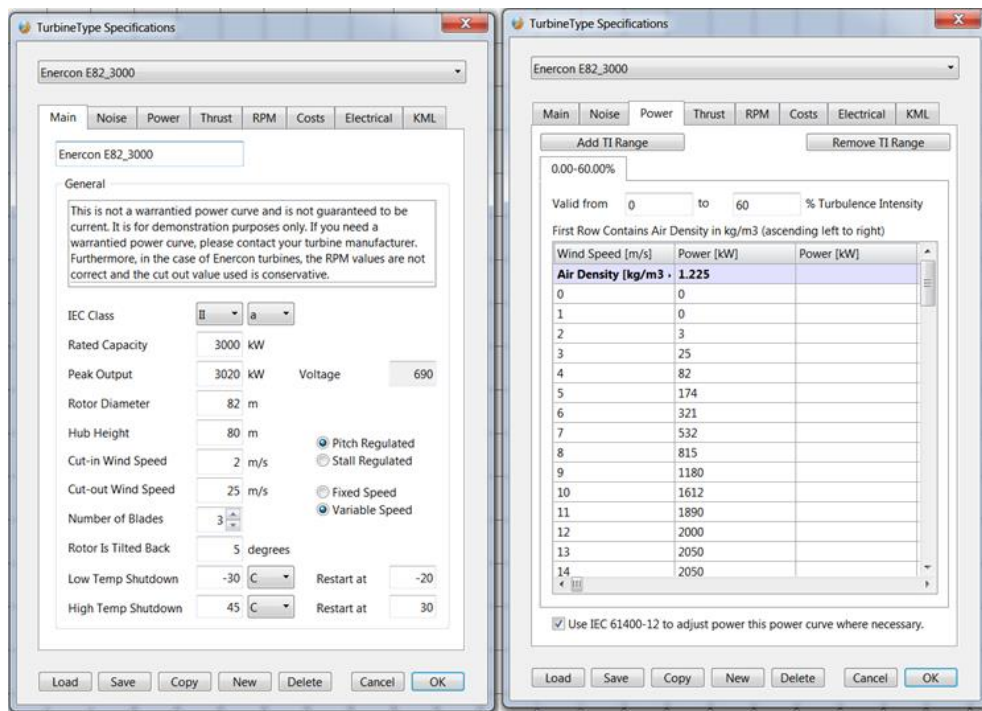
**Figura 16.** En marró, exemple de la zona delimitada per a ubicar-hi els aerogeneradors a Openwind®.

*e. Definició de les característiques dels aerogeneradors*

Abans d'ubicar els aerogeneradors al territori s'han de definir les seves característiques. En el cas del present projecte s'han escollit les turbines del fabricant Enercon model E-82 de 3.000 kW de potència. (ENERCON 2010)

Per definir un aerogenerador a Openwind® es pot fer accedint al menú "Settings - Turbine Types", aquí s'han d'indicar totes les especificacions de la turbina seleccionada a cada una de les pestanyes.





**Figura 17.** Exemple de les especificacions de la turbina utilitzada per a la simulació.

Un cop s'han afegit totes les especificacions, en aquest cas de l'aerogenerador Enercon E82, es guarda el fitxer de dades i aquest ja està llest per a ser carregat a la simulació.

#### *f. Ubicació dels aerogeneradors*

Finalment i un cop definits tots els ítems esmentats anteriorment és el moment de posicionar els aerogeneradors que es volen instal·lar. Per a fer-ho únicament s'ha d'indicar quants se'n volen situar ja que el sistema d'optimització mostrarà quin és el lloc òptim per a instal·lar-los dins dels límits indicats per a la construcció del parc.



**Figura 18.** Exemple de posicionament aleatori dels aerogeneradors dins i fora dels límits del parc.

### *g. Optimització de les turbines eòliques*

Openwind® disposa d'un sistema d'optimització que indicarà quina és la posició òptima sobre el territori on instal·lar les turbines eòliques per a que produeixin el màxim d'energia.

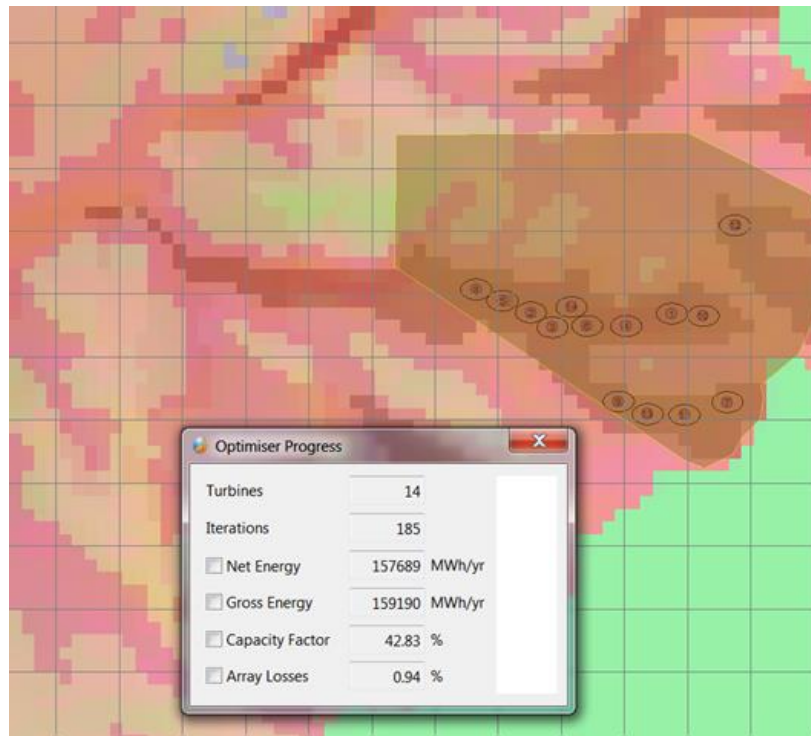
### *h. Com funciona el sistema d'optimització d'Openwind®*

L'eina d'optimització comprova si totes les turbines compleixen les restriccions i les indicacions sobre el recurs eòlic. Si no és així intenta trobar una posició aleatòria per les turbines que si que ho compleixin. Una vegada el disseny compleix amb tot (anomenat disseny legal), l'eina d'optimitzar realitza una prova per obtenir una energia d'inici. Llavors tornar a provar el disseny per assignar el seu primer punt de referència d'optimització. A continuació, comença a optimitzar el disseny. (AWSTruepower 2015)

Cada iteració feta per a optimitzar consta dels següents passos:

- 1r. S'intenta trobar una posició legal per a cada turbina. Si l'emplaçament de la turbina de l'última iteració ha estat bo, intentarà la mateixa direcció de nou. D'altra manera, buscarà una nova pertorbació aleatòria. Si la posició nova no és legal, es produirà una nova pertorbació aleatòria i continuarà d'aquesta manera fins que totes les turbines tinguin posicions noves legals.
- 2n. L'eina d'optimització executarà una captura d'energia si l'energia total és major que l'energia de referència, acceptarà tot el nou disseny i es convertirà en valor de referència.
- 3r. En cas de no acceptar el nou disseny en la seva totalitat, l'eina considera la pertorbació, es descarta i la turbina retorna a la seva posició i energia de referència inicial.
- 4t. L'eina suma l'energia total de totes les turbines i si és igual o major que l'energia de referència, executa una altra captura d'energia per veure si realment millora. Si no és així, es descarten totes les pertorbacions i es torna al primer pas. En canvi, si és així s'accepten les noves posicions i l'energia com a referència i es torna a executar el primer pas.

Per optimitzar la ubicació de les turbines es pot fer des del menú "Operations" i "Optimise Turbine Positions". Tot seguit Openwind® comença a realitzar iteracions i es pot veure com va ubicant les turbines a la zona delimitada per a fer-ho.



**Figura 19.** Exemple del procés d'iteració no finalitzat.

*i. Extracció dels resultats*

Un cop finalitzada l'optimització es pot extreure un fitxer en format .txt que obrint-lo amb Excel i aplicant-li els tractaments corresponents, pot ser de gran utilitat a l'hora d'avaluar el camp eòlic dissenyat i optimitzat per tal de generar el màxim d'energia a produir.

*2.3.4. Simulació del parc eòlic a dissenyar*

Per a calcular el número d'aerogeneradors de 3 MW necessaris per abastir el conjunt total de l'illa de La Gomera (inclòs consum dels habitants més el consum de la planta d'emmagatzematge), s'han fet diverses simulacions. La simulació que indica una energia generada suficient per abastir la demanda, amb el mínim nombre d'aerogeneradors, és la que assenyala quants aerogeneradors seran necessaris.

Així doncs, el parc eòlic que es vol simular consta de 13 aerogeneradors d'una potència de 3 MW cadascun, per tant el parc eòlic serà de 39 MW instal·lats.

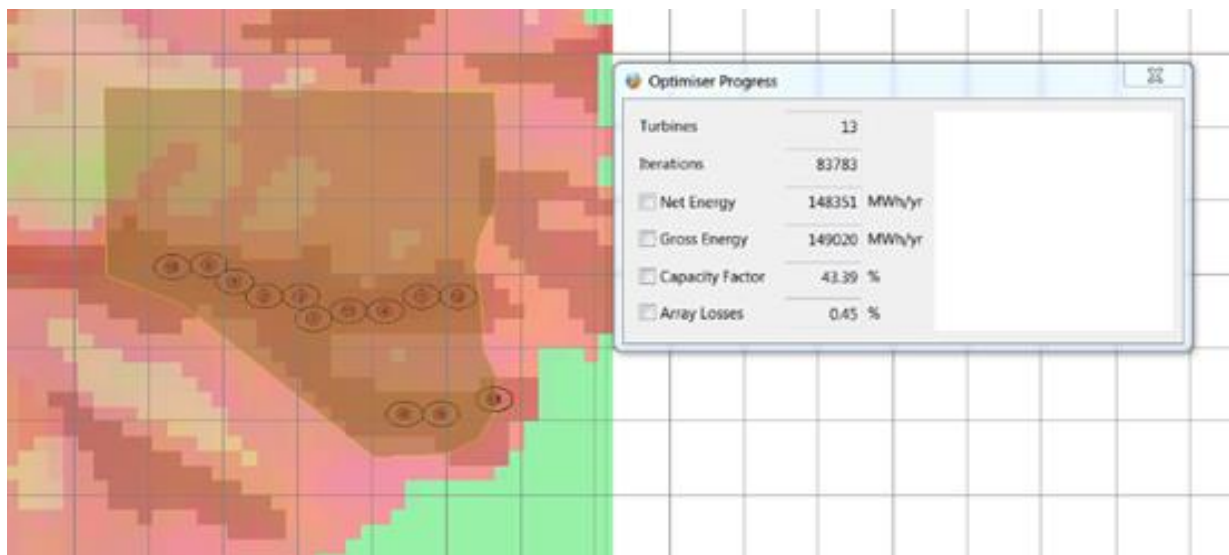
Al software Openwind® es marca la zona de l'illa de La Gomera apta per a construir-hi el parc eòlic i s'indica que s'hi instal·laran 13 aerogeneradors de la marca Enercon de 3.000 KW cadascun. Un cop definit, s'inicia el procés d'iteració que permet calcular l'energia que generaran anualment els aerogeneradors en conjunt i quina ha de ser la seva ubicació òptima.

Destacar que cada aerogenerador té associada una zona d'interferència en la qual hi pot existir algun tipus de perturbació en l'aire i això afectar als altres aerogeneradors. Al simulador se li defineix una el·lipse de 490 m per 330 m per tal d'evitar que els aerogeneradors s'afectin entre si.

### 2.3.5. Resultats de la simulació del parc eòlic

En el dimensionament del parc eòlic, s'han realitzat diverses simulacions abans d'escollir la final. Com de més iteracions consta la simulació, més optimitzat és el resultat que s'obté.

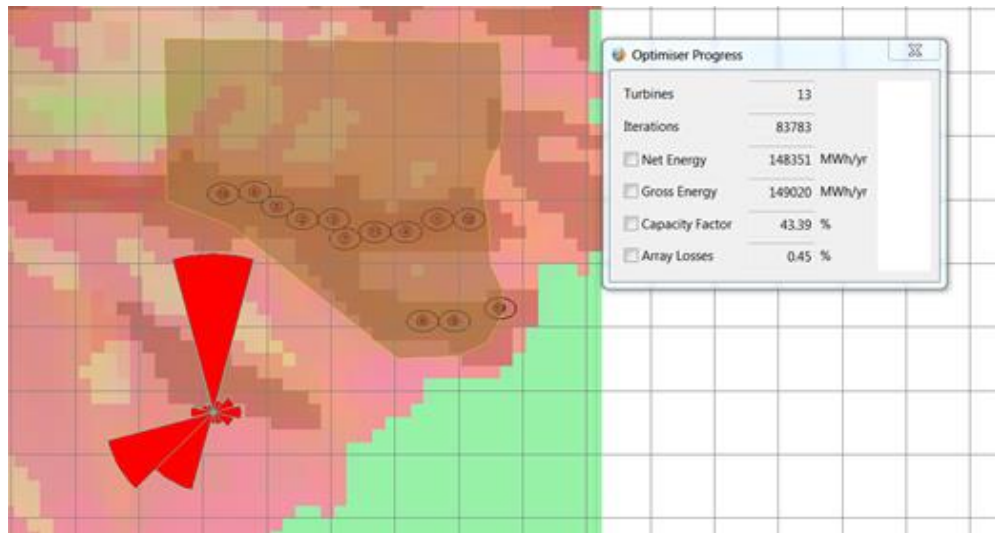
Després de realitzar 83.783 iteracions, unes vuit hores de simulació, el software Openwind® ha conclòs que l'energia neta total que subministrarà el parc eòlic serà de 148.351 MWh/any. Tanmateix la posició òptima dels aerogeneradors per a obtenir aquesta energia es mostra sobre el mapa.



**Figura 20.** Captura del resultat de l'optimització d'Openwind®.

Com es pot observar a la **Figura 21**, el software col·loca els aerogeneradors a la zona on el vent és més abundant (zona més vermella). Si s'observa la distribució freqüencial del vent, es veu que el vent amb direcció Nord és el que abunda més, per aquest fet els aerogeneradors s'han orientat de tal manera per a minimitzar al màxim la interferència entre ells. La zona òptima per a instal·lar-hi el parc eòlic coincideix amb la carena de les muntanyes de la zona i presenta diferents avantatges:

- Àrea llunyana a la població de San Sebastián de la Gomera.
- Sense cap mena de restricció especial per a la protecció d'aus o de la vegetació.
- Zona propera a l'actual central del Palmar, això facilita la connexió a la xarxa elèctrica i abarateix costos en equips nous.
- L'espai lliure entre la part Nord del parc i la Sud serà utilitzada per a ubicar-hi la central d'emmagatzematge. D'aquesta manera es podran reduir els costos i també reduir les pèrdues en transport.



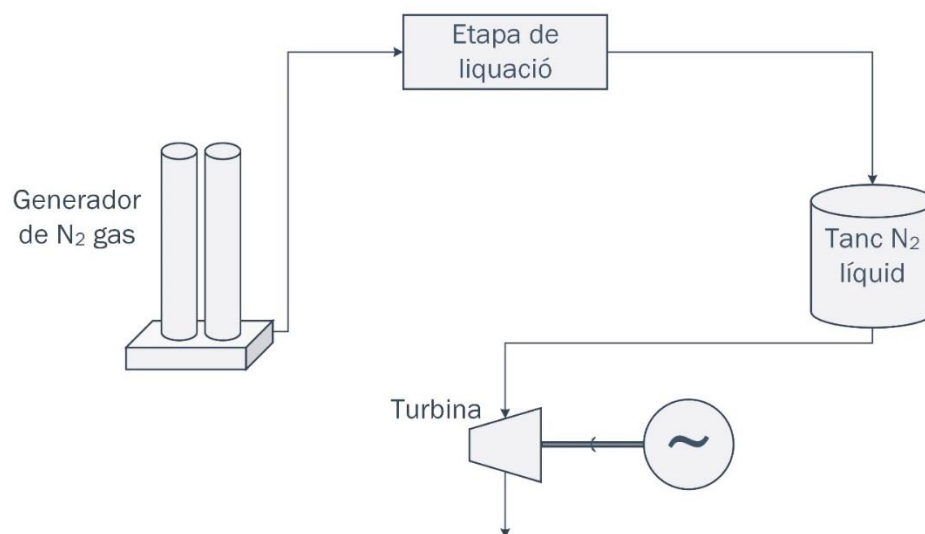
**Figura 21.** Resultats Openwind® amb la distribució freqüencial del vent.

## 2.4. Planta d'emmagatzematge d'electricitat a partir de nitrogen líquid

En aquest apartat s'explica, en primer lloc, l'estructura de la planta d'emmagatzematge d'energia fent ús de nitrogen líquid d'una forma general. A mesura que s'aborda el tema s'anirà desenvolupant cada etapa fins arribar al disseny final.

D'aquesta manera, la planta d'emmagatzematge està formada, en essència, per les parts següents (es poden veure a la **Figura 22**):

- Generació del nitrogen en estat gasós a partir d'una planta generadora de nitrogen.
- Lliquació del nitrogen.
- Emmagatzematge del nitrogen en estat líquid.
- Compressió i vaporització del nitrogen líquid.



**Figura 22.** Esquema simplificat de la central d'emmagatzematge.

Tot seguit, en els proper apartats, s'explicaran cada una de les etapes d'una forma exhaustiva.

#### *2.4.1. Generació del nitrogen a partir d'una planta generadora*

La planta d'emmagatzematge d'energia es podria dissenyar amb la capacitat de liquar aire enlloc de només liquar el nitrogen. Aquest fet comportaria haver de liquar oxigen i això suposa diversos riscos força perillosos, ja que molts materials considerats no combustibles, en presència d'oxigen en estat líquid poden inflamar-se alhora que els materials orgànics poden reaccionar de forma explosiva en presència d'oxigen líquid. És per aquest fet que s'ha optat per tenir una entrada de nitrogen al sistema de nitrogen liquat enlloc d'aire.

La separació del nitrogen de l'aire a gran escala s'acostuma a fer mitjançant un sistema de liquació amb torre de separació. L'inconvenient de fer servir aquest mètode és que s'ha de comprimir i treballar amb tot l'aire present dins del sistema i això té un cost energètic elevat. En aquest projecte, i amb la finalitat de reduir al màxim el consum d'energia elèctrica, s'ha optat per instal·lar una màquina que captura l'oxigen present en l'aire i deixa passar el nitrogen amb un molt baix consum energètic pel sistema.

El generador de nitrogen que s'utilitza en la planta d'emmagatzematge està format per dos tancs plens de carbó molecular (CMS). L'aire comprimit penetra a 7 bar dins del primer tanc, on el carbó molecular present en ell atrapa les molècules d'oxigen deixant passar únicament el nitrogen. Quan el carbó utilitzat per a captar l'oxigen està saturat, el cabal d'aire és desviat al segon tanc. Llavors el primer tanc es ventila a pressió atmosfèrica alliberant d'aquesta forma tot l'oxigen retingut durant el procés anterior. Aquest cicle es completa reiteradament fins que s'omple el tanc on s'emmagatzema el nitrogen gas generat. D'aquesta manera s'obté un nitrogen net, sec, sense olis i en concentracions d'una puresa entre el 95 % i el 99,999 % a una pressió de 6 bar.



**Figura 23.** *Generador de nitrogen escollit.*

Gràcies a la presència del generador que extreu el nitrogen a una pressió de 6 bar, es pot eliminar el compressor utilitzat en l'entrada del sistema ja que aquest comprimiria el nitrogen gasós fins a una pressió de 5 bar, pressió que seria la de sortida del tanc de nitrogen gas.

Fent ús del generador de nitrogen, el rendiment de la central és d'un 0,97 % inferior que sense utilitzar-lo, sent finalment i de manera global d'un 22,5 %.

Altrament d'aquesta forma es pot garantir l'autonomia de la central sense haver de dependre d'abastiments de nitrogen d'una forma regular.

#### *2.4.2. Etapa de liquació del nitrogen*

Liquar un gas consisteix en refredar-lo a una temperatura inferior a la seva temperatura crítica (temperatura límit per damunt de la qual un gas miscible no pot ser liquat per compressió) i sotmetre'l a una compressió isotèrmica. La quantitat de refredament que es necessita per a la planta és major que la produïda per una màquina frigorífica, aquest fet fa descartar l'ús d'una màquina que generi fred en el procés de liquèfacció de la central que es vol dissenyar. La solució és utilitzar l'expansió del propi gas per tal d'arribar a temperatures extremadament baixes.

Aquesta expansió es pot dur a terme a partir dels dos fonaments de la liquació dels gasos, que són:

- L'efecte Joule-Thompson, aquest fenomen aprofita el descens de temperatura en l'expansió dels gasos reals i s'efectua a costa de l'energia del sistema. Aquest efecte és la base del funcionament del cicle de Linde.
- L'expansió en un cilindre per produir treball exterior que recupera parcialment el treball de compressió, base del procediment del cicle de Claude.

Els mètodes de liquació bàsics, podent considerar els altres com a derivats d'aquests són:

- El mètode de Linde.  
Aquest mètode es basa en el procés en el qual la temperatura d'un sistema disminueix o augmenta al permetre que el sistema s'expandeixi lliurement mantenint constant l'entalpia. Altrament anomenat efecte Joule-Thomson o efecte Joule-Kelvin.
- El mètode de Claude.  
El mètode de Claude és una modificació del cicle de Linde en el que el refredament s'obté a través d'una expansió adiabàtica i el més isoentròpica possible, produint d'aquesta manera un treball que és reutilitzat dins del mateix cicle.
- El mètode en cascada o de Pictet.  
Aquest és el procediment més antic i consisteix en col·locar diverses màquines frigorífiques en sèrie de manera que la temperatura inferior d'un cicle s'aproximi a la temperatura superior del següent.

