

## Análisis y Diseño de un Parque Eólico Offshore en EE.UU.

Proyecto Fin de Máster: MERME 2013

Antonio Arco de Mora  
Sergio Canales  
Luis Galiana  
Jandall Lladó Guerra

**Tutor**  
Juan Amate



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, NoComercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....                                  | <b>8</b>  |
| <b>1.1. CONTEXTO ENERGÉTICO EN ESTADOS UNIDOS</b> .....       | <b>8</b>  |
| 1.1.1. Contexto energético a nivel general .....              | 8         |
| 1.1.2. Contexto energético a nivel renovable .....            | 13        |
| <b>1.2. PROYECCIÓN ENERGÉTICA EN ESTADOS UNIDOS</b> .....     | <b>16</b> |
| 1.2.1. Proyección energética a nivel global .....             | 16        |
| 1.2.2. Proyección energética de las energías renovables ..... | 19        |
| <b>1.3. ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE</b> .....                     | <b>21</b> |
| 1.3.1. Eólica offshore a nivel mundial .....                  | 21        |
| 1.3.2. Eólica offshore a nivel nacional.....                  | 22        |
| 1.3.3. Desafíos y posibilidades de negocio.....               | 23        |
| 1.3.4. Ventajas de la energía eólica offshore .....           | 25        |
| 1.3.5. Fases de desarrollo .....                              | 26        |
| 1.3.6. Proyectos propuestos .....                             | 27        |
| 1.3.7. Futuro de la energía eólica offshore .....             | 28        |
| <b>2. OBJETIVO DEL PROYECTO</b> .....                         | <b>29</b> |
| <b>3. EMPLAZAMIENTO</b> .....                                 | <b>30</b> |
| <b>4. ESTUDIO FÍSICO DEL EMPLAZAMIENTO</b> .....              | <b>33</b> |
| <b>4.1 ESTRUCTURA GEOLÓGICA</b> .....                         | <b>33</b> |
| <b>4.2 CLIMATOLOGÍA</b> .....                                 | <b>34</b> |
| 4.2.1 Temperatura .....                                       | 35        |
| 4.2.2 Viento.....   | 37        |
| 4.2.3 Precipitaciones .....                                   | 38        |
| 4.2.4 Climas extremos.....                                    | 38        |
| <b>4.3 BATIMETRÍA</b> .....                                   | <b>41</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.4 OLAS .....  | 42        |
| 4.5 CORRIENTES .....                                  | 43        |
| 4.6 MAREAS .....                                      | 44        |
| 4.7 INFRAESTRUCTURAS .....                            | 45        |
| 4.7 FACTOR SOCIAL .....                               | 46        |
| <b>5. ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL .....</b>             | <b>48</b> |
| 5.1 LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....          | 48        |
| 5.2 LEGISLACIÓN .....                                 | 48        |
| 5.3 LOCALIZACIÓN.....                                 | 51        |
| 5.4 INVENTARIO AMBIENTAL.....                         | 54        |
| 5.4.1 Suelos.....                                     | 54        |
| 5.4.2 Aguas.....                                      | 54        |
| 5.4.3 Fauna .....                                     | 54        |
| 5.4.4 Paisaje .....                                   | 59        |
| 5.4.5 Medio socio-económico .....                     | 60        |
| <b>5.5 ACCIONES .....</b>                             | <b>61</b> |
| 5.5.1 Fase de Construcción .....                      | 61        |
| 5.5.2 Fase de Operación y Mantenimiento .....         | 63        |
| 5.5.3 Fase de Desmantelamiento .....                  | 64        |
| <b>5.6 EVALUACIÓN DE IMPACTOS .....</b>               | <b>64</b> |
| 5.6.1 Ruido.....                                      | 65        |
| 5.6.2 Tráfico .....                                   | 65        |
| 5.6.3 Alteración del fondo marino.....                | 65        |
| 5.6.4 Vertidos .....                                  | 66        |
| 5.6.5 Impacto visual, presencia y balización.....     | 66        |
| 5.6.6 Impacto socioeconómico .....                    | 66        |
| <b>5.7 MEDIDAS PREVENTIVAS Y COMPENSATORIAS .....</b> | <b>67</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.7.1 Medidas preventivas.....   | 67        |
| 5.7.2 Medidas compensatorias.....  | 67        |
| <b>5.8 PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL.....</b>   | <b>68</b> |
| 5.8.1 Objetivos.....   | 68        |
| 5.8.2 Fases.....   | 68        |
| 5.8.3 Informes.....  | 68        |
| <b>6. LEGISLACIÓN.....</b>   | <b>69</b> |
| <b>6.1. LEGISLACIÓN FEDERAL.....</b>   | <b>70</b> |
| 6.1.1. US Army Corps of Engineers (USACOE).....  | 70        |
| 6.1.2. Guardia Costera.....  | 70        |
| 6.1.3. Administración Federal de Aviación.....   | 70        |
| 6.1.4. La Comisión Regulatoria Federal de Energía.....                                       | 70        |
| <b>6.2. LEGISLACIÓN ESTATAL.....</b>   | <b>71</b> |
| 6.2.1. Departamento de Protección del Medio Ambiente para el estado de New Jersey (DEP)..... | 71        |
| <b>6.3. LEGISLACIÓN LOCAL.....</b>   | <b>72</b> |
| 6.3.1. Distrito de la Conservación de la Tierra.....   | 72        |
| 6.3.2. Acta Municipal del Uso de la Tierra.....  | 72        |
| <b>6.4. PROCESO DE APLICACIÓN FEDERAL.....</b>   | <b>72</b> |
| 6.4.1. US Army Corps of Engineers (USACOE).....  | 72        |
| <b>6.5. PROCESO DE APLICACIÓN ESTATAL.....</b>   | <b>73</b> |
| 6.5.1. Departamento de Protección del Medio Ambiente para el estado de New Jersey (DEP)..... | 73        |
| <b>6.6. PROCESO DE APLICACIÓN LOCAL.....</b>   | <b>74</b> |
| 6.6.1. Condado.....  | 74        |
| 6.6.2. Municipio.....  | 74        |
| <b>7.DISEÑO DEL PARQUE.....</b>  | <b>75</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>7.1 ANÁLISIS DEL RECURSO EÓLICO .....</b>                                   | <b>75</b>  |
| <b>7.2 LAYOUT DEL PARQUE.....</b>  | <b>80</b>  |
| 7.2.1 Configuración 1 .....  | 80         |
| 7.2.2 Configuración 2.....   | 81         |
| 7.2.3. Configuración 3.....  | 82         |
| 7.2.4. Configuración 4 (Configuración final) .....                             | 83         |
| <b>7.3 ELECCIÓN DE LA TURBINA .....</b>  | <b>84</b>  |
| <b>7.4 CIMENTACIONES .....</b>   | <b>88</b>  |
| 7.4.1 Tipos de cimentación .....   | 88         |
| 7.4.2 Dimensionamiento .....   | 95         |
| 7.4.3 Características del Emplazamiento .....                                  | 96         |
| <b>7.5 SISTEMA ELÉCTRICO: .....</b>  | <b>97</b>  |
| 7.5.1 Configuración .....  | 97         |
| 7.5.2 Centros de transformación.....   | 98         |
| 7.5.3. Ingeniería de la ruta del cableado .....                                | 100        |
| 7.5.4. Sistemas de transmisión de alta tensión en corriente alterna (CA) ..... | 102        |
| <b>7.6 CABLEADO.....</b>   | <b>103</b> |
| 7.6.1. Tramo 30 kV : Red interna del parque.....                               | 103        |
| 7.6.2. Subestación 30 kV/132 kV .....  | 105        |
| 7.6.3 Subestación 132 kV/400 kV:.....  | 106        |
| <b>8. LOGÍSTICA.....</b>   | <b>107</b> |
| <b>8.1. PUERTOS .....</b>  | <b>107</b> |
| 8.1.1. Puerto de Newark.....   | 108        |
| <b>8.2. LOGÍSTICA .....</b>  | <b>112</b> |
| <b>9. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN .....</b>                                     | <b>115</b> |
| <b>9.1. INSTALACIÓN DE MONO PILOTE Y PIEZA DE TRANSICIÓN.....</b>              | <b>115</b> |
| <b>9.2. INSTALACIÓN DE LA TURBINA .....</b>                                    | <b>119</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>10. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....</b>                       | <b>122</b> |
| <b>10.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....</b>                       | <b>123</b> |
| <b>10.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....</b>                       | <b>123</b> |
| <b>10.2.1 Sistematización del mantenimiento predictivo:.....</b> | <b>124</b> |
| <b>10.2.2 Inspecciones .....</b>                                 | <b>124</b> |
| <b>10.2.3 Condition monitoring .....</b>                         | <b>125</b> |
| <b>10.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO: .....</b>                      | <b>130</b> |
| <b>10.4 ACCESIBILIDAD .....</b>                                  | <b>132</b> |
| <b>10.4.1 Tipos de embarcaciones: .....</b>                      | <b>133</b> |
| <b>10.4.2 Plataformas de acceso.....</b>                         | <b>135</b> |
| <b>11. ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>                              | <b>141</b> |
| <b>11.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN .....</b>                        | <b>141</b> |
| <b>11.1.1 Valor Actualizado Neto.....</b>                        | <b>141</b> |
| <b>11.1.2 Tasa Interna de Retorno .....</b>                      | <b>142</b> |
| <b>11.1.3 Periodo de recuperación .....</b>                      | <b>142</b> |
| <b>11.1.4 Coste medio ponderado del capital (WACC) .....</b>     | <b>142</b> |
| <b>11.2 DATOS DEL PARQUE.....</b>                                | <b>143</b> |
| <b>11.3 COSTES .....</b>   | <b>143</b> |
| <b>11.3.1 Descripción de los costes .....</b>                    | <b>143</b> |
| <b>11.3.2 Costes detallados .....</b>                            | <b>146</b> |
| <b>11.4 INGRESOS .....</b>                                       | <b>147</b> |
| <b>11.5 RESULTADOS.....</b>                                      | <b>148</b> |
| <b>12. BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                    | <b>149</b> |
| <b>ANEXO I.....</b>  | <b>150</b> |
| <b>ANEXO II .....</b>  | <b>161</b> |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ANEXO III ..... | 164 |
| ANEXO IV .....  | 184 |