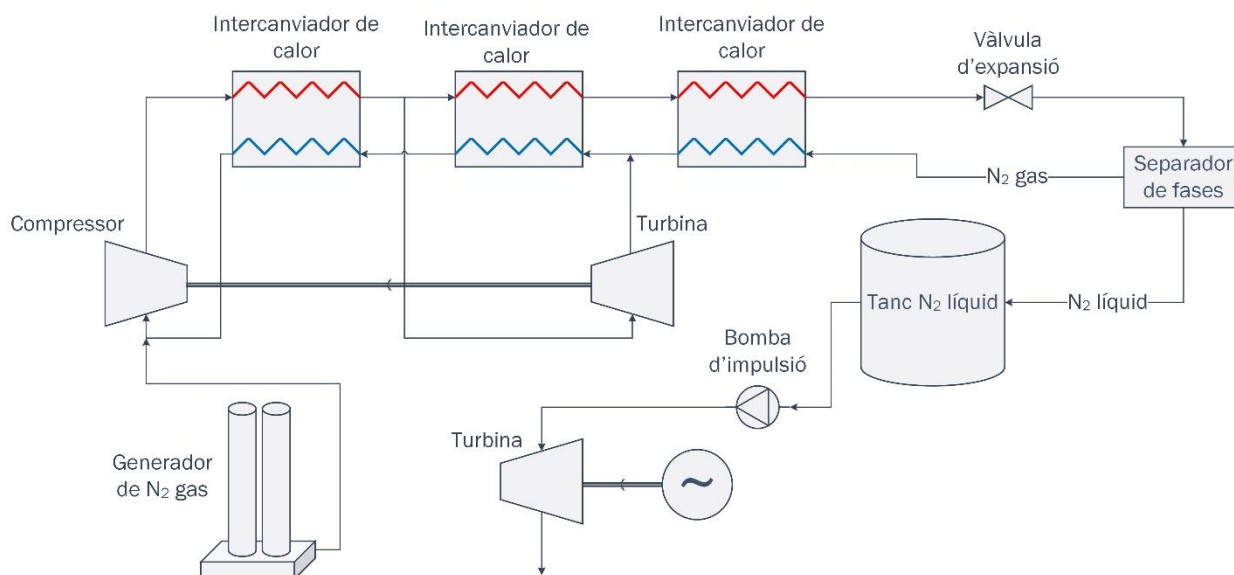
El mètode escollit per tal de realitzar la planta d'emmagatzematge d'aquest projecte és el mètode de Claude. El motiu d'aquesta decisió és que tot i operar com un procés de Linde es requereix menys treball per unitat de nitrogen líquid obtingut. Aquest fet és degut a que la fracció de gas que s'expandeix de forma adiabàtica a la turbina és capaç de produir un treball exterior aprofitable.

#### *Explicació del cicle bàsic de liquèfacció*

Amb la finalitat de liquar el gas, en el cicle de Claude, en primer lloc es comprimeix el nitrogen; tot just sortir del compressor, el nitrogen es refredat amb l'ajuda d'un intercanviador de calor. Una part d'aquest nitrogen es deriva cap a una turbina per tal de proporcionar una part de l'energia necessària per fer funcionar el compressor alhora que proporciona fred als intercanviadors ja que al turbinar un gas la seva

temperatura disminueix. L'altra part de nitrogen que no s'ha derivat inicialment, es refredat pel nitrogen procedent d'aquesta barreja amb el nitrogen fred usat en el tercer intercanviador.

El nitrogen que s'ha refredat al tercer intercanviador després es refreda encara més amb l'ajuda d'una vàlvula d'expansió Joule-Thompson. A causa d'aquest darrer refredament una part del fluid es liqua. Seguidament es passa el fluid per un separador de fases on la fase líquida es deriva cap a un tanc d'emmagatzematge i la part gasosa es recirculada cap als intercanviadors per tal de proporcionar fred.



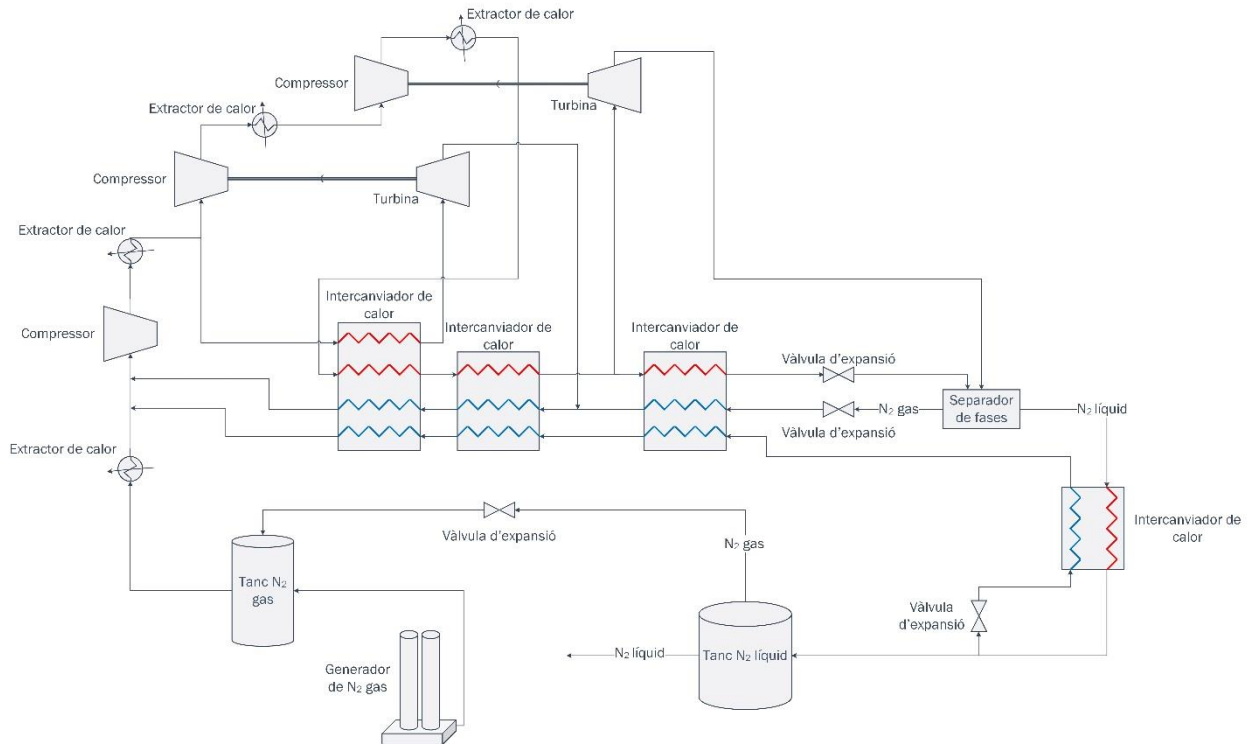
**Figura 24.** Esquema bàsic de la central.

### Cicle de liquació real de la central dissenyada

El cicle que s'utilitza a la central dissenyada com a liquidador del nitrogen és un cicle de Claude de dues turbines i amb recirculació de líquid.

El cicle comença amb el generador de nitrogen, on es comprimeix aire i se n'extreu el nitrogen en estat gas a una pressió de 6 bar. Aquest nitrogen extret es emmagatzema en un tanc per tal d'assegurar un abastiment continu a la central en cas que la producció de nitrogen no sigui constant. En aquest dipòsit que conté nitrogen gasós també hi arriba el gas procedent de les pèrdues tèrmiques dels dipòsits que acumulen nitrogen en estat líquid. Com que el dipòsit que emmagatzema el nitrogen líquid està a una major pressió que el tanc de nitrogen gas, s'utilitza una vàlvula d'expansió i antiretorn per facilitar que el gas circuli del tanc líquid al tanc gasós.





**Figura 25.** Esquema del cicle de líquidació de la central.

Un cop el nitrogen entra al sistema es barreja amb el nitrogen procedent de les recirculacions per tal de ser comprimit a una pressió intermèdia. Seguidament aquest nitrogen es separa en dos cabals diferents, un s'expandirà en una turbina i permetrà proporcionar fred i treball i l'altre es comprimirà fins a una pressió màxima, consumint l'energia de les turbines.

El nitrogen comprimit fins a la pressió màxima es separa novament, una part es dirigeix cap a una turbina per tal d'aportar el treball que falta en les compressions i l'altra part del cabal es refreda. Un cop aquesta part s'ha refredat, seguidament s'expandeix en una vàlvula d'expansió que permet que el nitrogen es líquii. En l'última turbina també es líquida nitrogen però no és més d'un 20 % o 25 % del cabal màssic ja que sinó la turbina pot patir danys considerables.

El nitrogen que surt de la vàlvula d'expansió juntament amb el que surt de la segona turbina es dirigit cap al separador de fases on es separa la part líquida de la gasosa. El gas es recirculat per tal de proporcionar fred al sistema i el líquid passarà per un intercanviador de calor per refredar-se encara més i allunyar-se de la temperatura de canvi de fase.

En aquestes condicions és necessària una font addicional de fred pel fet de que amb el nitrogen procedent de la primera turbina i el gas que surt del separador de fases no n'hi ha prou per a suplir el fred que necessita el sistema. És per això que s'agafa una petita part del nitrogen líquid i s'expandeix per tal de subministrar aquest fred demanat pel propi sistema. Com que aquesta porció de nitrogen es fa expandir en una vàlvula d'expansió, redueix la seva temperatura i això s'aprofita per refredar una mica més el nitrogen líquid i d'aquesta manera ajudar a retardar l'evaporació del nitrogen dins el tanc d'emmagatzematge líquid.

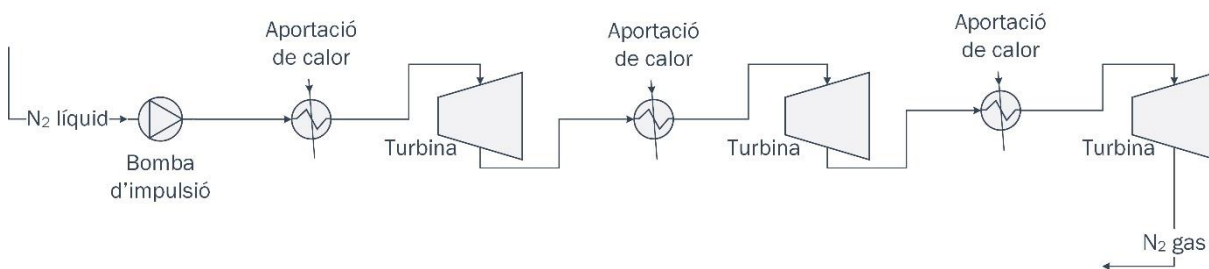
Aquestes baixes temperatures s'aconsegueixen gràcies a l'extracció de la calor del gas després de cada compressió ja que el gas s'escalfa al ser comprimit perquè les compressions no són ideals. Aquest refredament entre cada etapa de compressió es pot dur a terme mitjançant l'emmagatzematge d'energia tèrmica en tancs d'oli tèrmic i amb torre de refrigeració.

### 2.4.3. L'emmagatzematge del nitrogen líquid

L'emmagatzematge de nitrogen líquid es dut a terme mitjançant dipòsits criogènics a una pressió de 8 bar. Aquests dipòsits disposen d'una entrada i de dues sortides, l'entrada està connectada al sistema de liquació per tal d'omplir-se amb el nitrogen líquid. Per una de les sortides hi circula el nitrogen líquid que es necessita per a la producció d'energia elèctrica, per l'altra hi passa el gas que es pot produir si la temperatura del tanc augmenta i així evitar que la pressió del tanc s'incrementi. Aquesta darrera sortida es connecta amb el dipòsit que allotja el nitrogen en estat gasós.

### 2.4.4. Compressió i vaporització del nitrogen líquid

Aquesta part del cicle és la que permet recuperar l'energia emmagatzemada en forma de nitrogen líquid.



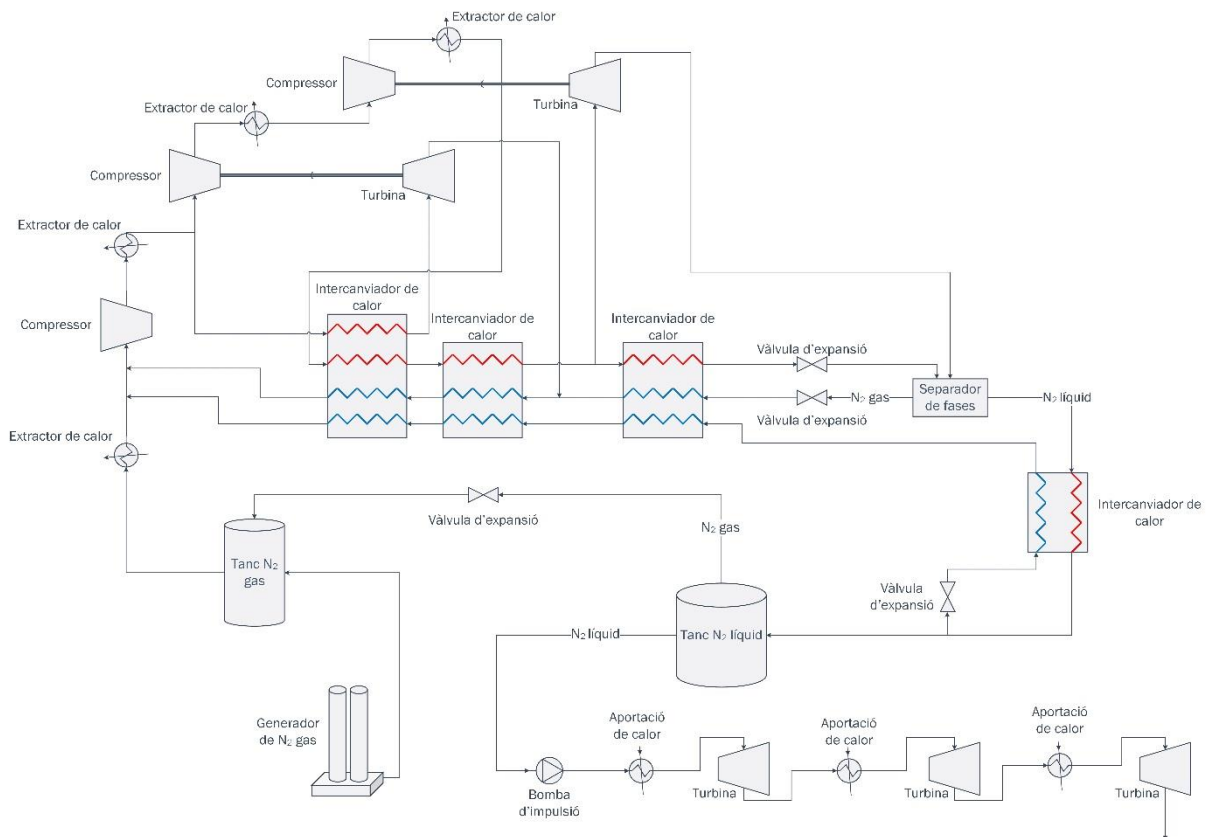
**Figura 26.** Esquema del sistema d'expansió.

El nitrogen líquid que surt del dipòsit on s'emmagatzema fins a ser requerit, es comprimit en una bomba criogènica. El fet de comprimir un líquid és molt menys costós que comprimir un gas i per això es du a terme en aquest punt del cicle. Aquest nitrogen líquid al sortir de la bomba criogènica es escalfat i turbinat podent així extreure treball mecànic apte per a generar electricitat.

En el cas d'estudi s'ha dissenyat una expansió de tres etapes. Entre cada una de les etapes s'aporta calor al nitrogen mitjançant l'escalfor emmagatzemada en l'oli tèrmic, d'aquesta manera s'evita cremar combustibles d'origen fòssil. El fet de no utilitzar la combustió comporta diverses limitacions ja que com més alta és la temperatura a la que s'escalfa el gas abans de ser turbinat, major energia se'n pot extreure i d'aquesta manera s'incrementa el rendiment de la central. De tota manera, s'ha pres la decisió d'evitar cremar combustibles per coherència amb la filosofia del projecte d'eliminar l'ús de combustibles fòssil de l'illa de La Gomera i funcionar al complet amb energia renovable.

Per acabar, un cop el nitrogen ha estat turbinat en l'última turbina es alliberat a l'ambient.

Així doncs el cicle principal complet de la planta d'emmagatzematge es pot veure a la **Figura 27**.



**Figura 27.** *Cicle principal de la planta d'emmagatzematge al complet.*

## 2.5. Concreció dels valors numèrics del cas d'estudi

Un dels objectius principals d'aquest projecte és suplir l'energia elèctrica necessària a l'illa de La Gomera; per a fer-ho es disposa d'un sistema de generació d'energia renovable, un parc eòlic, i d'un sistema d'emmagatzematge d'energia que permet assegurar un règim constant en el subministrament elèctric a la xarxa. Per a dur a terme tal objectiu en un futur, s'han consultat uns documents de la Comissió Nacional dels Mercats i la Competència (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia 2014) per tal de conèixer les previsions de potència i consum energètic de l'illa per als propers anys.

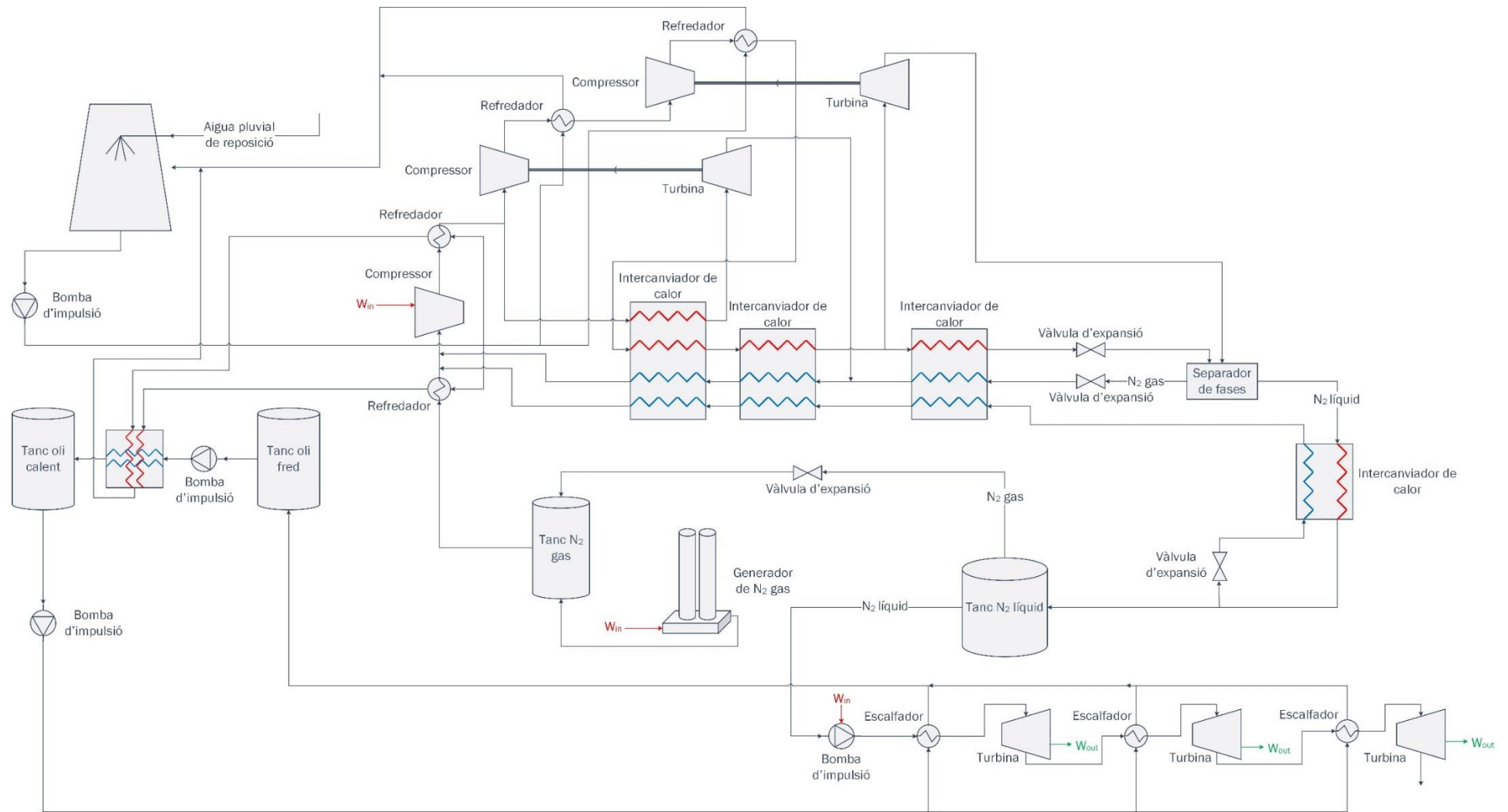
Segons les previsions consultades, s'estima que per a l'any 2017 serà necessària, per a l'illa de La Gomera, una potència de 13 MW i existirà un consum energètic de 78,5 GWh/any. Tot i això i en pronòstic per a un futur més llunyà on possiblement l'ús del cotxe elèctric sigui una realitat, tenint en compte que la vida útil de la planta d'emmagatzematge es preveu bastant llarga, es dissenya la central per a poder proporcionar 17 MW de potència màxima.

En quant al sistema de generació elèctrica, segons la simulació feta amb Openwind® es calcula que l'energia produïda pels aerogeneradors serà d'uns 148,4 GWh/any. Ara bé, per al funcionament de la planta d'emmagatzematge seran necessaris 67 GWh/any, això vol dir que els 81,4 GWh/anys restants seran utilitzats per a suplir les necessitat energètiques de La Gomera. Tenint en compte les previsions de futur aquesta energia esdevé només una mica superior a la

demandada, això no suposa cap problema però en el cas que en un futur es requerís més energia es podria ampliar el parc eòlic.