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. CONTEXTO ENERGÉTICO EN ESTADOS UNIDOS

#### 1.1.1. Contexto energético a nivel general

A modo de introducción es necesario indicar que Estados Unidos es el segundo mayor consumidor energético del planeta solo superado por China en 2009, y que ha sido el mayor consumidor energético desde principios del siglo XX.

| Total energy consumption: US and China (Million tons of oil equivalents) |      |       |
|--|------|-------|
| Year   | US   | China |
| 2000   | 2270 | 1107  |
| 2001   | 2228 | 1104  |
| 2002   | 2254 | 1193  |
| 2003   | 2260 | 1356  |
| 2004   | 2306 | 1576  |
| 2005   | 2317 | 1707  |
| 2006   | 2295 | 1865  |
| 2007   | 2333 | 1977  |
| 2008   | 2281 | 2131  |
| 2009   | 2169 | 2265  |

Figura 1: Tabla de Consumos de Energía (fuente: EIA)

Hace algo más de 10 años el consumo energético en China era aproximadamente la mitad que en Estados Unidos pero el rápido desarrollo del país asiático y la recesión mundial que afectó de forma más severa al país que estamos estudiando, afectó a la actividad industrial y por consiguiente al uso de la energía. (*The World Street Journal*)

La mayor parte de la energía utilizada en Estados Unidos viene de los combustibles fósiles: Aproximadamente el 25% de la energía viene del petróleo, el 22% del carbón y asimismo otro 22% viene del gas natural.

Por otra parte la energía nuclear suple algo menos del 10% al igual que las energías renovables como podemos ver la siguiente figura acerca del flujo energético:

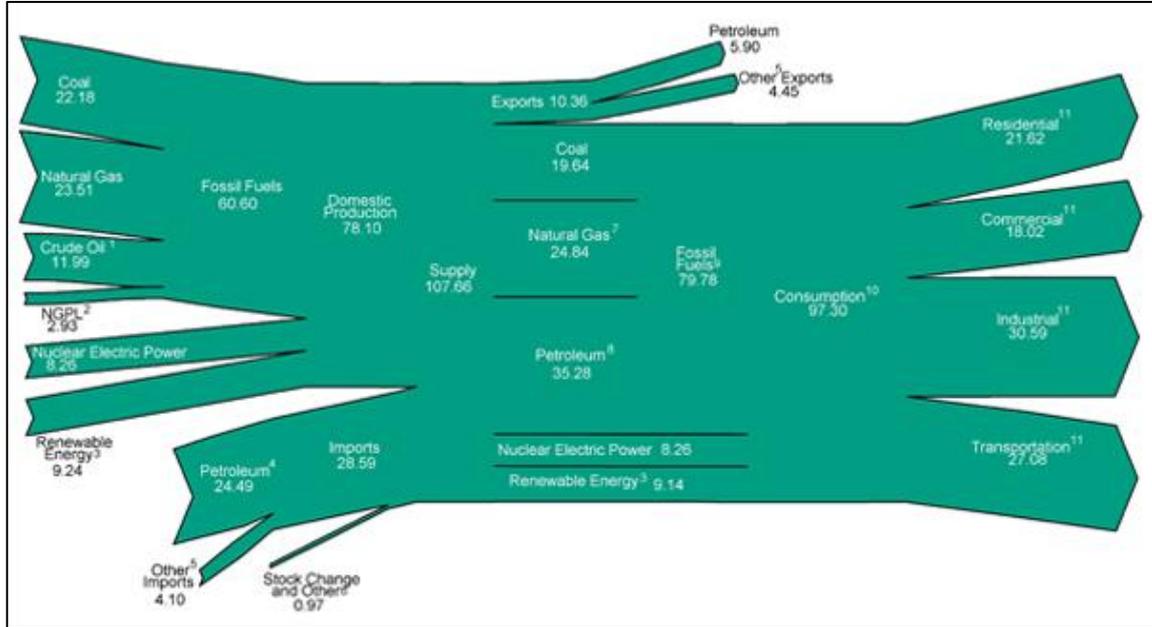


Figura 2. Flujo de energía en los Estados Unidos en 2011 (Cuatrillones de BTU). Fuente: EIA

Como podemos ver casi el total de la energía producida se utiliza para el consumo propio, lo cual es de entender, al ser como hemos mencionado anteriormente el segundo país más consumidor del mundo.

Dentro de este consumo observamos que los porcentajes por sectores están bastante equilibrados en su distribución, habiendo un mayor porcentaje en los sectores del transporte y la industria por encima tanto del sector comercial como del residencial.

En la siguiente página mostramos una tabla con los principales usos de la energía para cada sector, así como la importancia que ocupa cada uno de ellos en cada apartado.

| Nombre del sector  | Descripción   | Usos mayoritarios      |
|--------------------|---|------------------------|
| <b>Industrial</b>  | Instalaciones y equipos utilizados para la producción y procesamiento de productos. | 22% producción química |
|                    |   | 16% refino de petróleo |
|                    |   | 14% refino de metales  |
| <b>Transporte</b>  | Vehículos que transportan bienes/personas por suelo/mar/aire.                       | 61% gasolina           |
|                    |   | 21% diesel             |
|                    |   | 12% aviación           |
| <b>Residencial</b> | Viviendas (hogares privados)  | 32% calefacción        |
|                    |   | 13% agua caliente      |
|                    |   | 12% iluminación        |
|                    |   | 11% aire acondicionado |
|                    |   | 8% refrigeración       |
|                    |   | 5% electrónica         |
|                    |   | 5% lavadoras/secadoras |
| <b>Comercial</b>   | Proveedores de servicios y equipos (empresas, gobierno...)                          | 25% iluminación        |
|                    |   | 13% calefacción        |
|                    |   | 11% enfriamiento       |
|                    |   | 6% refrigeración       |
|                    |   | 6% agua caliente       |
|                    |   | 6% ventilación         |
|                    |   | 6% electrónica         |

Figura 3: Tabla del uso de la energía para cada sector

A continuación, en el siguiente gráfico comenzamos a diferenciar el papel de las energías renovables en el país que es el tema que nos afecta directamente. Como podemos diferenciarla mayor parte de la energía producida de forma renovable se utiliza a modo de electricidad.