Per conèixer quina serà la potència que com a mínim ha de consumir la central d'emmagatzematge, es necessari saber quin és el consum mínim de l'illa. Consultant a Red Eléctrica de España (REE 2015) s'assumeix que la potència mínima demandada de l'illa és de 5 MW. Així doncs, el cas més desfavorable esdevé quan el consum de l'illa és el mínim i els aerogeneradors estan produint al màxim. En aquesta situació la central hauria d'absorbir un mínim de potència de 34 MW. La potència d'absorció real és de 34,3 MW, valor lleugerament superior a la potència mínima requerida.

A continuació es fa una descripció detallada del funcionament de cada part de la planta d'emmagatzematge. Per a facilitar la comprensió es recomana mirar la **Figura 28**.



**Figura 28.** Diagrama complet de la central d'emmagatzematge.

### *2.5.1. Descripció del cicle principal*

Inicialment es va creure oportú dissenyar la planta amb un circuit tancat, de manera que el nitrogen en estat gas que sortia de les turbines s'emmagatzemava en un dipòsit per tal de no haver de generar constantment gas. En aquestes condicions s'evitava la instal·lació d'equips generadors de nitrogen gas i únicament era necessari l'abastiment ocasionat de nitrogen líquid per a suplir pèrdues. L'avantatge d'aquest sistema era l'estalvi d'energia per a separar el nitrogen de l'aire.

Els primer càlculs reflectien que a una pressió de 3 bar es necessitava un tanc de 500.000 m<sup>3</sup> per a emmagatzemar el nitrogen gas del sistema. Amb la finalitat de reduir el volum d'aquest dipòsit es va proposar treballar a 8 bar. En aquestes condicions el volum del tanc havia de ser de 150.000 m<sup>3</sup>, unes dimensions més assumibles, però implicaven una caiguda del rendiment d'entre el 5 % i el 9 %, quedant-se al voltant del 16 %. Aquest rendiment era significativament més baix de l'esperat i per tant es va optar per buscar alternatives. La idea final és separar el nitrogen a la mateixa planta i tenir un sistema obert.

La planta d'emmagatzematge en el seu conjunt té un rendiment del 22,5 %. Aquest rendiment global s'obté tenint en compte el consum del compressor dels generadors de nitrogen i el del primer compressor del sistema de liquació. També s'ha de tenir en compte quina és l'energia d'entrada i l'energia extreta per les turbines havent restat el consum de la bomba criogènica, ja que és un consum simultani a la generació d'energia.

El cicle de la planta d'emmagatzematge elèctric s'inicia amb la generació del nitrogen és a dir, amb la separació del nitrogen de l'aire. Per a fer-ho s'utilitzen 19 generadors de nitrogen que estan connectats directament a un dipòsit amb una capacitat de 1.000 m<sup>3</sup> on s'emmagatzemarà el nitrogen gas a 6 bar. Aquest emmagatzematge permet assegurar un cabal constant de nitrogen gas al sistema de liquació en cas que la generació no sigui continua.

Ja dins del cicle principal de la planta, el nitrogen en estat gasós es refredat fins a una temperatura de 27,5 °C. Aquest es barreja amb el nitrogen provinent de les recirculacions, la pressió d'aquest nitrogen recirculat és similar a la d'entrada. Tot seguit el conjunt de nitrogen entra al compressor per a ser comprimit fins a una pressió de 28,6 bar i finalment refredat fins a una temperatura de 26,2 °C.

Al sortir de l'intercanviador de calor, el cabal de nitrogen es dividit en dos. Per una banda, una part es refreda fins arribar als 5 °C per després expandir-se en una turbina fins a una pressió de 5 bar. Aquest descens de pressió implica un descens de la temperatura, en aquest cas el gas assoleix els -96 °C, aquest gas fred es fa circular pels intercanviadors de calor permetent així aportar fred. Un cop ha captat tota l'energia calorífica als intercanviadors de calor es retorna el gas cap a l'entrada del sistema. D'altra banda, la part restant del cabal de nitrogen que ha sortit de l'intercanviador inicial es comprimeix en dues etapes fins a una pressió de 70 bar. Entre aquestes etapes de compressió, el fluid es refrigerat augmentant així el rendiment. Destacar que l'energia necessària per accionar els dos compressors prové de les turbines on el nitrogen del sistema s'expandeix.

Una vegada el nitrogen ha estat comprimit es refreda fent-lo circular a través dels dos primers intercanviadors principals de calor fins assolir una temperatura final de -92,5 °C. Tot seguit el cabal es divideix en dos, una part s'utilitza per moure la

segona turbina sortint a una temperatura de  $-172,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  i una pressió de 8 bar i l'altra part es refreda encara més a l'últim intercanviador. Aquesta segona part del cabal continua el seu camí fins arribar a una vàlvula Joule-Thomson on s'expandeix fins a 8,1 bar i una temperatura de  $-174\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En les dues derivacions del cabal, una part del nitrogen es liquat, aquesta posteriorment serà separada de la part que encara es troba en estat gasós. En canvi, la part del nitrogen que no s'ha liquat s'expandeix en una vàlvula fins a una pressió de 5,1 bar arribant a  $-177\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tot seguit es recircula pels diferents intercanviadors per tal d'aportar-hi fred.

La part ja liquada que surt del separador de fases es subrefreda  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  per tal d'allunyar-lo de la temperatura de canvi de fase ajudant així a mantenir el nitrogen en estat líquid durant més temps. Aquest subrefredament es pot dur a terme gràcies a que una petita part del nitrogen líquid que surt de l'intercanviador s'expandeix a una vàlvula Joule-Thomson fins a una pressió de 5 bar. Aquesta expansió provoca un descens de la temperatura que podrà ser reconduïda a l'intercanviador.

Per acabar, el nitrogen líquid restant es emmagatzemat en dipòsits criogènics. Aquest nitrogen líquid restarà a l'espera de que a l'illa hi hagi una demanda elèctrica que no pugui ser subministrada per l'energia dels aerogeneradors.

### *2.5.2. Descripció dels tancs d'oli i criogènics*

En el cicle de liquació es fan diverses extraccions de calor. En concret les extraccions fetes quan el nitrogen en estat gas entra al sistema (la temperatura passa de  $237\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i l'extracció feta després de ser comprimit per primera vegada (la temperatura passa de  $288\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), serveixen per a obtenir una temperatura de  $164\text{ }^{\circ}\text{C}$  a un oli tèrmic que serà utilitzat per subministrar calor al nitrogen en l'etapa d'expansió. La resta d'energia tèrmica, en forma d'escalfor, serà dissipada per la torre de refrigeració.

Ja en l'etapa final del procés, en l'expansió, el nitrogen líquid es bombeja a través del circuit a una pressió de 150 bar, el turbinat i l'escalfat intermedi es fa en tres etapes. Els tres escalfaments realitzats amb l'oli tèrmic permeten que el gas surti a una temperatura de  $154\text{ }^{\circ}\text{C}$ , d'aquesta manera existeix una diferència de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre l'oli i el nitrogen que permet assegurar un bon intercanvi de calor. Gràcies a aquest procediment, a cada una de les turbines s'hi pot extreure un treball de 6 MW. Si a aquest treball se li resta 1 MW del consum de la bomba criogènica la producció esdevé de 17 MW, que són els que s'estimen que poden ser demandats en un futur.

La central d'emmagatzematge es dissenya de manera que si falla l'aportació d'energia elèctrica per part del parc eòlic, pugui proporcionar un dia sencer d'energia de forma continuada. El fet de voler proporcionar energia elèctrica durant un dia de forma autònoma implica una autonomia de 215 MWh, l'equivalent a 12,65 hores a plena producció.

Per una banda, per a poder garantir el subministrament ininterromput que es comenta és necessari conèixer el volum de nitrogen en estat líquid que s'ha d'emmagatzemar. Segons la simulació realitzada, el cabal màssic de nitrogen líquid és de  $1,744 \cdot 10^5\text{ kg/h}$ . Per calcular el volum del tanc es calcula quina és la massa necessària per aquestes 12,65 hores a plena producció.

$$1,744 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 12,65\text{ h} = 2.206.160\text{ kg} \quad (1)$$

Un cop es coneix la massa de nitrogen que s'ha d'emmagatzemar, a través de la densitat a una pressió de 8 bar, es calcula el volum que representa.

$$V = \frac{2.206.160 \text{ kg}}{696 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3167 \text{ m}^3 \quad (2)$$

Quan ja es coneix el volum de nitrogen que es requereix es conclou que es necessitaran tres tancs d'emmagatzemament criogènic de 1.000 m<sup>3</sup> cadascun i un altre de 200 m<sup>3</sup>.

D'altra banda, si es vol treballar 12,65 hores a plena potència sense injecció elèctrica per part dels aerogeneradors també és necessari subministrar l'energia tèrmica utilitzada en l'etapa d'expansió. Per a poder emmagatzemar aquesta energia s'utilitza l'oli tèrmic Syltherm 800 (Dow 2001) perquè pot treballar entre els -40 °C i els 400 °C.

Amb la finalitat de dimensionar els tancs de l'oli tèrmic es consideren dos dipòsits, un que contindrà l'oli fred a una temperatura de 50 °C i un altre per l'oli calent a 164 °C.

Primer es calcula la massa d'oli que és necessària.

$$m = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{6,521 \cdot 10^7 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \cdot 12,65 \text{ h}}{\left(\frac{1,95 + 1,75}{2}\right) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (164 - 50) \text{ K}} = 3.911.363 \text{ kg} \quad (3)$$

Un cop es coneix aquesta massa ja es pot calcular el volum que representa per a cada temperatura.

$$V_{164 \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{3.911.363 \text{ kg}}{830 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4.712 \text{ m}^3 \quad (4)$$

$$V_{50 \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{3.911.363 \text{ kg}}{890 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4.394 \text{ m}^3 \quad (5)$$

Per tant s'instal·laran dos dipòsits de 5.000 m<sup>3</sup> cadascun. Aquest dos dipòsits són suficients per tal de proporcionar l'energia tèrmica necessària en l'expansió en cas de no disposar d'energia elèctrica dels aerogeneradors durant 12,65 hores.

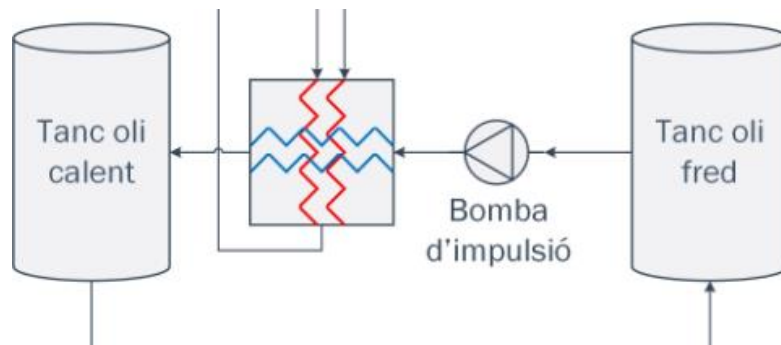
En el cas de que en un futur es sobrepassessin les estimacions fetes pel que fa a les necessitats d'emmagatzematge d'energia, hi ha la possibilitat d'instal·lar dipòsits de nitrogen líquid i d'oli addicionals. D'aquesta manera tant senzilla sempre es podria augmentar l'energia que pot emmagatzemar la central.

### 2.5.3. Descripció cicle tèrmic i de refrigeració

A la refrigeració on hi intervé el circuit d'oli que arriba a refrigerar fins als 164 °C, existeixen punts on s'ha de fer una refrigeració fins als 26,2 °C. Aquesta refrigeració es fa mitjançant una torre de refrigeració.

En la torre de refrigeració, l'aigua entra a una temperatura de 21,19 °C i en surt a 50 °C. El cabal màssic d'aigua que es necessita és de 190 kg/s juntament amb un cabal d'aigua de reposició de 5,7 kg/s.





**Figura 29.** Circuit d'emmagatzematge tèrmic mitjançant oli.

La temperatura mitjana de l'illa de La Gomera és de 20,1 °C, tot i això en algunes èpoques de l'any es pot arribar fins als 28,7 °C de temperatura màxima. És per això que no es pot refredar sempre el sistema fins als 26,2 °C i per tant, el nitrogen pot passar a refredar-se a 33,7 °C. Aquesta alteració implica una disminució del rendiment global de la planta del 0,5 %, en conseqüència el rendiment mínim de la central serà del 22,0 %. Destacar que en condicions normals, el rendiment global de la central d'emmagatzematge és del 22,5 %. En aquestes condicions més desfavorables, es preveu un consum d'aigua de reposició de 5,83 kg/s.

Com que es preveu un funcionament de la planta de 2.200 hores a l'any, aleshores el consum d'aigua de reposició és 45.965 m<sup>3</sup>/any. L'aigua que s'utilitza és pluvial i per tant no representa un cost directe per a la central. Convé ressaltar que actualment la central tèrmica del Palmar té un consum de 1.778.000 m<sup>3</sup> d'aigües pluvials en els anys més secs, això representa que el Palmar consumeix 38 vegades el volum estimat d'aigua per a la central d'emmagatzematge dissenyada.

## 2.6. Elements de la central d'emmagatzematge

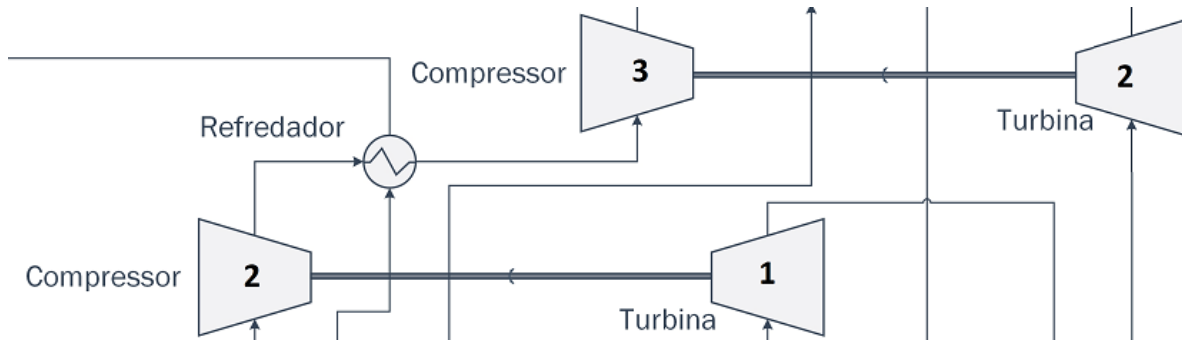
Per a que la central d'emmagatzematge pugui liquar el nitrogen, el cicle de Claude està constituït per tres compressors i dues turbines.

Tot seguit, s'expliquen les característiques d'aquests elements crucials del cicle de Claude.

- Compressor 1: aquest compressor comprimeix el nitrogen des d'una pressió de 4,7 bar fins a 28,5 bar, el cabal de gas que hi circula és de 66.500 m<sup>3</sup>/h. El compressor escollit per dur a terme aquesta labor és el Atlas Copco sèrie H que pot, amb una pressió d'entrada inferior als 8 bar, obtenir una compressió de fins a 30 bar. A més, permet treballar amb un cabal d'entrada entre 3.500 m<sup>3</sup>/h i 85.000 m<sup>3</sup>/h. És per aquestes característiques que esdevé ideal per la planta en qüestió.
- Compressor 2: aquest compressor comprimeix el nitrogen des d'una pressió de 28 bar fins a 43,6 bar, el cabal de gas que hi circula és de 7.000 m<sup>3</sup>/h. El compressor escollit per dur a terme aquesta labor és el Atlas Copco sèrie TP que pot, amb una pressió d'entrada inferior als 50 bar, obtenir una pressió de sortida de fins a 70 bar. A més, permet treballar amb un cabal d'entrada entre

250 m<sup>3</sup>/h i 20.000 m<sup>3</sup>/h. És per aquestes característiques que esdevé ideal per la planta.

- Compressor 3: en aquest cas el nitrogen es comprimit des d'una pressió de 43 bar fins a una de 70 bar, el cabal de gas que hi circula és de 4.600 m<sup>3</sup>/h. El compressor escollit per dur a terme aquesta labor és el Atlas Copco sèrie TP ja que els paràmetres de funcionament són dins del marge permès del compressor.



**Figura 30.** Compressors 2 i 3 i turbines 1 i 2 del cicle de líquació.

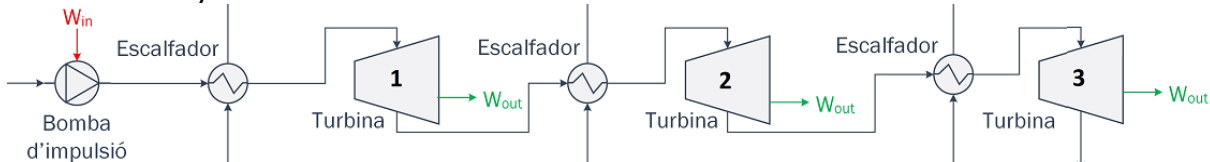
S'opta per utilitzar turbines de gas atès que bona part del fluid que circula per aquestes turbines és nitrogen. A l'hora d'adquirir les turbines únicament s'haurà de modificar el rang de temperatures de treball, ja que normalment treballen a temperatures bastant altes i en canvi, al cas d'estudi les temperatures de treball estan entre el 5 °C i els -173 °C.

- Turbina 1: és una turbina marca Siemens model SST-600 que en condicions màximes pot extreure fins a 6 MW, que compleix amb escreix les necessitats de potència del cas d'estudi ja que aquesta ha de ser de 3,5 MW. Tanmateix aquesta turbina ha de treballar a pressions inferiors als 131 bar i en la planta dissenyada la pressió de treball és inferior a 70 bar. En conclusió, aquesta turbina lleugerament adaptada per treballar en les condicions de temperatura imposades pel sistema dissenyat és apta per a ser utilitzada.
- Turbina 2: en aquesta cas s'utilitza la mateixa turbina ja que les condicions de treball són pràcticament les mateixes i la potència requerida a la turbina és de 3 MW.

Pel que fa al cicle de recuperació de l'energia emmagatzemada, és a dir el cicle d'expansió de la central, es preveu la necessitat d'utilitzar tres turbines de 6 MW de potència cadascuna. Aquestes turbines també necessitaran una modificació en quant a les temperatures de treball, hauran de treballar entre els 15 °C i els 154 °C, temperatures significativament inferiors a les de treball d'un cicle de gas convencional. A més és necessària una bomba criogènica d'1 MW per impulsar el nitrogen líquat.

- Turbina 1: en aquest cas s'utilitza una turbina marca Siemens model SST-900 ja que permet treballar amb pressions d'entrada de fins a 165 bar. A la pràctica, aquesta pressió serà de 150 bar segons el disseny.
- Turbina 2: s'instal·la una turbina marca Siemens model SST-110 ja que permet treballar a pressions d'entrada de fins a 131 bar i extreure 7 MW. Pel que fa al disseny, la pressió màxima de treball serà de 30 bar.
- Turbina 3: s'utilitza la mateixa turbina Siemens model SST-110 que en el cas anterior.

- Bomba criogènica o bomba d'impulsió: s'empra l'anomenada NIKKISO-CRYOGENIC PUMP que proporciona un cabal de nitrogen líquid de 204 m<sup>3</sup>/h. L'alçada màxima que pot sortejar és de 2.000 metres equivalents de columna d'aigua, això correspon a una pressió de 196 bar. Ergo pot suplir amb escreix els 150 bar que es necessiten segon les condicions de treball dissenyades.



**Figura 31.** Elements del circuit d'expansió

Com que el subministrament constant d'energia elèctrica és fonamental i en cap moment hauria de fallar l'abastiment elèctric a l'illa, s'han duplicat els elements crítics de l'etapa d'expansió del nitrogen que permeten retornar l'energia a la xarxa elèctrica. Aquests elements crítics són la bomba criogènica, que aplica una pressió de 150 bar al nitrogen líquid, i la primera turbina de l'etapa d'expansió. Les altres dues turbines, pels rangs de pressió a les que treballen, són intercanviables i el sistema podria treballar només amb una però en canvi la primera serà la crítica ja que el rang de treball divergeix de les altres dues.

D'aquesta manera s'assegura que la bomba criogènica sempre estarà operativa i que la primera turbina sempre funcionarà conjuntament amb com a mínim una de les turbines que treballen a menor pressió. Com s'ha dit, en cas que una de les turbines que treballen a pressions inferiors fallés, es podria prescindir d'ella i el sistema continuaria funcionant veient reduït el rendiment global de la planta.

# **CAPÍTOL 3: PRESSUPOST**

El pressupost d'aquest projecte es divideix en quatre parts:

- Pressupost detallat del parc eòlic.
- Pressupost detallat de la planta d'emmagatzematge amb nitrogen.
- Pressupost de les hores d'enginyeria.
- Total pressupost del projecte.

A continuació es mostra cadascuna de les parts en les que està dividit el pressupost, la última part conté un resum i el preu total d'aquest projecte. Mencionar que si no s'especifica, al preu està inclòs l'impost sobre el valor afegit (IVA).

### 3.1. Pressupost detallat del parc eòlic

A continuació es mostra una llista dels diferents elements que formen el parc eòlic amb el cost corresponent que representen.

**Taula 3.** Pressupost parc eòlic.

| DESCRIPCIÓ   | UNITATS              | PREU UNITARI   | PREU TOTAL      |
|--|----------------------|----------------|-----------------|
| <b>Obra civil</b>                                    |                      |                |                 |
| <b>Aerogeneradors</b>                                |                      |                |                 |
| Aerogenerador Enercon E82 de 3000 kW                 | 13 u                 | 2.000.000,00 € | 26.000.000,00 € |
| <b>Moviment de terres</b>                            |                      |                |                 |
| Desbrossament del terreny                            | 40000 m <sup>2</sup> | 0,18 €         | 7.200,00 €      |
| Excavació del terreny                                | 20000 m <sup>3</sup> | 10,80 €        | 216.000,00 €    |
| Reomplir les rases de terra per a la instal·lació    | 15000 m <sup>3</sup> | 8,32 €         | 124.800,00 €    |
| Cintes senyalitzadores obligatòries segons normativa | 16000 m              | 1,18 €         | 18.880,00 €     |
| Camins interiors                                     | 400 m                | 52,50 €        | 21.000,00 €     |
| <b>Cimentacions</b>                                  |                      |                |                 |
| Formigó  | 6000 m <sup>3</sup>  | 79,16 €        | 474.960,00 €    |
| Encofrats  | 600 m <sup>2</sup>   | 20,00 €        | 12.000,00 €     |
| Acer per armar el formigó                            | 400000 kg            | 0,72 €         | 288.000,00 €    |
| Canonades PVC per al pas del cablejat                | 3000 m               | 10,20 €        | 30.600,00 €     |
| Arquetes de formigó armat amb tapa de fundició       | 26 u                 | 1.200,00 €     | 31.200,00 €     |
| <b>Accessos i altres</b>                             |                      |                |                 |
| Condicionament del camí d'accés al parc eòlic        | 1 Km                 | 18.000,00 €    | 18.000,00 €     |

|  |                    |              |                        |
|--|--------------------|--------------|------------------------|
| Creació de cunetes laterals per a la recollida d'aigua                   | 1 Km               | 6.000,00 €   | 6.000,00 €             |
| Canonades i arquetes per a la recollida d'aigua                          | 10 u               | 900,00 €     | 9.000,00 €             |
| Altres (material vari, transports, ajuda al muntatge, ...)               | 1                  | 14.000,00 €  | 14.000,00 €            |
| <b>Centre de control</b>   |                    |              |                        |
| Execució de l'edifici per a subestació i control totalment acabat        | 100 m <sup>2</sup> | 950,00 €     | 95.000,00 €            |
| <b>Obra elèctrica</b>  |                    |              |                        |
| <b>Cablejat</b>  |                    |              |                        |
| Línia amb cablejat aïllat  | 20000 m            | 24,00 €      | 480.000,00 €           |
| Línia per a la transmissió de senyals i informació                       | 8000 m             | 1,80 €       | 14.400,00 €            |
| Altres elements elèctrics  | 1                  | 60.000,00 €  | 60.000,00 €            |
| <b>Postes a terra</b>  |                    |              |                        |
| Piqueta a terra d'aerogenerador  | 13 u               | 600,00 €     | 7.800,00 €             |
| Piqueta a terra centre de control  | 1 u                | 900,00 €     | 900,00 €               |
| Instal·lació piquetes  | 14 u               | 1.600,00 €   | 22.400,00 €            |
| <b>Transformadors</b>  |                    |              |                        |
| Connexió elèctrica amb transformadors existents                          | 50 km              | 50,00 €      | 2.500,00 €             |
| Altres   | 1                  | 6.000,00 €   | 6.000,00 €             |
| <b>Proteccions</b>   |                    |              |                        |
| Varis (incloent tot tipus de proteccions, armaris, senyalitzacions, ...) | 1                  | 110.000,00 € | 110.000,00 €           |
| <b>TOTAL</b>   |                    |              | <b>28.070.640,00 €</b> |

## 3.2. Pressupost detallat de la planta d'emmagatzematge amb nitrogen

Aquest apartat reflexa quin són els costos de cadascun dels elements que conformen la planta d'emmagatzematge d'energia elèctrica mitjançant la liquació del nitrogen.

**Taula 4.** Pressupost de la planta d'emmagatzematge.

| DESCRIPCIÓ                                    | UNITATS | PREU UNITARI   | PREU TOTAL      |
|---|---------|----------------|-----------------|
| <b>Separació del nitrogen</b>                 |         |                |                 |
| CTA Industrial - Separador de nitrogen N15000 | 20 u    | 70.000,00 €    | 1.400.000,00 €  |
| <b>Compressors</b>                            |         |                |                 |
| Athlas Copco sèrie H                          | 1 u     | 1.500.000,00 € | 1.500.000,00 €  |
| Athlas Copco sèrie TP                         | 2 u     | 2.000.000,00 € | 4.000.000,00 €  |
| <b>Turbines</b>                               |         |                |                 |
| Siemens SST-060 modificada                    | 2 u     | 5.600.000,00 € | 11.200.000,00 € |
| Siemens SST-900 modificada                    | 1 u     | 9.700.000,00 € | 9.700.000,00 €  |
| Siemens SST-110 modificada                    | 2 u     | 9.000.000,00 € | 18.000.000,00 € |
| Redundància Siemens SST-900 modificada        | 1 u     | 9.700.000,00 € | 9.700.000,00 €  |
| <b>Bombes</b>                                 |         |                |                 |
| NIKKISO - CRIOGENIC PUMP                      | 1 u     | 1.500.000,00 € | 1.500.000,00 €  |
| Bomba centrífuga THUNE-EUREKA CGC-150 v48     | 2 u     | 25.000,00 €    | 50.000,00 €     |
| Redundància NIKKISO - CRIOGENIC PUMP          | 1 u     | 1.500.000,00 € | 1.500.000,00 €  |
| <b>Emmagatzematge</b>                         |         |                |                 |
| Tanc criogènic de 1.000 m <sup>3</sup>        | 3 u     | 1.550.000,00 € | 4.650.000,00 €  |

|   |                      |                |                        |
|---|----------------------|----------------|------------------------|
| Tanc criogènic de 200 m <sup>3</sup>        | 1 u                  | 346.547,00 €   | 346.547,00 €           |
| Tanc oli tèrmic de 2.000 m <sup>3</sup>     | 2 u                  | 100.000,00 €   | 200.000,00 €           |
| Oli tèrmic                                  | 2.000 m <sup>3</sup> | 800,00 €       | 1.600.000,00 €         |
| <b>Altres</b>                               |                      |                |                        |
| Separador de fases                          | 1 u                  | 160.000,00 €   | 160.000,00 €           |
| Metres de canonades criogèniques            | 10.000 u             | 85,00 €        | 850.000,00 €           |
| Metres d'altres canonades                   | 20.000 u             | 30,00 €        | 600.000,00 €           |
| Torre de refrigeració Eurodifoid - KRNA 600 | 1 u                  | 55.000,00 €    | 55.000,00 €            |
| Altres (filtres, vàlvules...)               | 1                    | 1.000.000,00 € | 1.000.000,00 €         |
| <b>TOTAL</b>                                |                      |                | <b>68.011.547,00 €</b> |

### 3.3. Pressupost de les hores d'enginyeria

A l'annex VI es poden veure les hores invertides setmanalment per l'equip d'enginyeria per a l'elaboració d'aquest projecte.

**Taula 5.** Hores d'enginyeria.

| <b>HORES ENGINYERIA</b> | <b>PREU UNITARI</b> | <b>SUBTOTAL</b> | <b>21 % IVA</b> | <b>PREU TOTAL</b> |
|-------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 1.357,00                | 28,00 €/h           | 37.996,00 €     | 7.979,16 €      | 45.975,16 €       |



### 3.4. Total pressupost del projecte

Finalment en aquest apartat es calcula el cost total de tot el projecte.

**Taula 6.** Pressupost total del projecte.

| <b>DESCRIPCIÓ</b>                                 | <b>PREU TOTAL</b>       |
|---|-------------------------|
| Total parc eòlic                                  | 28.070.640,00 €         |
| Total planta d'emmagatzematge amb nitrogen líquid | 68.011.547,00 €         |
| Seguretat i salut                                 | 25.000,00 €             |
| Enginyeria  | 45.975,16 €             |
| Llicència i permisos                              | 150.000,00 €            |
| Imprevistos                                       | 9.629.518,30 €          |
| <b>TOTAL pressupost</b>                           | <b>105.933.478,38 €</b> |

El pressupost total d'aquest projecte ascendeix a la quantitat de **Cent-cinc milions nou-cents trenta-tres mil quatre-cents setanta-vuit coma trenta-vuit** euros.

# **CAPÍTOL 4: VIABILITAT ECONÒMICA**

En aquest capítol es fa un anàlisi de caire econòmic per tal de determinar quin és el flux de caixa que suposaria la instal·lació d'aquest projecte al complet.

Primer es farà un apartat on es mostrin les hipòtesis que s'han escollit i quines premisses s'han suposat. Un cop es coneix el context d'aplicació es fan tres escenaris de futur diferents per tal de disposar d'un estudi més complet i precís.

## **4.1. Premisses de treball**

Com es pot comprovar en el capítol on es realitza el pressupost, aquest ascendeix a 105.933.478 €. Es suposa que l'estat proporciona una subvenció a fons perdut d'un 40 % del cost total del pressupost. Així doncs, el cost a cobrir ascendeix a 63.560.087 €. Aquestes accions són portades a terme per l'estat amb la finalitat de potenciar les noves tecnologies fins que ja disposin d'un mercat que permeti la seva rendibilitat i així captar inversió privada interessada en l'ús de tecnologies sostenibles i netes.

El projecte en qüestió està lligat a un seguit de despeses anuals, per poder fer un estudi fidel a la realitat s'han tingut en compte diferents paràmetres que poden suposar un cost al llarg del temps. Les despeses en el manteniment s'han determinat a partir de la informació proporcionada pels fabricants de diversos costos periòdics o puntuals. Aquest costos, en el cas dels aerogeneradors, farien referència al manteniment del tren de transmissió i les pales. Al mateix temps, en el cas de la central d'emmagatzematge s'inclou el manteniment dels diferents compressors i turbines. A més, es té en compte la vida útil de diferents elements, com l'oli tèrmic que té una vida útil de deu anys i per tant s'ha de substituir cada dècada. També es tenen en compte les despeses procedents de l'operació de la

central, és a dir, el salari dels quatre operaris necessaris per a controlar i dirigir tant el parc eòlic com la planta d'emmagatzematge. Aquest costos més una estimació d'altres possibles despeses com poden ser l'enllumenat, l'aigua, assegurances i d'altres reverteixen a un cost d'operació i manteniment anual de 3.080.000 €.

El preu de l'energia elèctrica està fixat en 59 €/MWh segons Red Eléctrica de España. (REE 2015)

Per acabar, i per ser encara més realista, es suposa que el preu de l'electricitat augmenta tres vegades respecte el PIB (Producte Interior Brut). Això suposa que al llarg del temps la producció és cada vegada més eficient econòmicament.

## 4.2. Anàlisi viabilitat econòmica escenari increment IPC 0,5 %

En la **Taula 7** es mostra l'evolució de la caixa si l'IPC presenta un augment del 0,5 %.

**Taula 7.** Viabilitat econòmica segons increment de l'IPC del 0,5 %.

| Any    | GWh  | Ingressos   | Ingressos actualitzats | Despeses    | Despeses actualitzades | Guany anual | Guany acumulat | Balanç de caixa |
|--------|------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|----------------|-----------------|
| Any 1  | 74,3 | 4.383.700 € | 4.383.700 €            | 3.080.000 € | 3.080.000 €            | 1.303.700 € | 1.303.700 €    | -62.256.387 €   |
| Any 2  | 76,3 | 4.501.700 € | 4.494.210 €            | 3.080.000 € | 3.064.677 €            | 1.429.533 € | 2.733.233 €    | -60.826.854 €   |
| Any 3  | 78,3 | 4.619.700 € | 4.604.339 €            | 3.080.000 € | 3.049.429 €            | 1.554.910 € | 4.288.143 €    | -59.271.944 €   |
| Any 4  | 80   | 4.720.000 € | 4.696.478 €            | 3.080.000 € | 3.034.258 €            | 1.662.220 € | 5.950.363 €    | -57.609.724 €   |
| Any 5  | 80   | 4.720.000 € | 4.688.664 €            | 3.080.000 € | 3.019.162 €            | 1.669.502 € | 7.619.865 €    | -55.940.222 €   |
| Any 6  | 80   | 4.720.000 € | 4.680.863 €            | 3.080.000 € | 3.004.142 €            | 1.676.721 € | 9.296.586 €    | -54.263.501 €   |
| Any 7  | 80   | 4.720.000 € | 4.673.074 €            | 3.080.000 € | 2.989.196 €            | 1.683.878 € | 10.980.464 €   | -52.579.623 €   |
| Any 8  | 80   | 4.720.000 € | 4.665.299 €            | 3.080.000 € | 2.974.324 €            | 1.690.975 € | 12.671.439 €   | -50.888.648 €   |
| Any 9  | 80   | 4.720.000 € | 4.657.536 €            | 3.080.000 € | 2.959.526 €            | 1.698.010 € | 14.369.448 €   | -49.190.639 €   |
| Any 10 | 80   | 4.720.000 € | 4.649.786 €            | 3.080.000 € | 2.944.802 €            | 1.704.984 € | 16.074.432 €   | -47.485.655 €   |
| Any 11 | 80   | 4.720.000 € | 4.642.050 €            | 3.080.000 € | 2.930.152 €            | 1.711.898 € | 17.786.330 €   | -45.773.757 €   |
| Any 12 | 80   | 4.720.000 € | 4.634.326 €            | 3.080.000 € | 2.915.574 €            | 1.718.752 € | 19.505.082 €   | -44.055.005 €   |
| Any 13 | 80   | 4.720.000 € | 4.626.615 €            | 3.080.000 € | 2.901.068 €            | 1.725.546 € | 21.230.629 €   | -42.329.458 €   |
| Any 14 | 80   | 4.720.000 € | 4.618.917 €            | 3.080.000 € | 2.886.635 €            | 1.732.281 € | 22.962.910 €   | -40.597.177 €   |
| Any 15 | 80   | 4.720.000 € | 4.611.231 €            | 3.080.000 € | 2.872.274 €            | 1.738.957 € | 24.701.867 €   | -38.858.220 €   |
| Any 16 | 80   | 4.720.000 € | 4.603.559 €            | 3.080.000 € | 2.857.984 €            | 1.745.575 € | 26.447.442 €   | -37.112.645 €   |

|        |    |             |             |             |             |             |              |               |
|--------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Any 17 | 80 | 4.720.000 € | 4.595.899 € | 3.080.000 € | 2.843.765 € | 1.752.134 € | 28.199.576 € | -35.360.512 € |
| Any 18 | 80 | 4.720.000 € | 4.588.252 € | 3.080.000 € | 2.829.617 € | 1.758.635 € | 29.958.210 € | -33.601.877 € |
| Any 19 | 80 | 4.720.000 € | 4.580.617 € | 3.080.000 € | 2.815.539 € | 1.765.078 € | 31.723.288 € | -31.836.799 € |
| Any 20 | 80 | 4.720.000 € | 4.572.996 € | 3.080.000 € | 2.801.532 € | 1.771.464 € | 33.494.752 € | -30.065.335 € |
| Any 21 | 80 | 4.720.000 € | 4.565.387 € | 3.080.000 € | 2.787.594 € | 1.777.793 € | 35.272.545 € | -28.287.542 € |
| Any 22 | 80 | 4.720.000 € | 4.557.790 € | 3.080.000 € | 2.773.725 € | 1.784.065 € | 37.056.610 € | -26.503.477 € |
| Any 23 | 80 | 4.720.000 € | 4.550.207 € | 3.080.000 € | 2.759.925 € | 1.790.281 € | 38.846.891 € | -24.713.196 € |
| Any 24 | 80 | 4.720.000 € | 4.542.636 € | 3.080.000 € | 2.746.195 € | 1.796.441 € | 40.643.332 € | -22.916.755 € |
| Any 25 | 80 | 4.720.000 € | 4.535.077 € | 3.080.000 € | 2.732.532 € | 1.802.545 € | 42.445.878 € | -21.114.209 € |
| Any 26 | 80 | 4.720.000 € | 4.527.531 € | 3.080.000 € | 2.718.937 € | 1.808.594 € | 44.254.472 € | -19.305.615 € |
| Any 27 | 80 | 4.720.000 € | 4.519.998 € | 3.080.000 € | 2.705.410 € | 1.814.588 € | 46.069.060 € | -17.491.027 € |
| Any 28 | 80 | 4.720.000 € | 4.512.477 € | 3.080.000 € | 2.691.950 € | 1.820.527 € | 47.889.586 € | -15.670.501 € |
| Any 29 | 80 | 4.720.000 € | 4.504.969 € | 3.080.000 € | 2.678.558 € | 1.826.411 € | 49.715.998 € | -13.844.089 € |
| Any 30 | 80 | 4.720.000 € | 4.497.473 € | 3.080.000 € | 2.665.231 € | 1.832.242 € | 51.548.239 € | -12.011.848 € |
| Any 31 | 80 | 4.720.000 € | 4.489.990 € | 3.080.000 € | 2.651.972 € | 1.838.018 € | 53.386.257 € | -10.173.830 € |
| Any 32 | 80 | 4.720.000 € | 4.482.519 € | 3.080.000 € | 2.638.778 € | 1.843.741 € | 55.229.999 € | -8.330.088 €  |
| Any 33 | 80 | 4.720.000 € | 4.475.060 € | 3.080.000 € | 2.625.649 € | 1.849.411 € | 57.079.410 € | -6.480.677 €  |
| Any 34 | 80 | 4.720.000 € | 4.467.614 € | 3.080.000 € | 2.612.587 € | 1.855.028 € | 58.934.438 € | -4.625.649 €  |
| Any 35 | 80 | 4.720.000 € | 4.460.181 € | 3.080.000 € | 2.599.589 € | 1.860.592 € | 60.795.030 € | -2.765.057 €  |
| Any 36 | 80 | 4.720.000 € | 4.452.760 € | 3.080.000 € | 2.586.655 € | 1.866.104 € | 62.661.134 € | -898.953 €    |
| Any 37 | 80 | 4.720.000 € | 4.445.351 € | 3.080.000 € | 2.573.786 € | 1.871.564 € | 64.532.698 € | 972.611 €     |
| Any 38 | 80 | 4.720.000 € | 4.437.954 € | 3.080.000 € | 2.560.981 € | 1.876.973 € | 66.409.671 € | 2.849.584 €   |

|        |    |             |             |             |             |             |              |              |
|--------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Any 39 | 80 | 4.720.000 € | 4.430.570 € | 3.080.000 € | 2.548.240 € | 1.882.329 € | 68.292.000 € | 4.731.913 €  |
| Any 40 | 80 | 4.720.000 € | 4.423.198 € | 3.080.000 € | 2.535.562 € | 1.887.635 € | 70.179.636 € | 6.619.549 €  |
| Any 41 | 80 | 4.720.000 € | 4.415.838 € | 3.080.000 € | 2.522.948 € | 1.892.890 € | 72.072.526 € | 8.512.439 €  |
| Any 42 | 80 | 4.720.000 € | 4.408.491 € | 3.080.000 € | 2.510.396 € | 1.898.095 € | 73.970.621 € | 10.410.534 € |
| Any 43 | 80 | 4.720.000 € | 4.401.155 € | 3.080.000 € | 2.497.906 € | 1.903.249 € | 75.873.870 € | 12.313.783 € |
| Any 44 | 80 | 4.720.000 € | 4.393.832 € | 3.080.000 € | 2.485.479 € | 1.908.353 € | 77.782.223 € | 14.222.136 € |
| Any 45 | 80 | 4.720.000 € | 4.386.521 € | 3.080.000 € | 2.473.113 € | 1.913.408 € | 79.695.632 € | 16.135.545 € |

Com s'observa, en aquest escenari, l'any 37 el projecte hauria cobert tots els costos i començaria a generar beneficis nets.

### 4.3. Anàlisi viabilitat econòmica escenari increment IPC 1 %

En aquest cas la **Taula 8** mostra l'evolució de la caixa si l'IPC presenta un augment de l'1 %.