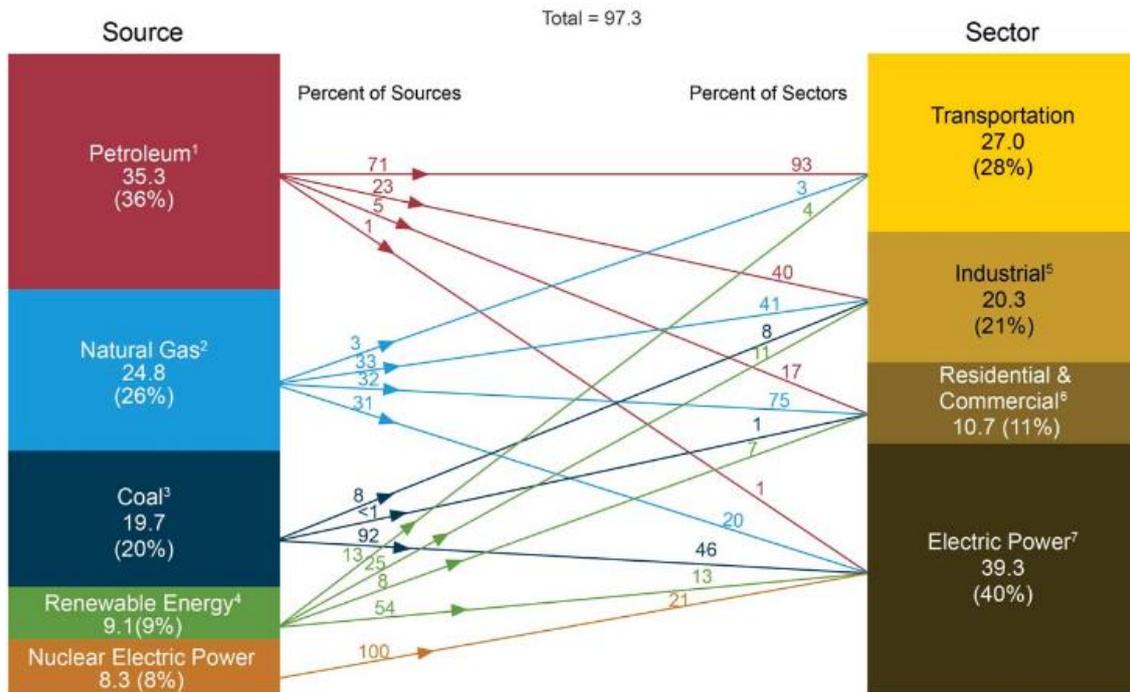


Figura 4. Energía primaria consumida por recurso y sector. Fuente: EIA

Por último cabe decir que el consumo de energía per cápita se ha mantenido a lo largo de los últimos años e incluso ha tenido una dinámica descendente debido no solo a la recesión económica sufrida por el país sino también debido al desarrollo y búsqueda de eficiencia energética.

| Energía total primaria consumida (Millones de Btu por persona) |          |          |          |           |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| País   | 2005     | 2006     | 2007     | 2008      | 2009     | 2010     | 2011     |
| <b>United States</b>   | 339,3431 | 333,9013 | 336,2731 | 326,45997 | 308,2396 | 316,9462 | 312,1469 |
| <b>Canada</b>  | 437,6044 | 423,1387 | 425,8522 | 407,8635  | 391,1077 | 385,0955 | 396,5481 |
| <b>Spain</b>   | 147,4809 | 146,1522 | 149,5391 | 142,18547 | 131,7766 | 134,1647 | 130,3996 |
| <b>Russia</b>  | 194,8248 | 193,9733 | 201,4177 | 208,1032  | 194,3654 | 205,7281 | 229,9304 |
| <b>China</b>   | 52,33248 | 56,95273 | 60,56171 | 64,49649  | 71,29933 | 75,84265 | 82,00652 |

Figura 5: Fuente: EIA

En el gráfico se puede ver la relación entre países que nos resultan representativos para poder diferenciar y entender el consumo energético per cápita de Estados Unidos. Hay que decir que en este aspecto el país solo es superado mundialmente por Canadá y otros pequeños países cuyo consumo energético global es mucho menor. Su consumo es algo menos de tres veces mayor que en España.

En cuanto a la comparación con China cabe decir que a pesar de ser éste el mayor consumidor de energía a nivel global, el consumo energético per cápita es mucho menor que en Estados Unidos como se distingue en la tabla.