**Taula 8.** Viabilitat econòmica segons increment de l'IPC de l'1 %.

| Any   | GWh  | Ingressos   | Ingressos actualitzats | Despeses    | Despeses actualitzades | Guany anual | Guany acumulat | Balanç de caixa |
|-------|------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|----------------|-----------------|
| Any 1 | 74,3 | 4.383.700 € | 4.383.700 €            | 3.080.000 € | 3.080.000 €            | 1.303.700 € | 1.303.700 €    | -62.256.387 €   |
| Any 2 | 76,3 | 4.501.700 € | 4.486.744 €            | 3.080.000 € | 3.049.505 €            | 1.437.239 € | 2.740.939 €    | -60.819.148 €   |
| Any 3 | 78,3 | 4.619.700 € | 4.589.055 €            | 3.080.000 € | 3.019.312 €            | 1.569.743 € | 4.310.683 €    | -59.249.404 €   |
| Any 4 | 80   | 4.720.000 € | 4.673.113 €            | 3.080.000 € | 2.989.418 €            | 1.683.695 € | 5.994.378 €    | -57.565.709 €   |
| Any 5 | 80   | 4.720.000 € | 4.657.588 €            | 3.080.000 € | 2.959.819 €            | 1.697.768 € | 7.692.146 €    | -55.867.941 €   |
| Any 6 | 80   | 4.720.000 € | 4.642.114 €            | 3.080.000 € | 2.930.514 €            | 1.711.600 € | 9.403.746 €    | -54.156.341 €   |
| Any 7 | 80   | 4.720.000 € | 4.626.692 €            | 3.080.000 € | 2.901.499 €            | 1.725.192 € | 11.128.938 €   | -52.431.149 €   |

|        |    |             |             |             |             |             |              |               |
|--------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Any 8  | 80 | 4.720.000 € | 4.611.321 € | 3.080.000 € | 2.872.772 € | 1.738.549 € | 12.867.487 € | -50.692.600 € |
| Any 9  | 80 | 4.720.000 € | 4.596.001 € | 3.080.000 € | 2.844.328 € | 1.751.672 € | 14.619.159 € | -48.940.928 € |
| Any 10 | 80 | 4.720.000 € | 4.580.731 € | 3.080.000 € | 2.816.167 € | 1.764.565 € | 16.383.724 € | -47.176.363 € |
| Any 11 | 80 | 4.720.000 € | 4.565.513 € | 3.080.000 € | 2.788.284 € | 1.777.229 € | 18.160.953 € | -45.399.134 € |
| Any 12 | 80 | 4.720.000 € | 4.550.345 € | 3.080.000 € | 2.760.677 € | 1.789.668 € | 19.950.621 € | -43.609.466 € |
| Any 13 | 80 | 4.720.000 € | 4.535.228 € | 3.080.000 € | 2.733.344 € | 1.801.884 € | 21.752.506 € | -41.807.581 € |
| Any 14 | 80 | 4.720.000 € | 4.520.161 € | 3.080.000 € | 2.706.281 € | 1.813.880 € | 23.566.385 € | -39.993.702 € |
| Any 15 | 80 | 4.720.000 € | 4.505.143 € | 3.080.000 € | 2.679.486 € | 1.825.658 € | 25.392.043 € | -38.168.044 € |
| Any 16 | 80 | 4.720.000 € | 4.490.176 € | 3.080.000 € | 2.652.956 € | 1.837.220 € | 27.229.263 € | -36.330.824 € |
| Any 17 | 80 | 4.720.000 € | 4.475.259 € | 3.080.000 € | 2.626.689 € | 1.848.569 € | 29.077.832 € | -34.482.255 € |
| Any 18 | 80 | 4.720.000 € | 4.460.391 € | 3.080.000 € | 2.600.683 € | 1.859.708 € | 30.937.540 € | -32.622.547 € |
| Any 19 | 80 | 4.720.000 € | 4.445.572 € | 3.080.000 € | 2.574.933 € | 1.870.639 € | 32.808.179 € | -30.751.908 € |
| Any 20 | 80 | 4.720.000 € | 4.430.803 € | 3.080.000 € | 2.549.439 € | 1.881.364 € | 34.689.543 € | -28.870.544 € |
| Any 21 | 80 | 4.720.000 € | 4.416.083 € | 3.080.000 € | 2.524.197 € | 1.891.886 € | 36.581.428 € | -26.978.659 € |
| Any 22 | 80 | 4.720.000 € | 4.401.411 € | 3.080.000 € | 2.499.205 € | 1.902.206 € | 38.483.635 € | -25.076.452 € |
| Any 23 | 80 | 4.720.000 € | 4.386.789 € | 3.080.000 € | 2.474.460 € | 1.912.328 € | 40.395.963 € | -23.164.124 € |
| Any 24 | 80 | 4.720.000 € | 4.372.214 € | 3.080.000 € | 2.449.961 € | 1.922.254 € | 42.318.217 € | -21.241.870 € |
| Any 25 | 80 | 4.720.000 € | 4.357.689 € | 3.080.000 € | 2.425.704 € | 1.931.985 € | 44.250.202 € | -19.309.885 € |
| Any 26 | 80 | 4.720.000 € | 4.343.211 € | 3.080.000 € | 2.401.687 € | 1.941.525 € | 46.191.726 € | -17.368.361 € |
| Any 27 | 80 | 4.720.000 € | 4.328.782 € | 3.080.000 € | 2.377.908 € | 1.950.874 € | 48.142.601 € | -15.417.486 € |
| Any 28 | 80 | 4.720.000 € | 4.314.401 € | 3.080.000 € | 2.354.364 € | 1.960.037 € | 50.102.638 € | -13.457.449 € |
| Any 29 | 80 | 4.720.000 € | 4.300.067 € | 3.080.000 € | 2.331.054 € | 1.969.014 € | 52.071.651 € | -11.488.436 € |

|        |    |             |             |             |             |             |              |              |
|--------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Any 30 | 80 | 4.720.000 € | 4.285.781 € | 3.080.000 € | 2.307.974 € | 1.977.808 € | 54.049.459 € | -9.510.628 € |
| Any 31 | 80 | 4.720.000 € | 4.271.543 € | 3.080.000 € | 2.285.123 € | 1.986.420 € | 56.035.879 € | -7.524.208 € |
| Any 32 | 80 | 4.720.000 € | 4.257.352 € | 3.080.000 € | 2.262.498 € | 1.994.854 € | 58.030.733 € | -5.529.354 € |
| Any 33 | 80 | 4.720.000 € | 4.243.208 € | 3.080.000 € | 2.240.097 € | 2.003.111 € | 60.033.845 € | -3.526.243 € |
| Any 34 | 80 | 4.720.000 € | 4.229.111 € | 3.080.000 € | 2.217.917 € | 2.011.193 € | 62.045.038 € | -1.515.049 € |
| Any 35 | 80 | 4.720.000 € | 4.215.060 € | 3.080.000 € | 2.195.958 € | 2.019.103 € | 64.064.140 € | 504.053 €    |
| Any 36 | 80 | 4.720.000 € | 4.201.057 € | 3.080.000 € | 2.174.216 € | 2.026.841 € | 66.090.981 € | 2.530.894 €  |
| Any 37 | 80 | 4.720.000 € | 4.187.100 € | 3.080.000 € | 2.152.689 € | 2.034.411 € | 68.125.393 € | 4.565.306 €  |
| Any 38 | 80 | 4.720.000 € | 4.173.189 € | 3.080.000 € | 2.131.375 € | 2.041.814 € | 70.167.207 € | 6.607.120 €  |
| Any 39 | 80 | 4.720.000 € | 4.159.325 € | 3.080.000 € | 2.110.272 € | 2.049.053 € | 72.216.259 € | 8.656.172 €  |
| Any 40 | 80 | 4.720.000 € | 4.145.507 € | 3.080.000 € | 2.089.379 € | 2.056.128 € | 74.272.387 € | 10.712.300 € |
| Any 41 | 80 | 4.720.000 € | 4.131.734 € | 3.080.000 € | 2.068.692 € | 2.063.042 € | 76.335.430 € | 12.775.343 € |
| Any 42 | 80 | 4.720.000 € | 4.118.007 € | 3.080.000 € | 2.048.210 € | 2.069.798 € | 78.405.228 € | 14.845.141 € |
| Any 43 | 80 | 4.720.000 € | 4.104.326 € | 3.080.000 € | 2.027.930 € | 2.076.396 € | 80.481.624 € | 16.921.537 € |
| Any 44 | 80 | 4.720.000 € | 4.090.691 € | 3.080.000 € | 2.007.852 € | 2.082.839 € | 82.564.463 € | 19.004.375 € |
| Any 45 | 80 | 4.720.000 € | 4.077.100 € | 3.080.000 € | 1.987.972 € | 2.089.128 € | 84.653.591 € | 21.093.504 € |

Aquest escenari s'obtidria un benefici net a partir del 35è any.



## 4.4. Anàlisi viabilitat econòmica escenari increment IPC 2 %

En aquest cas es considera un augment de l'IPC del 2%, la **Taula 9** mostra l'evolució de la per aquest escenari.

**Taula 9.** Viabilitat econòmica segons un increment de l'IPC del 2 %.

| Any    | GWh  | Ingressos   | Ingressos actualitzats | Despeses    | Despeses actualitzades | Guany anual | Guany acumulat | Balanç de caixa |
|--------|------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|----------------|-----------------|
| Any 1  | 74,3 | 4.383.700 € | 4.383.700 €            | 3.080.000 € | 3.080.000 €            | 1.303.700 € | 1.303.700 €    | -62.256.387 €   |
| Any 2  | 76,3 | 4.501.700 € | 4.471.887 €            | 3.080.000 € | 3.019.608 €            | 1.452.280 € | 2.755.980 €    | -60.804.107 €   |
| Any 3  | 78,3 | 4.619.700 € | 4.558.715 €            | 3.080.000 € | 2.960.400 €            | 1.598.315 € | 4.354.294 €    | -59.205.793 €   |
| Any 4  | 80   | 4.720.000 € | 4.626.845 €            | 3.080.000 € | 2.902.353 €            | 1.724.492 € | 6.078.786 €    | -57.481.301 €   |
| Any 5  | 80   | 4.720.000 € | 4.596.203 €            | 3.080.000 € | 2.845.444 €            | 1.750.760 € | 7.829.546 €    | -55.730.541 €   |
| Any 6  | 80   | 4.720.000 € | 4.565.765 €            | 3.080.000 € | 2.789.651 €            | 1.776.114 € | 9.605.660 €    | -53.954.427 €   |
| Any 7  | 80   | 4.720.000 € | 4.535.528 €            | 3.080.000 € | 2.734.952 €            | 1.800.576 € | 11.406.236 €   | -52.153.851 €   |
| Any 8  | 80   | 4.720.000 € | 4.505.492 €            | 3.080.000 € | 2.681.325 €            | 1.824.166 € | 13.230.403 €   | -50.329.685 €   |
| Any 9  | 80   | 4.720.000 € | 4.475.654 €            | 3.080.000 € | 2.628.750 €            | 1.846.904 € | 15.077.306 €   | -48.482.781 €   |
| Any 10 | 80   | 4.720.000 € | 4.446.014 €            | 3.080.000 € | 2.577.206 €            | 1.868.808 € | 16.946.114 €   | -46.613.973 €   |
| Any 11 | 80   | 4.720.000 € | 4.416.570 €            | 3.080.000 € | 2.526.673 €            | 1.889.897 € | 18.836.011 €   | -44.724.076 €   |
| Any 12 | 80   | 4.720.000 € | 4.387.321 €            | 3.080.000 € | 2.477.130 €            | 1.910.191 € | 20.746.202 €   | -42.813.885 €   |
| Any 13 | 80   | 4.720.000 € | 4.358.266 €            | 3.080.000 € | 2.428.559 €            | 1.929.707 € | 22.675.909 €   | -40.884.178 €   |
| Any 14 | 80   | 4.720.000 € | 4.329.403 €            | 3.080.000 € | 2.380.940 €            | 1.948.463 € | 24.624.372 €   | -38.935.715 €   |
| Any 15 | 80   | 4.720.000 € | 4.300.732 €            | 3.080.000 € | 2.334.255 €            | 1.966.477 € | 26.590.849 €   | -36.969.238 €   |
| Any 16 | 80   | 4.720.000 € | 4.272.250 €            | 3.080.000 € | 2.288.485 €            | 1.983.765 € | 28.574.614 €   | -34.985.473 €   |

|        |    |             |             |             |             |             |              |               |
|--------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Any 17 | 80 | 4.720.000 € | 4.243.957 € | 3.080.000 € | 2.243.613 € | 2.000.344 € | 30.574.958 € | -32.985.129 € |
| Any 18 | 80 | 4.720.000 € | 4.215.851 € | 3.080.000 € | 2.199.621 € | 2.016.231 € | 32.591.188 € | -30.968.899 € |
| Any 19 | 80 | 4.720.000 € | 4.187.932 € | 3.080.000 € | 2.156.491 € | 2.031.441 € | 34.622.629 € | -28.937.458 € |
| Any 20 | 80 | 4.720.000 € | 4.160.197 € | 3.080.000 € | 2.114.207 € | 2.045.991 € | 36.668.620 € | -26.891.467 € |
| Any 21 | 80 | 4.720.000 € | 4.132.646 € | 3.080.000 € | 2.072.752 € | 2.059.895 € | 38.728.515 € | -24.831.573 € |
| Any 22 | 80 | 4.720.000 € | 4.105.278 € | 3.080.000 € | 2.032.110 € | 2.073.168 € | 40.801.683 € | -22.758.404 € |
| Any 23 | 80 | 4.720.000 € | 4.078.090 € | 3.080.000 € | 1.992.264 € | 2.085.826 € | 42.887.509 € | -20.672.578 € |
| Any 24 | 80 | 4.720.000 € | 4.051.083 € | 3.080.000 € | 1.953.200 € | 2.097.883 € | 44.985.392 € | -18.574.695 € |
| Any 25 | 80 | 4.720.000 € | 4.024.255 € | 3.080.000 € | 1.914.902 € | 2.109.353 € | 47.094.745 € | -16.465.342 € |
| Any 26 | 80 | 4.720.000 € | 3.997.604 € | 3.080.000 € | 1.877.355 € | 2.120.249 € | 49.214.994 € | -14.345.093 € |
| Any 27 | 80 | 4.720.000 € | 3.971.130 € | 3.080.000 € | 1.840.544 € | 2.130.586 € | 51.345.580 € | -12.214.507 € |
| Any 28 | 80 | 4.720.000 € | 3.944.831 € | 3.080.000 € | 1.804.455 € | 2.140.376 € | 53.485.956 € | -10.074.131 € |
| Any 29 | 80 | 4.720.000 € | 3.918.706 € | 3.080.000 € | 1.769.074 € | 2.149.633 € | 55.635.588 € | -7.924.499 €  |
| Any 30 | 80 | 4.720.000 € | 3.892.755 € | 3.080.000 € | 1.734.386 € | 2.158.369 € | 57.793.957 € | -5.766.130 €  |
| Any 31 | 80 | 4.720.000 € | 3.866.975 € | 3.080.000 € | 1.700.378 € | 2.166.597 € | 59.960.554 € | -3.599.533 €  |
| Any 32 | 80 | 4.720.000 € | 3.841.366 € | 3.080.000 € | 1.667.038 € | 2.174.328 € | 62.134.882 € | -1.425.205 €  |
| Any 33 | 80 | 4.720.000 € | 3.815.926 € | 3.080.000 € | 1.634.351 € | 2.181.576 € | 64.316.458 € | 756.371 €     |
| Any 34 | 80 | 4.720.000 € | 3.790.655 € | 3.080.000 € | 1.602.304 € | 2.188.351 € | 66.504.808 € | 2.944.721 €   |
| Any 35 | 80 | 4.720.000 € | 3.765.552 € | 3.080.000 € | 1.570.887 € | 2.194.665 € | 68.699.473 € | 5.139.386 €   |
| Any 36 | 80 | 4.720.000 € | 3.740.614 € | 3.080.000 € | 1.540.085 € | 2.200.529 € | 70.900.002 € | 7.339.915 €   |
| Any 37 | 80 | 4.720.000 € | 3.715.842 € | 3.080.000 € | 1.509.887 € | 2.205.955 € | 73.105.957 € | 9.545.870 €   |
| Any 38 | 80 | 4.720.000 € | 3.691.234 € | 3.080.000 € | 1.480.282 € | 2.210.952 € | 75.316.909 € | 11.756.822 €  |

|        |    |             |             |             |             |             |              |              |
|--------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Any 39 | 80 | 4.720.000 € | 3.666.788 € | 3.080.000 € | 1.451.257 € | 2.215.532 € | 77.532.441 € | 13.972.354 € |
| Any 40 | 80 | 4.720.000 € | 3.642.505 € | 3.080.000 € | 1.422.801 € | 2.219.704 € | 79.752.145 € | 16.192.058 € |
| Any 41 | 80 | 4.720.000 € | 3.618.382 € | 3.080.000 € | 1.394.902 € | 2.223.480 € | 81.975.625 € | 18.415.538 € |
| Any 42 | 80 | 4.720.000 € | 3.594.420 € | 3.080.000 € | 1.367.551 € | 2.226.868 € | 84.202.493 € | 20.642.406 € |
| Any 43 | 80 | 4.720.000 € | 3.570.616 € | 3.080.000 € | 1.340.737 € | 2.229.879 € | 86.432.372 € | 22.872.285 € |
| Any 44 | 80 | 4.720.000 € | 3.546.969 € | 3.080.000 € | 1.314.448 € | 2.232.521 € | 88.664.894 € | 25.104.807 € |
| Any 45 | 80 | 4.720.000 € | 3.523.479 € | 3.080.000 € | 1.288.674 € | 2.234.805 € | 90.899.699 € | 27.339.612 € |

En l'escenari més optimista, augment de l'IPC del 2 %, els beneficis s'obtindrien a partir del 33è any d'operació del projecte en qüestió.

## 4.5. Avantatges i inconvenients econòmics

Alguns dels avantatges i inconvenients econòmics que presenta la implementació d'aquest projecte són:

- Dur a terme el projecte és car i difícilment amortitzable, des del punt de vista d'un inversor privat.
- Si s'incrementa la instal·lació d'aquests tipus de centrals, el cost de les futures serà més baix. Això es degut a que no serà una tecnologia pionera i els components d'aquesta no hauran de ser exclusius i fabricats a mida fet que permetrà que la rendibilitat augmenti.
- Al reduir la contaminació per l'estat pot suposar un estalvi econòmic en sanitat. La reducció de gasos nocius a l'atmosfera va lligada a la disminució de malalties provocades per la combustió de generadors dièlsels.
- Al ser una instal·lació d'innovació beneficiosa pel medi ambient l'estat subvenciona part de la inversió. Com s'ha vist, això permet que la rendibilitat augmenti.
- Si el funcionament de la central no és l'esperat pot ser que la central no arribi als 35 anys de vida i no s'arribi a amortitzar mai.
- Tot i que el mercat elèctric espanyol és molt incert, les exigències d'ús d'energies renovables podrien fer que les primes per a la generació renovable tornessin. D'aquesta manera la central podria ser rendible en un període molt més curt de temps.

# CAPÍTOL 5: IMPACTE MEDIAMBIENTAL

Amb la finalitat de realitzar l'estudi de l'impacte ambiental provocat al dur a terme el present projecte, s'utilitza la **Taula 10** per tal de ponderar els diferents impactes tant positius com negatius. Aquesta avaluació permet conèixer si el conjunt del sistema de generació i emmagatzematge és beneficiós o no.

**Taula 10.** Valoració qualitativa simple de l'impacte ambiental.

| VALORACIÓ QUALITATIVA SIMPLE         |   |                                   |   |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| Signe                                |   | Acumulació (A)                    |   |
| Impacte beneficiós                   | + | Simple                            | 1 |
| Impacte perjudicial                  | - | Acumulatiu                        | 3 |
|                                      |   | Sinèrgic                          | 5 |
| Extensió (E)<br>Àrea d'influència    |   | Intensitat (In)<br>Medis naturals |   |
| Puntual                              | 1 | Baixa                             | 1 |
| Parcial                              | 2 | Mitja                             | 4 |
| Extens                               | 3 | Alta                              | 8 |
| Persistència (P)                     |   | Reversibilitat (Rv)               |   |
| Permanència de l'efecte              |   | Medis naturals                    |   |
| Temporal                             | 1 | Reversible                        | 1 |
| Permanent                            | 3 | Irreversible                      | 3 |
| Recuperabilitat (Re)<br>Medis humans |   |                                   |   |
| Recuperable                          | 1 |                                   |   |
| Irrecuperable                        | 3 |                                   |   |

Una vegada coneguts els resultats de cada un dels apartats de la **Taula 10**, s'aplica la següent fórmula per tal de poder comparar les dades i extreure'n una conclusió final.

$$Im = \pm(A + E + In + P + Rv + Rc) \quad (6)$$

Per tal de realitzar una valoració de l'impacte ambiental d'una forma més profunda, s'analitza l'impacte de diferents medis. D'aquesta manera es fa una valoració de l'impacte sobre el sòl, la fauna, el medi aeri, l'aigua i la societat.

El resultat obtingut al aplicar el criteri explicat en el sòl és:

$$Im = \pm(A + E + In + P + Rv + Rc) = -(1 + 2 + 1 + 3 + 1 + 1) = -9 \quad (7)$$

L'impacte mediambiental causat al sòl es determina com un element negatiu ja que és necessari fer moviment de terres i el terreny és ocupat permanentment pels aerogeneradors i per la planta d'emmagatzematge.

Realitzant el mateix procediment que en el cas anterior, el resultat obtingut sobre la fauna és:

$$Im = \pm(A + E + In + P + Rv + Rc) = -(1 + 1 + 1 + 3 + 1 + 1) = -8 \quad (8)$$

En aquest cas, l'impacte sobre la fauna és degut a l'ús dels aerogeneradors. Tot i això aquests podrien suposar un impacte major al reflectit però en el cas de l'aerogenerador marca Enercon i model E82 està dissenyat per reduir-lo. Per a fer-ho està dotat d'unes franges pintades a les pales de manera que al girar simula un cos sòlid i d'aquesta forma els ocells el poden veure i evitar topar-hi.

Si es realitza un anàlisi de l'impacte mediambiental sobre el medi aeri s'obté:

$$Im = \pm(A + E + In + P + Rv + Rc) = -(1 + 1 + 1 + 3 + 3 + 1) = -10 \quad (9)$$

Els aerogeneradors provoquen soroll que és molest per als habitants. Amb la finalitat de minimitzar les molèsties i reduir l'impacte acústic, a l'hora de dissenyar el parc eòlic, s'ha tingut en compte una distància de seguretat des dels nuclis urbans o masies aïllades als aerogeneradors.

Aplicant el mètode a l'aire s'obté:

$$Im = \pm(A + E + In + P + Rv + Rc) = +(3 + 1 + 4 + 3 + 1 + 1) = 13 \quad (10)$$

Aquest és un indicador positiu ja que l'origen d'aquest projecte és evitar les emissions de gasos contaminants i per tant millorar la qualitat de l'aire.

Si es calcula quin és l'impacte mediambiental sobre l'aigua s'obté:

$$Im = \pm(A + E + In + P + Rv + Rc) = +(1 + 1 + 1 + 3 + 1 + 1) = 8 \quad (11)$$

L'aigua també és un indicador positiu sobre l'impacte mediambiental ja que l'ús d'aigua que fa la central és d'origen pluvial, com en part fa El Palmar, amb la diferència que el consum és significativament menor. D'aquesta manera no només s'evita el consum d'aigua de boca sinó que també s'evita l'ús d'una quantitat d'aigua que pot anar destinada a d'altres comeses.

Finalment si s'aplica el mateix criteri a la societat s'obté:

$$Im = \pm(A + E + In + P + Rv + Rc) = +(3 + 2 + 4 + 3 + 3 + 3) = 18 \quad (12)$$

Aquest projecte és molt important per a la societat ja que està destinat a reduir les emissions de gasos contaminants i així augmentar la qualitat de vida de la societat. També ofereix altres avantatges com és la independència energètica i l'estabilitat del cost de l'energia.

Finalment si s'observen els diferents valors obtinguts per a cada àmbit, es pot veure que no n'hi ha cap que sigui la meitat del valor més desfavorable, en aquest cas és -25. Això indica que no és necessària fer una actuació de millora específica en un punt en concret dels analitzats. Ara bé, si es fa la suma aritmètica dels diferents valors obtinguts en l'impacte ambiental, tot i ser temàtiques diferents, es pot obtenir una valoració global de l'impacte del projecte. En el cas d'estudi aquest resultat és de +12.

D'aquest resultat es pot concloure que el projecte que es proposa, en conjunt, és beneficiós per a la zona. Ja que el resultat positiu és substancialment major que el negatiu.

# CAPÍTOL 6:

## BENEFICI SOCIAL

En l'actualitat, a l'illa de La Gomera, la totalitat de l'energia elèctrica és generada de forma no renovable. Per a la generació d'electricitat s'utilitza la central tèrmica de El Palmar. Aquesta central consta de deu grups de motors dièsel, vuit de fixes i dos de mòbils, i en total la potència instal·lada és de 22,8 MW.

Per una banda, el fet d'haver d'alimentar els motors dièsel amb combustibles fòssils no produïts en el territori, implica una dependència energètica de països estrangers. Recordar que ni a l'illa de La Gomera ni a les Illes Canàries s'extreu petroli, i a l'Estat Espanyol se n'extreu quantitats ínfimes comparat amb el que consumeix. Aquest fet implica una gran inestabilitat, ja que certs moviments polítics i/o bèl·lics en els països exportadors, com el moviment en el mercat del cru poden produir variacions imprevisibles en el preu del gasoil.

D'altra banda, és conegut que les reserves petrolíferes no són il·limitades. Tot i haver-hi moltes especulacions i prediccions respecte del zenit del petroli i no haver-se'n complert cap, en algun moment més proper o més llunyà arribarà. Serà llavors quan el preu del petroli s'incrementarà degut a que cada vegada serà més escàs i més costos d'extreure'n les reserves existents. És per això que no és segur ni viable basar tota la producció elèctrica de La Gomera en combustibles fòssils.

Altrament, la producció elèctrica de l'illa mitjançant motors dièsel genera una gran quantitat d'emissions, aproximadament 50.000 tones equivalents de CO<sub>2</sub> a l'any. Aquest alliberament suposa un perjudici ambiental i social, ja que l'emissió continuada de gasos contaminants i de creixement exponencial està provocant un canvi climàtic i un escalfament global. Si no es canvia la tendència d'emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera, la temperatura del planeta a finals de segle haurà augmentat 4 °C. Aquest fet pot comprometre, entre d'altres:

- L'agricultura i la seguretat alimentària. L'augment de la temperatura de la superfície del planeta pot ser perjudicial per les espècies de conreu i en conseqüència per la ramaderia. Aquest fet podria dificultar l'alimentació de la població.



- Recursos hídrics, el canvi en el clima pot alterar els règims hídrics del territori i suposar sequeres i problemes amb l'abastiment d'aigua.
- Els nivells de contaminació a l'ambient poden comportar malalties a les persones i per tant comprometre la seva salut.

Segons el AR5, Fifth Assessment Report, s'han de reduir entre un 78 % i un 118 % les emissions a l'atmosfera de gasos d'efecte hivernacle si no es vol augmentar la temperatura terrestre més de 2 °C. Per tal d'aconseguir aquestes fites s'ha de canviar el model actual de generació d'energia, entre d'altres factors. (IPCC 2008)

Per aquests motius el sistema proposat en aquest projecte, que combina la generació elèctrica en un parc eòlic amb l'emmagatzematge d'energia fent ús de nitrogen líquid, és beneficiós per a la població. Així doncs, no es depèn del petroli per a la generació elèctrica fet que permet garantir el subministrament elèctric a llarg termini alhora que s'evita la dependència dels països exportadors. A més, els possibles conflictes entre països no afectaran a l'estabilitat del cost de generació elèctrica i finalment no existeixen emissions nocives a l'atmosfera.

Per acabar, posar èmfasi al fet que aquest és un sistema que un cop instal·lat i posat en funcionament les seves emissions són zero. S'ha dissenyat de forma que no és necessària cap altra font de calor addicional, contribuint així a la mitigació del canvi climàtic i tenint un aire més net fet que repercuteix beneficiosament en la salut de la població.

# CAPÍTOL 7: CONCLUSIONS

L'elaboració d'aquest projecte ha suposat l'assoliment dels diferents objectius que inicialment es van proposar. Ara bé, aquest treball ha suposat l'extracció de diferents conclusions respecte a la tecnologia aplicada i l'experiència innovadora.

Es pot concloure que,

- Gràcies al projecte que es proposa en aquest treball, l'illa de La Gomera assoleix una independència energètica respecte a la resta de món. Aquesta illa no dependrà de cap país exportador de recursos per a la producció d'energia elèctrica ja que els recursos necessaris, vent i nitrogen, s'obtenen de forma lliure i natural al mateix territori.
- Un cop s'hagi implementat i instal·lat el projecte, l'illa de La Gomera no alliberarà cap tipus d'emissió contaminat a l'atmosfera procedent de la generació elèctrica d'energia.
- Aquest treball és un projecte d'innovació. S'han dedicat molts esforços al desenvolupament i disseny partint des de zero, en el cas que la temàtica del projecte fos més evolucionada la memòria i el contrastat del projecte podrien ser més amplis.
- Existeix una gran dificultat en accedir a diferents dades de vital importància per a poder fer un disseny de la forma més fidel a la realitat possible.
- Tot i no disposar de les dades en detall de l'energia consumida La Gomera s'han utilitzat estimacions anuals, d'aquesta manera s'han pogut realitzar els càlculs necessaris per tal de suplir la potència i energia requerides a l'illa.
- S'ha assolit de manera satisfactòria i exitosa el disseny del parc eòlic i de la planta d'emmagatzematge basada en la liquació del nitrogen.
- L'equip d'enginyers ha adquirit un bon domini dels softwares utilitzats pel disseny i la simulació d'aquest projecte.
- En quant a escenari ambiental La Gomera passa d'un dels pitjors escenaris, el 100 % de l'energia elèctrica produïda amb fonts no renovables, al millor

escenari, la totalitat de l'energia produïda mitjançant una font d'origen renovable i respectuosa amb el medi ambient.

- Fent referència a l'estudi d'impacte ambiental, gràcies al benefici social que aporta una instal·lació d'aquest tipus, en conjunt suposa un impacte positiu en l'illa de La Gomera.
- El consum d'aigua, en la seva totalitat d'origen pluvial, de la central proposada és molt inferior al de l'actual central El Palmar.
- En cas d'implementació d'aquest projecte, la central seria pionera i de referència a nivell mundial. Aquest fet permetria que fos una primera prova a escala real amb projecció internacional i a la fi poder ser una tecnologia estesa i aplicable.
- La instal·lació d'aquest projecte a La Gomera generaria un gran nombre de llocs de treball qualificats.

Unes futures línies d'actuació podrien ser,

- L'increment del rendiment total de la central d'emmagatzematge fent una captació tèrmica d'origen solar i acumular-la utilitzant sals foses. D'aquesta manera es pot incrementar la temperatura del nitrogen al llarg del circuit d'expansió.
- La planta de liquació pot subministrar nitrogen líquid com un producte que podria ser utilitzat per altres sectors.
- La planta està preparada perquè si en un futur la demanda d'energia elèctrica augmenta, únicament s'hagi d'incrementar el volum d'emmagatzematge del tanc de nitrogen líquid i dels tancs d'oli.

## REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- AEE. 2011a. "Generación Eólica." *Asociación Empresarial Eólica*.  
<http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/generacion-eolica/>.
- . 2011b. "Potencia Instalada." *Asociación Empresarial Eólica*.  
<http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/potencia-instalada/>.
- Alfonzo, Marvin, and Vanessa González. 2011. "Diseño de Un Instrumento Para Evaluar Software Especializado En Manejo de Datos de Energía Eólica ." Universidad Central de Venezuela.
- Awstruepower. 2014. *USER MANUAL OPENWIND*. Edited by AWSTRUEPOWER. AWSTRUEPOW. ALBANY, NY - USA: Awstruepower.
- AWSTruepower. 2015. "Openwind FAQs." *AWSTruepower*.  
<https://www.awstruepower.com/products/software/openwind/openwind-faqs/#faq15>.
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. 2014. "INFORME MARCO SOBRE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS NATURAL,, Y SU COBERTURA.. HORIZONTE 2013-2017."  
[http://www.cnmc.es/Portals/0/Ficheros/Energia/Informes/20140308\\_Informe\\_Marco\\_2013.pdf](http://www.cnmc.es/Portals/0/Ficheros/Energia/Informes/20140308_Informe_Marco_2013.pdf).
- Dow. 2001. "SYLTHERM 800 - Silicone Heat Transfer Fluid," 1.  
<http://www.dow.com/webapps/lit/litorder.asp?filepath=heattrans/pdfs/noreg/176-01469.pdf&pdf=true>  
<http://www.dow.com/heattrans/products/synthetic/syltherm.htm>.
- ENERCON. 2010. *ENERCON Wind Energy Converters Technology & Service*. Aurich, Germany: ENERCON.  
[http://www.enercon.de/p/downloads/EN\\_Productoverview\\_0710.pdf](http://www.enercon.de/p/downloads/EN_Productoverview_0710.pdf).
- España, Gobierno de. 2015. "CENTRAL DIESEL EL PALMAR." *Ministerio de Agricultura, Alimentación Y Medio Ambiente*. [http://www.prtr-es.es/informes/fichacomplejo.aspx?Id\\_Complejo=5799](http://www.prtr-es.es/informes/fichacomplejo.aspx?Id_Complejo=5799).
- "Exportación de Ficheros EIEL." 2014. *Gobierno de Canarias*.  
<https://www.gobiernodecanarias.org/hacienda/unifica/Publico/ShapeExport.aspx>.

- GWEC. 2014. "GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY." *Global Wind Energy Council*. [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/GLOBAL\\_INSTALLED\\_WIND\\_POWER\\_CAPACITY\\_MW\\_%E2%80%93\\_Regional\\_Distribution.jpg](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/GLOBAL_INSTALLED_WIND_POWER_CAPACITY_MW_%E2%80%93_Regional_Distribution.jpg).
- IDAE. 2015. "METEOSIM." *Ministerio de Industria, Energía Y Turismo*. Accessed March 16. <http://atlaseolico.idae.es/meteosim/>.
- IEM. 2015. "ASOS-AWOS-METAR Data Download." *IEM*. [http://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=ES\\_\\_ASOS](http://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=ES__ASOS).
- IPCC. 2008. "Fifth Assessment Report." *IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>.
- Morgan, Robert, Stuart Nemes, Emma Gibson, and Gareth Brett. 2015. "Liquid Air Energy Storage – Analysis and First Results from a Pilot Scale Demonstration Plant." *Applied Energy* 137. Elsevier Ltd: 845–53. doi:10.1016/j.apenergy.2014.07.109. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261914008009>.
- NAW Staff. 2015. "Top 15 Wind Turbine Suppliers Of 2013 Revealed." *Zackin*. [http://www.nawindpower.com/e107\\_plugins/content/content.php?content.12710](http://www.nawindpower.com/e107_plugins/content/content.php?content.12710).
- REE. 2015. "MERCADO DIARIO." *Red Eléctrica de España*. Accessed June 3. <http://www.esios.ree.es/web-publica/>.
- . 2015. "Demanda Gomera En Tiempo Real." *REE*. <https://demanda.ree.es/visionaCan/VisionaGomera.html#>.
- Technical University of Denmark. 2015. "WASP." *DTU Wind Energy*. Accessed April 17. <http://www.wasp.dk/>.
- Tecnología y Mercado. 2015. "El Futuro de La Energía Eólica Pasa Por Las Nuevas Tecnologías." *B-Able*. <http://tecnologiaymercado.com/el-futuro-de-la-energia-eolica-pasa-por-las-nuevas-tecnologias/>.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BULLIS, KEVIN. 2013. "El Aire Líquido Podría Mover Los Coches Y Almacenar Energía Solar Y Eólica." *MIT Technology Review*.  
<http://www.technologyreview.es/energia/43149/el-aire-liquido-podria-mover-los-coches-y/>.
- CTA. 2015. "NITROMAT Generador de Nitrógeno Tipo PSA." *CTA Refrigeración Industrial*. Accessed May 20.  
<http://www.ctarefrigeracion.com/productos/gas/nitromat.html>.
- . 2010. *Ficha Técnica*. Edited by CTA refrigeración industrial. Barcelona.
- Emi. 2007. "Combustibles Alternativos: Bienvenidos a La Era Del Nitrógeno." *Coches 2.0*. <http://www.coches20.com/combustibles-alternativos-3/>.
- "Energía Eólica." 2015. *Viquipèdia*.  
[http://ca.wikipedia.org/wiki/Energia\\_e%C3%B2lica](http://ca.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B2lica).
- Fernández Díez, Pedro. 1862. "XIV.- Criogenia." In , edited by Pfernandezdiez.es, 331–81. pfernandezdiez.es.  
<http://files.pfernandezdiez.es/Termodinamica/PDFs/14Termod.pdf>.
- Garmendia, A, A Salvador, C Crespo, and L Garmendia. 2005. *Evaluación de Impacto Ambiental*. Edited by Miguel Martín-Romo and Marta Coicoya. Madrid: Pearson-Prentice-hall.
- GmbH, AmbiWeb. 2015. "Climate Data." *AmbiWeb GmbH*. Accessed May 11.  
<http://es.climate-data.org/location/26642/>.
- GÓMEZ, ILDEFONSO. 2012. "El Motor de Nitrógeno Líquido, Más Barato Y Eficiente Que El Eléctrico." *Omicrono*.  
<http://www.omicrono.com/2012/10/el-motor-de-nitrogeno-liquido-mas-barato-y-eficiente-que-el-electrico/>.
- Gómez, Iñaki. 2007. "Tablas Y Diagramas." Donostia: Universidad del País Vasco.  
[http://www.ehu.eus/mmtde/materiala/tablas\\_y\\_diagramas.pdf](http://www.ehu.eus/mmtde/materiala/tablas_y_diagramas.pdf).
- GWEC. 2014. "Global Statistics." *Global Wind Energy Council*.  
<http://www.gwec.net/global-figures/graphs/#>.
- "HISTORIA DE LA ENERGÍA EÓLICA." 2015. *Ekidom S.L*. Accessed May 20.  
<http://www.ekidom.com/historia-de-la-energia-eolica>.
- Lapesa. 2015. "DEPÓSITOS PARA ALMACENAMIENTO CRIOGÉNICO." *Lapesa*.  
<http://www.lapesa.es/es/criogenicos.html>.

- Lecuona Neumann, Antonio. 2002. "La Energía Eólica: Principios Básicos Y Tecnología." Universidad Carlos III de Madrid.  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455\\_eolica\\_ALecuona.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455_eolica_ALecuona.pdf).
- MEDINA, JUAN MANUEL MOLINA. 2012. "ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE UN PARQUE EÓLICO DE 40MW DE POTENCIA." UB-UPC.
- Molinero Benítez, Alberto. 2009. "Proyecto de Un Parque Eólico." UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS.
- Mortensen, Niels G, Duncan N Heathfield, Lisbeth Myllerup, Lars Landberg, and Ole Rathmann. 2007. *Getting Started with WAsP 9*. Edited by Technical University of Denmark. Risø Natio. Vol. 2571. Roskilde, Denmark.
- Olivares, Carlos. 2012. "CENTRAL SOLAR TERMOELÉCTRICA DE 49,9 MWe CON ALMACENAMIENTO TÉRMICO." UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- Openwind, Background The, and Lake Champlain. *OpenWind Tutorial*.
- Prieto, Gonzalo. 2015. "La Energía Eólica En El Mundo, Europa Y España." *Geografía Infinita*. <http://www.geografiainfinita.com/2014/01/la-energia-eolica-en-el-mundo-europa-y-espana/>.
- Reixachs Solé, Marina, Gemma Vidal Pedrola, Laura Martínez Dudris, and Ester Moya Bosch. 2014. "Recerca de Selenoproteïnes En Equus Przewalskii." UPF. <http://bioinformatica.upf.edu/20142015/projectes1415/1C/agraiments.html>.
- Riba Genescà, Esteve. 2005. "Capítulo 5: Elección Óptima de Un Depósito de Agua." In *Cálculo Y Elección Óptima de Un Depósito de Agua*, 172–98. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.  
<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3258/6/50937-6.pdf>.
- VaxaSoftware. 2015. "PROPIEDADES DEL AGUA EN FUNCIN DE LA TEMPERATURA." *Vaxa Software*.  
[http://www.vaxasoftwre.com/doc\\_edu/qui/caloresph2o.pdf](http://www.vaxasoftwre.com/doc_edu/qui/caloresph2o.pdf).
- Wikipedia. 2015. "Central Térmica El Palmar." *Wikipedia*. Accessed June 1.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Central\\_t%C3%A9rmica\\_El\\_Palmar](http://es.wikipedia.org/wiki/Central_t%C3%A9rmica_El_Palmar).

## II. Plànols



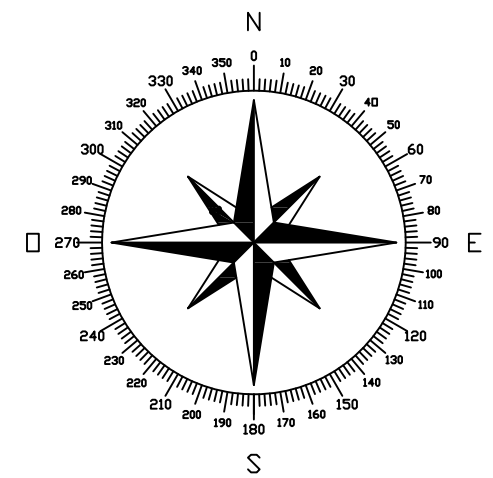
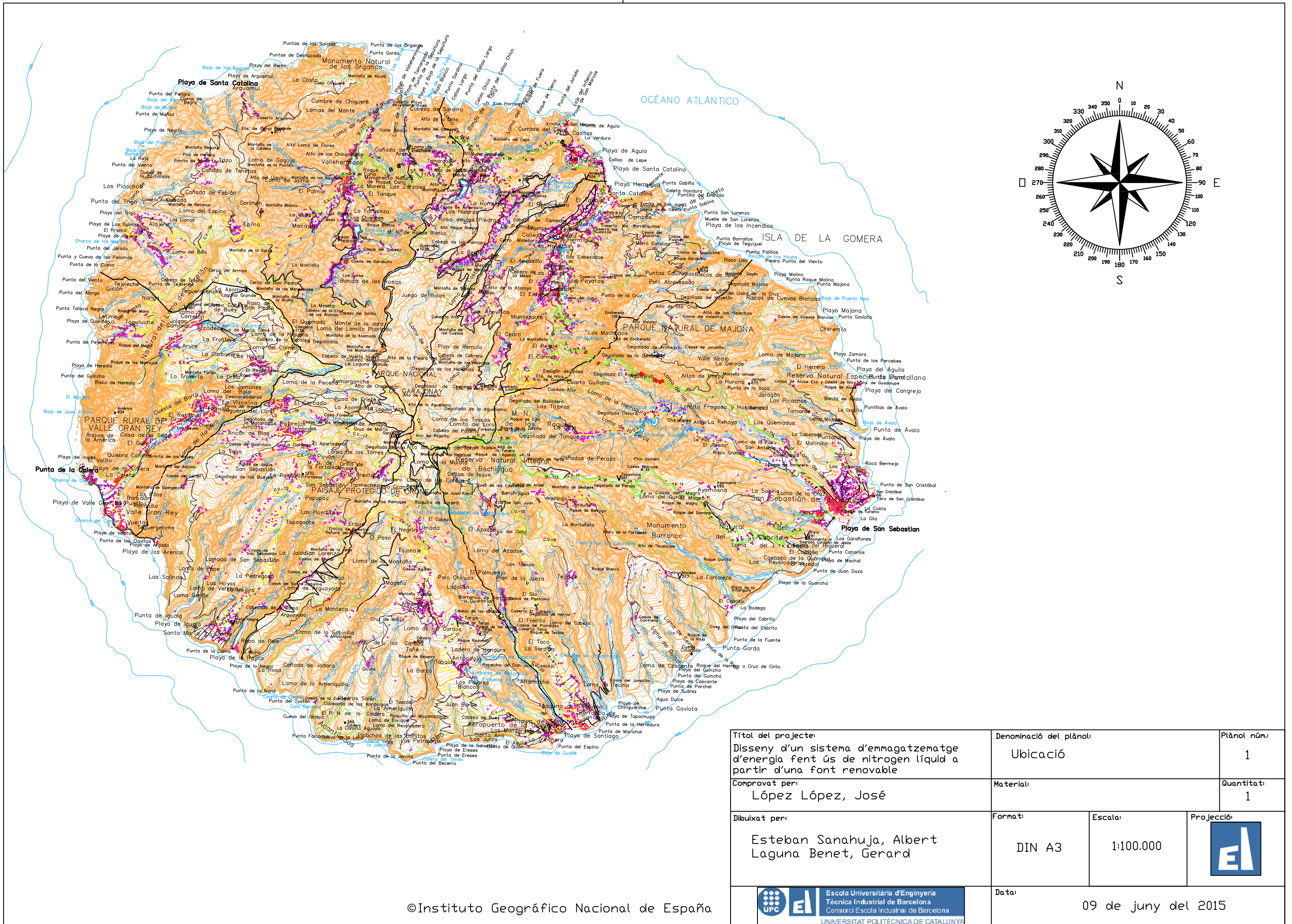
## **ÍNDEX PLÀNOLS**