Rusia, al igual que Canadá es un país frío que a priori podría rivalizar con los números estadounidenses pero como se puede ver el consumo es sólo algo mayor a la mitad de lo que se consume en el país norteamericano.

### 1.1.2. Contexto energético a nivel renovable

Como hemos visto anteriormente, dentro de Estados Unidos las energías renovables suponen aproximadamente el 9% del consumo energético global.

En el siguiente gráfico diferenciamos el papel que juegan las energías renovables en el país.

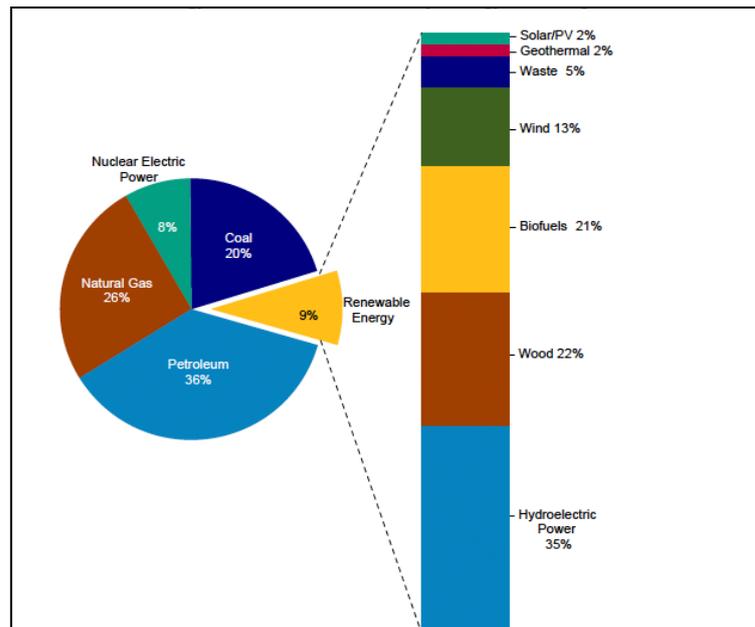


Figura 6. Energía consumida en Estados Unidos (2011). Fuente: EIA

Como podemos ver, dentro de las renovables el mayor recurso aprovechado es el hidráulico, seguido por la madera, biocombustibles, viento y finalmente desechos, recurso geotérmico y solar. Por lo tanto la energía eólica se encuentra en el cuarto lugar en cuanto a aportación renovable dentro de la tarta energética del país con un 13% de participación.

| Año  | Hidro  | Geotermia | Residuos | Madera | Térmica + FV a gran escala | FV en tejados | Eólica onshore | Eólica offshore |
|------|--------|-----------|----------|--------|----------------------------|---------------|----------------|-----------------|
| 2002 | 264.33 | 14.49     | 15.04    | 38.66  | 0.555                      |               | 10.34          | 0               |
| 2003 | 275.81 | 14.24     | 15.81    | 37.53  | 0.534                      |               | 11.19          | 0               |
| 2004 | 268.42 | 14.81     | 15.42    | 38.12  | 0.575                      |               | 14.14          | 0               |
| 2005 | 270.32 | 14.69     | 15.42    | 38.86  | 0.550                      |               | 17.81          | 0               |
| 2006 | 289.25 | 14.57     | 16.10    | 38.76  | 0.508                      |               | 26.59          | 0               |
| 2007 | 247.51 | 14.64     | 16.52    | 39.01  | 0.612                      |               | 34.45          | 0               |
| 2008 | 254.83 | 14.84     | 17.73    | 37.30  | 0.864                      |               | 55.36          | 0               |
| 2009 | 273.44 | 15.01     | 18.16    | 36.05  | 0.9                        | 1.93          | 74.12          | 0               |
| 2010 | 257.08 | 15.67     | 18.59    | 37.61  | 1.28                       | 3.21          | 94.95          | 0               |
| 2011 | 325.07 | 16.70     | 19.79    | 36.95  | 1.81                       | -             | 119.75         | 0               |

Figura 7. Producción de energías renovables en Estados Unidos (TW) (2002-2011)

Como podemos ver en la tabla anterior, salvo la energía obtenida a partir de biomasa, residuos, y geotermia las demás están llevando a cabo un gran proceso de expansión.