Plànol 1: Plànol ubicació general

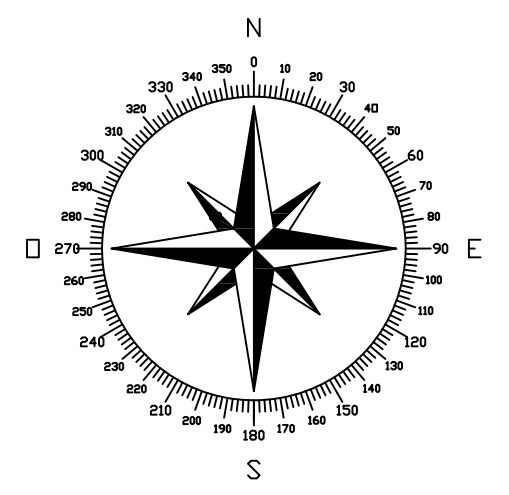
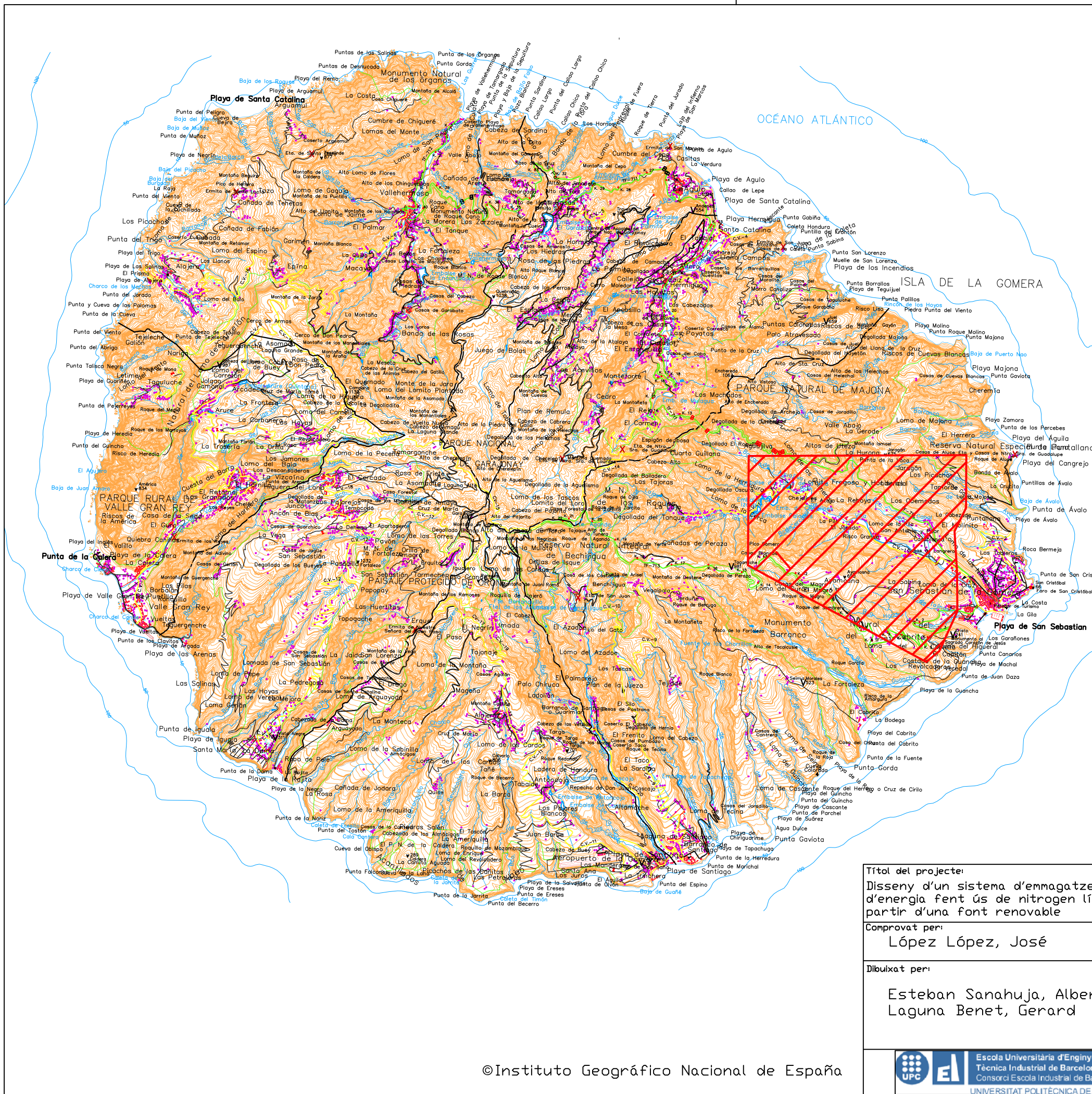
Plànol 2: Zona apta per a la construcció del parc



Plànol 3: Detall de la zona apta

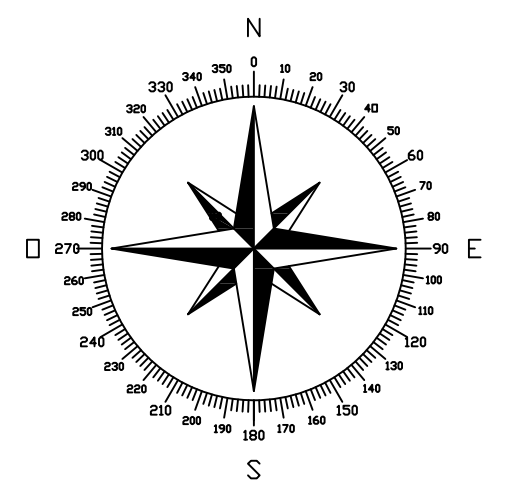
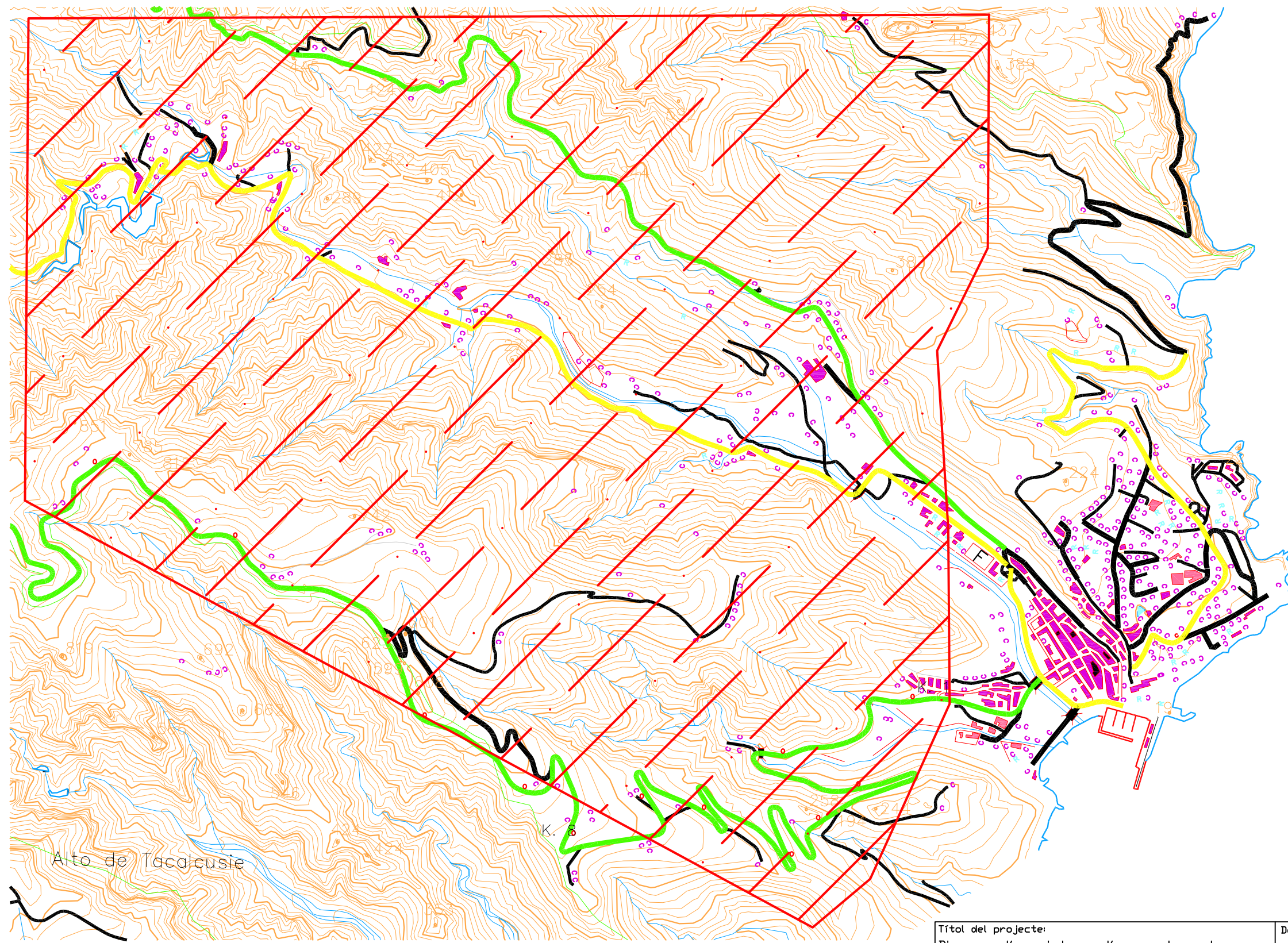
Plànol 4: Ubicació dels aerogeneradors i de la planta d'emmagatzematge






|  |  |  |                             |  |
|--|--|--|-----------------------------|--|
| <b>Títol del projecte:</b><br>Disseny d'un sistema d'emmagatzematge d'energia fent ús de nitrogen líquid a partir d'una font renovable |  | <b>Denominació del plànol:</b><br>Ubicació |                             | <b>Plànol núm.:</b><br>1   |
| <b>Comprovat per:</b><br>López López, José   |  | <b>Material:</b>                           |                             | <b>Quantitat:</b><br>1   |
| <b>Dibuixat per:</b><br>Esteban Sanahuja, Albert<br>Laguna Benet, Gerard   |  | <b>Format:</b><br>DIN A3                   | <b>Escala:</b><br>1:100.000 | <b>Projecció:</b><br> |
|   |  | <b>Data:</b><br>09 de juny del 2015        |                             |  |

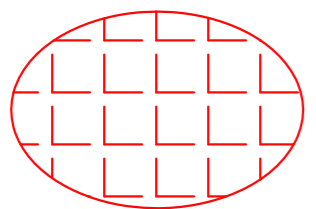
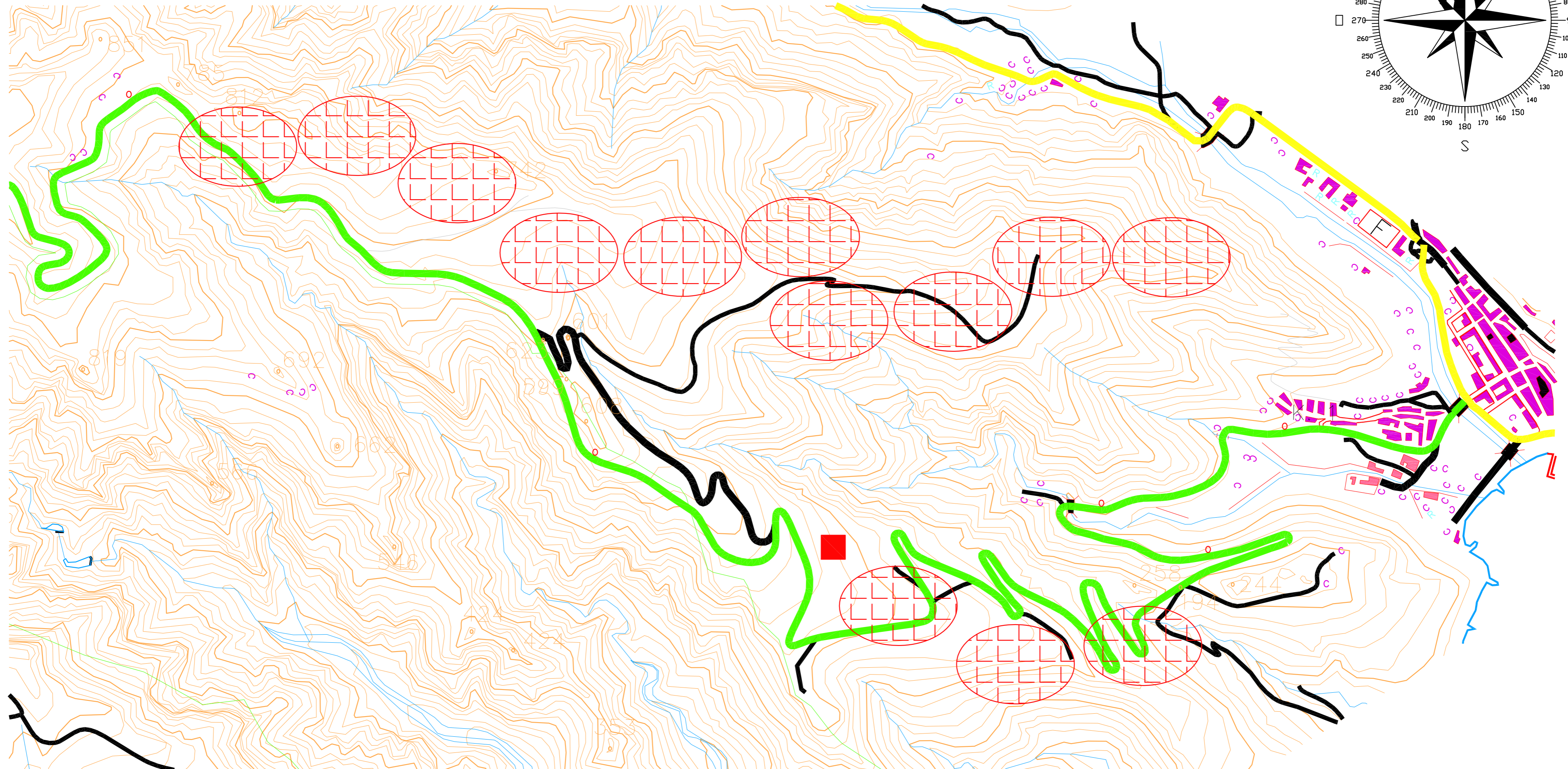
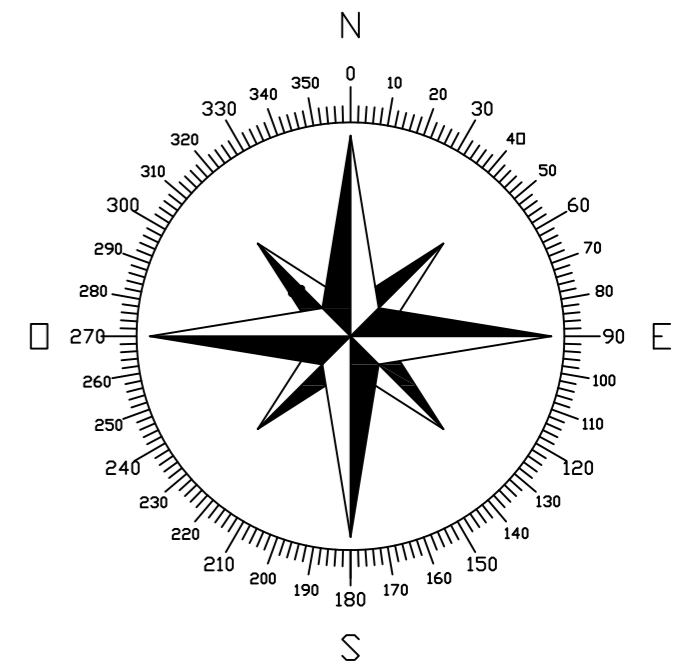


|  |  |   |                             |  |
|--|--|---|-----------------------------|--|
| <b>Títol del projecte:</b><br>Disseny d'un sistema d'emmagatzematge d'energia fent ús de nitrogen líquid a partir d'una font renovable |  | <b>Denominació del plànol:</b><br>Zona apta per al parc eòlic |                             | <b>Plànol núm.:</b><br>2   |
| <b>Comprovat per:</b><br>López López, José   |  | <b>Material:</b>  |                             | <b>Quantitat:</b><br>1   |
| <b>Dibuixat per:</b><br>Esteban Sanahuja, Albert Laguna Benet, Gerard  |  | <b>Format:</b><br>DIN A3                                      | <b>Escala:</b><br>1:100.000 | <b>Projecció:</b><br> |
|   |  | <b>Data:</b><br>09 de juny del 2015                           |                             |  |



Alto de Tacalcusie

|   |  |  |                     |   |
|---|--|--|---------------------|---|
| Títol del projecte:<br>Disseny d'un sistema d'emmagatzematge d'energia fent ús de nitrogen líquid a partir d'una font renovable   |  | Denominació del plànol:<br>Detall zona apta per al parc edic |                     | Plànol núm.:<br>3   |
| Comprovat per:<br>López López, José   |  | Material:  |                     | Quantitat:<br>1   |
| Dibuixat per:<br>Esteban Sanahuja, Albert Laguna Benet, Gerard  |  | Format:<br>DIN A3  | Escala:<br>1:25.000 | Projecció:<br> |
|   Escola Universitària d'Enginyeria<br>Tècnica Industrial de Barcelona<br>Consorci Escola Industrial de Barcelona<br>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA |  | Data:<br>09 de juny del 2015                                 |                     |   |



Zona d'interferència de l'aerogenerador



Planta d'emmagatzematge de nitrogen líquid

|  |  |  |                     |                   |
|--|--|--|---------------------|-------------------|
| Títol del projecte:<br>Disseny d'un sistema d'emmagatzematge d'energia fent ús de nitrogen líquid a partir d'una font renovable                      |  | Denominació del plànol:<br>Distribució parc edic |                     | Plànol núm.:<br>4 |
| Comprovat per:<br>López López, José  |  | Material:  |                     | Quantitat:<br>1   |
| Dibuixat per:<br>Esteban Sanahuja, Albert Laguna Benet, Gerard   |  | Format:<br>DIN A2                                | Escala:<br>1:12.500 | Projecció:<br>    |
| Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona<br>Consorci Escola Industrial de Barcelona<br>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA |  | Data:<br>09 de juny del 2015                     |                     |                   |

# III. Annexos

## **ÍNDIX ANNEXOS**

Annex I: Manifest Protecció dels fitxers Openwind®.

Annex II: Fitxa tècnica aerogenerador Enercon E82 de 3.000 kW.

Annex III: Fitxa tècnica generador nitrogen N15000 ECO-99,5%.

Annex IV: Fitxa tècnica oli tèrmic Syltherm 800.

Annex V: Fitxa tècnica torre refrigeració KRNA 600.

Annex VI: Hores de treball de l'equip d'enginyeria.

Annex VII: Esquema complet de la planta d'emmagatzematge.

# Annex I



## MANIFEST DE PROTECCIÓ DELS FITXERS SUBMINISTRATS PER L'EMPRESA AWS TRUEPOWER

---

Avui, 08 d'abril del 2015, els autors del projecte titulat "Disseny d'un sistema d'emmagatzematge d'energia fent ús de nitrogen líquid a partir d'una font renovable", Albert Esteban Sanahuja i Gerard Laguna Benet, juntament amb el tutor del projecte José López López redactem aquests manifest per mostrar el nostre compromís en el compliment dels següents punts:

- Les dades subministrades per l'empresa AWS Truepower només seran utilitzades amb finalitat acadèmica.
- Aquestes dades no seran compartides directament a tercers. Tanmateix les conclusions extretes a partir del tractament d'aquestes i utilitzades per elaborar el projecte acadèmic, podran ser publicades i distribuïdes amb l'autoria dels autors del treball.
- En el treball es deixarà constància de la participació de AWS Truepower i s'informarà de quina part del treball s'ha pogut realitzar gràcies a la seva ajuda.

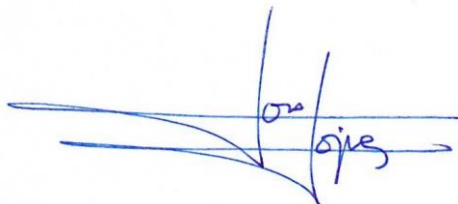
Signem el nostre compromís de compliment dels punts esmentats a Barcelona dia 08 d'abril del 2015.



**Albert Esteban Sanahuja**  
Autor del projecte



**Gerard Laguna Benet**  
Autor del projecte



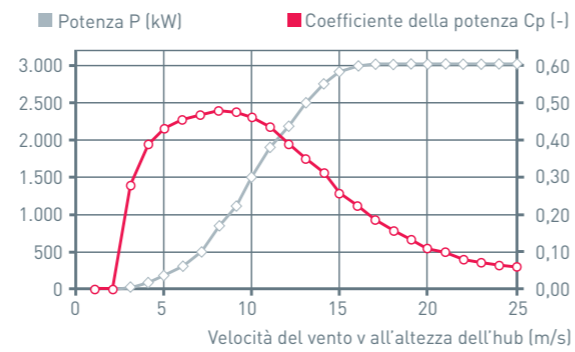
**José López López**  
Tutor del projecte

**Santi Parés**  
Representant AWS Truepower

# Annex II



Curva de potencia calculada



| Viento (m/s) | Potencia P (kW) | Coefficiente de potencia Cp (-) |
|--------------|-----------------|---------------------------------|
| 1            | 0,0             | 0,000                           |
| 2            | 0,0             | 0,000                           |
| 3            | 25,0            | 0,286                           |
| 4            | 82,0            | 0,396                           |
| 5            | 174,0           | 0,430                           |
| 6            | 321,0           | 0,459                           |
| 7            | 525,0           | 0,473                           |
| 8            | 800,0           | 0,483                           |
| 9            | 1.135,0         | 0,481                           |
| 10           | 1.510,0         | 0,467                           |
| 11           | 1.880,0         | 0,437                           |
| 12           | 2.200,0         | 0,394                           |
| 13           | 2.500,0         | 0,352                           |
| 14           | 2.770,0         | 0,312                           |
| 15           | 2.910,0         | 0,267                           |
| 16           | 3.000,0         | 0,226                           |
| 17           | 3.020,0         | 0,190                           |
| 18           | 3.020,0         | 0,160                           |
| 19           | 3.020,0         | 0,136                           |
| 20           | 3.020,0         | 0,117                           |
| 21           | 3.020,0         | 0,101                           |
| 22           | 3.020,0         | 0,088                           |
| 23           | 3.020,0         | 0,077                           |
| 24           | 3.020,0         | 0,068                           |
| 25           | 3.020,0         | 0,060                           |

p = 1,225 kg/m³

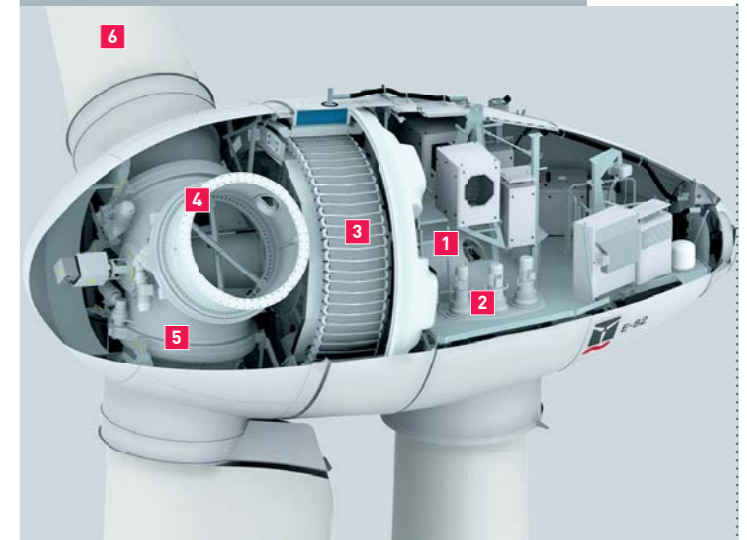
Datos técnicos E-82 E4

|  |  |
|--|--|
| <b>Potencia nominal:</b>                     | <b>3.000 kW</b>  |
| <b>Diámetro del rotor:</b>                   | <b>82 m</b>  |
| <b>Altura de buje en metros:</b>             | <b>78 / 84</b>   |
| <b>Clase de viento (DIBT):</b>               | <b>-</b>   |
| <b>Clase de viento (IEC):</b>                | <b>IEC/EN IA</b>   |
| <b>Concepto de aerogenerador:</b>            | Sin multiplicadora, velocidad de giro variable, control del ángulo de paso de la pala independiente  |
| <b>Rotor</b>                                 |  |
| Tipo:  | A barlovento con control activo del ángulo de paso de la pala  |
| Sentido de rotación:                         | Agujas del reloj   |
| Número de palas:                             | 3  |
| Área barrida:                                | 5.281 m <sup>2</sup>   |
| Composición de las palas:                    | GRP (resina epoxil); protección contra rayos integrada   |
| Velocidad:                                   | Variable, 6 - 18 r.p.m.  |
| Control del ángulo de paso (pitch):          | Control del ángulo de paso ENERCON independiente, por pala un sistema autónomo con suministro de energía de emergencia                               |
| <b>Generador con sistema de transmisión</b>  |  |
| Buje:  | Fijo   |
| Rodamiento principal:                        | Rodamiento de dos hileras de rodillos cónicos/Rodamiento de rodillos cilíndricos   |
| Generador:                                   | Generador síncrono en anillo ENERCON con accionamiento directo   |
| <b>Sistema de conexión a red:</b>            | Inversor ENERCON   |
| <b>Sistemas de frenado:</b>                  | - 3 sistemas independientes de control del ángulo de paso con suministro de energía de emergencia<br>- Freno mecánico de rotor<br>- Bloqueo de rotor |
| <b>Sistema de orientación de la góndola:</b> | Control activo mediante motores de orientación, amortiguamiento en función de cargas   |
| <b>Velocidad máxima de viento:</b>           | 28 - 34 m/s (con sistema de control de ráfagas ENERCON*)   |
| <b>Sistema de control remoto:</b>            | ENERCON SCADA  |

\*Para más información sobre el sistema de control de ráfagas ENERCON, consulte la última página.

# E-82

## 3.000 kW



- 1 Soporte principal
- 2 Accionamiento sistema de orientación
- 3 Generador en anillo
- 4 Adaptador de la pala
- 5 Buje del rotor
- 6 Pala

# Annex III

## FICHA TÉCNICA

### GENERADOR DE NITRÓGENO–N15000 ECO– 99,5%

|  |                 |
|--|-----------------|
| Producción de N2 en m3/ h – Salida a 5 bar             | 1162,80         |
| Caudal de entrada de aire comprimido a 7 bar en Nm3/ h | 3372,00         |
| Compresor de Tornillo aconsejado en kW                 | 360             |
| Modelo del Prefiltro CTA                               | NB 450 P        |
| Modelo del Secador CTA                                 | PSED 3600       |
| Modelo del filtro desoleador CTA                       | NB 450 M        |
| Modelo del filtro desoleador absoluto CTA              | NB 450 S        |
| Modelo del post-filtro de carbón activo CTA            | NB 450 A        |
| Capacidad del tanque de aire                           | 8.000 litros    |
| Generador de Nitrógeno                                 | N-12000 ECO     |
| Capacidad del tanque de recepción de N2                | 25.000 litros   |
| Dimensiones generador (l x w x h) cm                   | 300 x200 x 360  |
| Peso (kg)  | 6900            |
| Conexión entrada del aire al generador                 | DN 100          |
| Dimensiones tanque de recepción de N2 (l x w x h) cm   | 170 x 170 x 615 |
| Peso (kg)  | 2400            |
| Conexión salida de N2 del tanque de recepción          | 2-1/2 pulgadas  |

**CTA**

REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

# Annex IV



# SYLTHERM 800

## Silicone Heat Transfer Fluid

SYLTHERM<sup>†</sup> 800 heat transfer fluid is a highly stable, long-lasting silicone fluid designed for high temperature liquid phase operation. It exhibits low potential for fouling and can often remain in service for 10 years or more. SYLTHERM 800 has essentially no odor, is low in acute oral toxicity, and is not listed as reportable under SARA Title III, Section 313<sup>††</sup>.

**Recommended use temperature range:**  
-40°C (-40°F) to 400°C (750°F)

For health and safety information for this product, contact your Dow sales representative or call the number for your area on the second page of this sheet for a Material Safety Data Sheet (MSDS).

<sup>††</sup> You may need to comply with similar or additional regulations in other countries.

### Typical Properties of SYLTHERM 800 Fluid<sup>1</sup>

Composition: Dimethyl Polysiloxane

|        | As Supplied  | After Extended Use |
|--------|--------------|--------------------|
| Color: | Clear Yellow | Darkened           |

| Property                                       | SI Units              |                            | English Units        |                            |
|--|-----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|
|  | SI Units              | English Units              | SI Units             | English Units              |
| Viscosity @ 25°C (77°F)                        | 9.1 mPa·s             | 9.1 cps                    | ≥6.0 mPa·s           | ≥6.0 cp                    |
| Flash Point <sup>3</sup> , Closed Cup, Typical | 160°C                 | 320°F                      | ≥35°                 | ≥95°                       |
| Flash Point <sup>4</sup> , Open Cup, Typical   | 177°C                 | 350°F                      | ≥57°C                | ≥135°F                     |
| Fire Point <sup>3</sup>                        | 193°C                 | 380°F                      | ≥68°C                | ≥155°F                     |
| Autoignition Point, ASTM D 2155                | 385°C                 | 725°F                      | 385°C                | 725°F                      |
| Acid Number, Typical                           | 0.03                  |                            | 0.03                 |                            |
| Freeze Point                                   | -60°C                 | -76°F                      | ≤-40°C               | ≤-40°F                     |
| Density @ 25°C (77°F)                          | 936 kg/m <sup>3</sup> | 7.8 lb/gal                 | 936kg/m <sup>3</sup> | 7.8lb/gal                  |
| Specific Gravity 25°C (77°F)                   | 0.93                  |                            | 0.93                 |                            |
| Heat of Combustion                             | 28,659 kJ/kg          | 12,300 Btu/lb              | 28,659 kJ/kg         | 12,300 Btu/lb              |
| Estimated Critical Temperature                 | 367°C                 | 692°F                      | 367°C                | 692°F                      |
| Estimated Critical Pressure                    | 10.9 bar              | 10.8 atm                   | 10.9 bar             | 10.8 atm                   |
| Estimated Critical Volume                      | 3.22 l/kg             | 0.0515 ft <sup>3</sup> /lb | 3.22 l/kg            | 0.0515 ft <sup>3</sup> /lb |

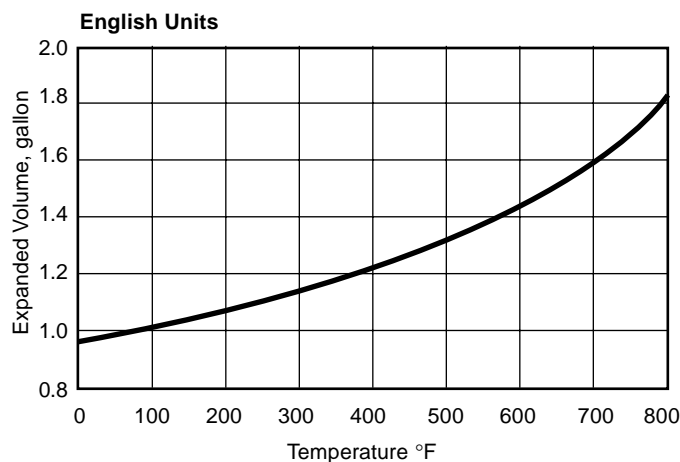
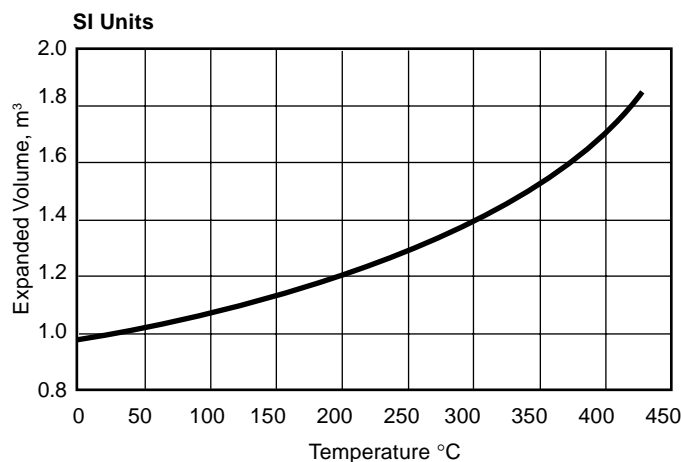
<sup>1</sup> Not to be construed as specifications

<sup>2</sup> Properties of the fluid at "equilibrium." Can be regarded as ongoing, long-term values for design purposes

<sup>3</sup> ASTM D92

<sup>4</sup> ASTM D93

### Thermal Expansion of SYLTHERM 800 Fluid

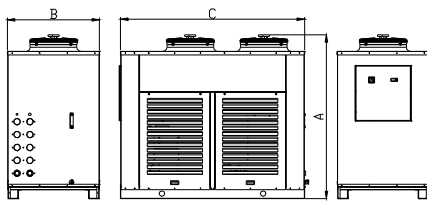


# Annex V

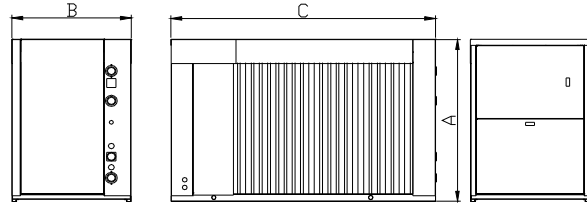




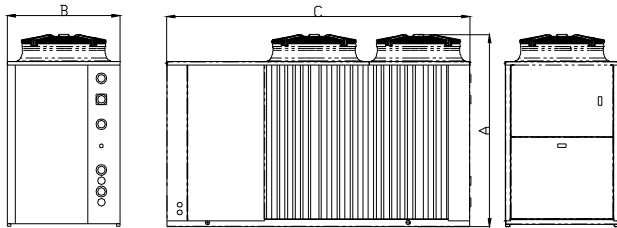
## DIMENSIONS



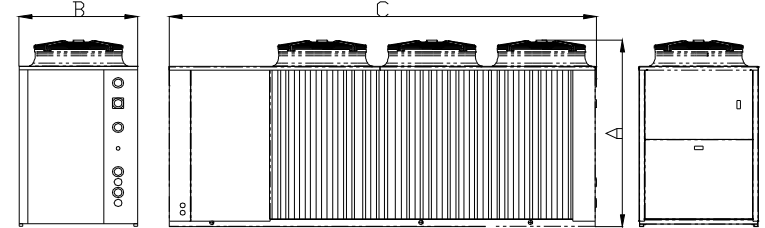
KRNA 400-500



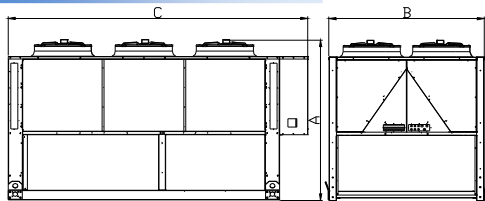
KRNA 600-700-900



KRNA 1100-1200-1400-1550



KRNA 1850



KRNA 2400-2700-3000

## TECHNICAL DATAS

|                   |        | KRNA 400  | KRNA 500  | <b>KRNA 600</b> | KRNA 700  | KRNA 800  | KRNA 900  | KRNA 1100 |
|-------------------|--------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Power supply      | V-Hz   | 400-3-50  |           |                 |           |           |           |           |
| Cooling capacity* | KW     | 40        | 52        | 60              | 70        | 80        | 90        | 110       |
|                   | Kcal/h | 34400     | 44720     | 51600           | 60200     | 68300     | 77400     | 94600     |
| Total input power | KW     | 20        | 27        | 32              | 24        | 27        | 31        | 38.5      |
| Current Nominal   | A      | 37        | 47        | 50              | 46        | 50        | 57.5      | 66.5      |
| Current starting  | A      | 160       | 230       | 150             | 161       | 166       | 209       | 215       |
| Water flow        | l/min  | 60-250    | 60-250    | 150-450         | 150-450   | 150-450   | 150-450   | 200-520   |
| Pressure range    | Bar    | 2,8-3,8   | 2,8-3,8   | 2,8-4,9         | 2,8-4,9   | 2,8-4,9   | 2,8-4,9   | 1,3-2,3   |
| Tank volume       | L      | 240       | 240       | 300             | 300       | 300       | 500       | 500       |
| Air flow          | m3/h   | 14000     | 14000     | 14000           | 20450     | 20450     | 27300     | 35500     |
| Noise level**     | dB(A)  | 72        | 72        | 42              | 49        | 49        | 49        | 55        |
| Weight empty      | Kg     | 690       | 690       | 790             | 850       | 850       | 1030      | 1115      |
| Dimensions        | A mm   | 1780      | 1780      | 1610            | 1610      | 1610      | 1610      | 1875      |
|                   | B mm   | 1000      | 1000      | 1100            | 1100      | 1100      | 1100      | 1100      |
|                   | C mm   | 2000      | 2000      | 2450            | 2450      | 2450      | 2950      | 2950      |
|                   |        | KRNA 1200 | KRNA 1400 | KRNA 1550       | KRNA 1850 | KRNA 2400 | KRNA 2700 | KRNA 3000 |
| Power supply      | V-Hz   | 400-3-50  |           |                 |           |           |           |           |
| Cooling capacity* | KW     | 120       | 140       | 155             | 185       | 240       | 270       | 300       |
|                   | Kcal/h | 103200    | 120400    | 133300          | 159100    | 206400    | 232200    | 258000    |
| Total input power | KW     | 41,2      | 50        | 55,8            | 78,6      | 89        | 98.5      | 107.5     |
| Current nominal   | A      | 72        | 88,4      | 99              | 135,5     | 150       | 165       | 180       |
| Current starting  | A      | 224       | 239       | 250             | 281       | 342       | 382       | 422       |
| Water flow        | l/min  | 200-520   | 200-520   | 200-520         | 200-520   | 850       | 850       | 850       |
| Pressure range    | Bar    | 1,3-2,3   | 1,3-2,3   | 1,3-2,3         | 1,3-2,3   | 2,5       | 2,5       | 2,5       |
| Tank volume       | L      | 500       | 500       | 500             | 500       | 700       | 700       | 700       |
| Air flow          | m3/h   | 35500     | 35500     | 35500           | 54700     | 80000     | 80000     | 80000     |
| Noise level**     | dB(A)  | 50        | 55        | 56              | 56        | 60        | 60        | 60        |
| Weight empty      | Kg     | 1140      | 1215      | 1305            | 1485      | 2650      | 2750      | 2779      |
| Dimensions        | A mm   | 1875      | 1875      | 1875            | 1875      | 2450      | 2450      | 2450      |
|                   | B mm   | 1100      | 1100      | 1100            | 1100      | 2200      | 2200      | 2200      |
|                   | C mm   | 2950      | 2950      | 2950            | 3950      | 3400      | 3400      | 3400      |

\*With 10°C outlet water, 32 ambient

\*\*Measured at 1 meter distance, 1.6m from floor in free aera

# Annex VI

## Hores de treball de l'equip d'enginyeria

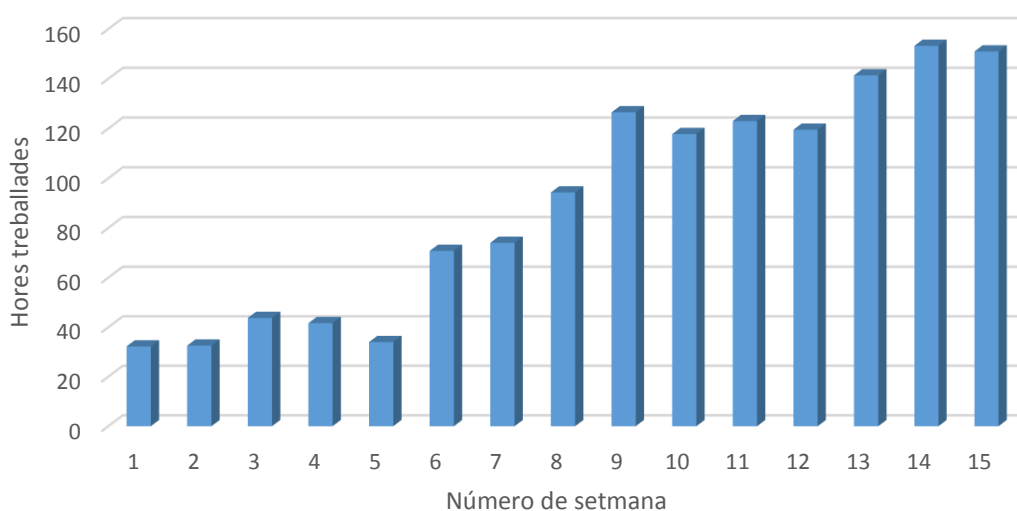
L'equip està format per dos persones que han treballat conjuntament i equitativament per a l'elaboració del present projecte.

La feina s'ha dut a terme al llarg de 15 setmanes i la següent taula mostra setmana a setmana la càrrega d'hores que ha representat a l'equip elaborar aquest projecte. D'aquesta manera es justifiquen les hores d'enginyeria reflectides en el pressupost.

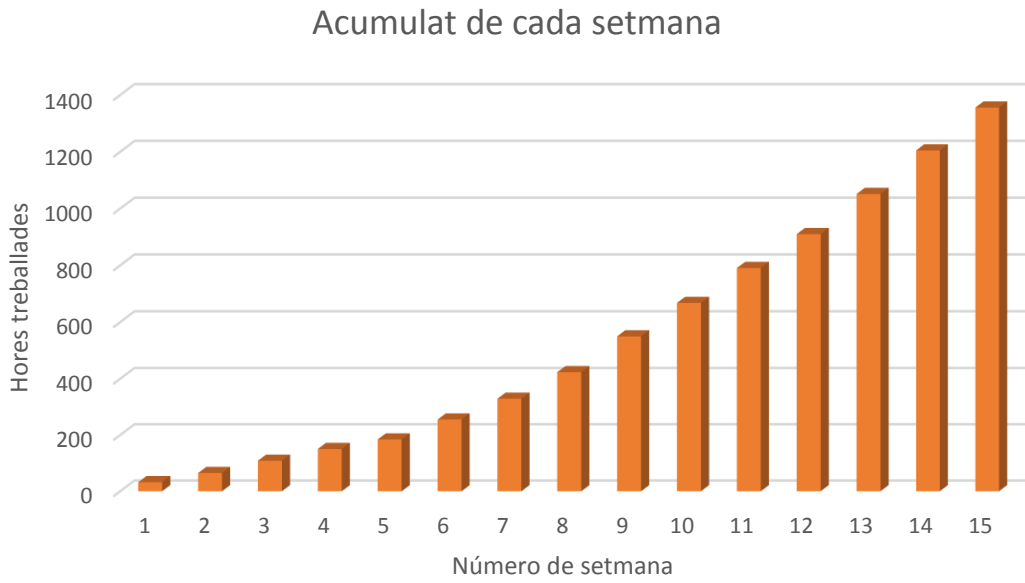
| Setmana      | Hores setmanals | Hores acumulades     |
|--------------|-----------------|----------------------|
| 1            | 32,25           | 32,25                |
| 2            | 32,55           | 64,8                 |
| 3            | 43,75           | 108,55               |
| 4            | 41,65           | 150,2                |
| 5            | 34              | 184,2                |
| 6            | 70,75           | 254,95               |
| 7            | 74              | 328,95               |
| 8            | 94,25           | 423,2                |
| 9            | 126,5           | 549,7                |
| 10           | 117,75          | 667,45               |
| 11           | 123             | 790,45               |
| 12           | 119,5           | 909,95               |
| 13           | 141,35          | 1051,3               |
| 14           | 153,25          | 1204,55              |
| 15           | 151             | 1355,55              |
| <b>TOTAL</b> |                 | <b>1355,55 hores</b> |

Els gràfics que es mostren a continuació expressen d'una forma més visual quantes hores de feina s'han dut a terme setmana a setmana.

Hores de treball de cada setmana



Les hores acumulades al llarg de les 15 setmanes es testifiquen en el gràfic següent.



En total, la realització d'aquest projecte ha suposat una càrrega horària per l'equip d'enginyeria de 1.355,55 hores.

Vist i plau dels autors,

Albert Esteban Sanahuja

Gerard Laguna Benet

# Annex VII