Dentro de este proceso, la eólica es la energía que más está creciendo. Como vemos en los últimos 10 años la potencia instalada de esta renovable ha aumentado hasta multiplicarse pasando de 10,34 TW generados a 119,75 GW.

Ahora mostramos el mapa nacional de EE.UU. con el potencial renovable en las diferentes zonas Del país.

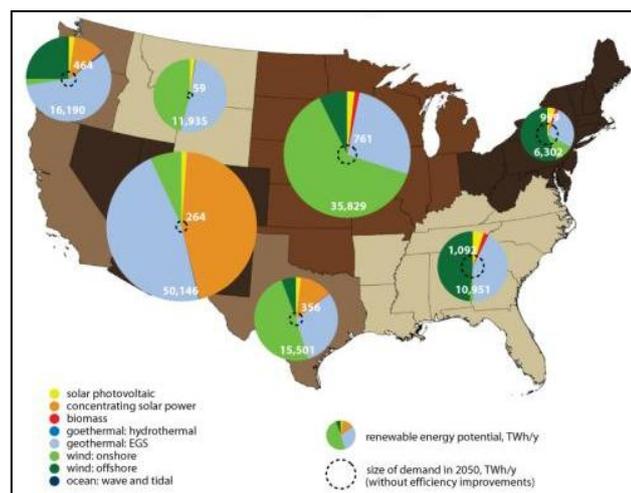


Figura 8. Potencial renovable en Estados Unidos. Fuente: Rocky Mountain Institute

Datos a tener en cuenta del desarrollo de la energía eólica en Estados Unidos:

|   |                  |
|---|------------------|
| Potencia instalada total a finales de 2012                          | 60,007 MW        |
| Potencia instalada en 2011  | 6,819 MW         |
| Potencia instalada en 2012  | 13,131 MW        |
| Potencia en construcción a finales de 2012                          | 43 MW            |
| Potencia instalada en los años anteriores (Incluyendo mini-eólica): |                  |
| 2010  | 5,214 MW         |
| 2009  | 10,000 MW        |
| 2008  | 8,361 MW         |
| 2007  | 5,249 MW         |
| Número de Estados con instalaciones eólicas (2012)                  | 39 + Puerto Rico |
| Número de estados con más de 1000 MW                                | 15               |
| Potencial eólico onshore en Estados Unidos (NREL)                   | 10,400,000 MW    |
| Potencial eólico offshore en Estados Unidos (NREL)                  | 4,150,000 MW     |
| Top 5 con mayor potencia instalada a finales de 2012:               |                  |
| 1. Texas  | 12,214 MW        |
| 2. California   | 5,544 MW         |
| 3. Iowa   | 5,133 MW         |
| 4. Illinois   | 3,568 MW         |
| 5. Oregon   | 3,153 MW         |

Figura 9. Números relevantes de la energía eólica en Estados Unidos. Fuente AWEA

## 1.2. PROYECCIÓN ENERGÉTICA EN ESTADOS UNIDOS

### 1.2.1. Proyección energética a nivel global

A nivel energético global en Estados Unidos podemos resaltar los siguientes puntos:

Continúa el fuerte crecimiento nacional en la producción de petróleo durante la próxima década (en gran parte como consecuencia del aumento de la producción de shale gas) y el aumento de la producción de gas natural. Potencial de incluso un mayor crecimiento de la producción de petróleo bajo condiciones alternativas. La evolución de los mercados de gas natural que estimulan el aumento del uso de éste para la generación de energía eléctrica y transporte y un mercado de exportación de gas natural en expansión.

Además existe una disminución en el consumo de gasolina durante un período importante, lo que refleja los efectos de unas normas de economía de combustibles más estrictas, así como un crecimiento en el consumo de combustible diesel y un mayor uso de gas natural para vehículos pesados. Se aprecia una bajada del crecimiento de la demanda de electricidad y un continuo aumento en la capacidad de generación de electricidad alimentada por gas natural y energía renovable, que cuando se combinan con las regulaciones ambientales suponen cierta presión sobre el uso del carbón en el sector de la energía eléctrica.

A continuación vemos los gráficos más representativos que nos sirven a modo de resumen sobre lo que le espera al sector energético norteamericano de aquí a 2040:

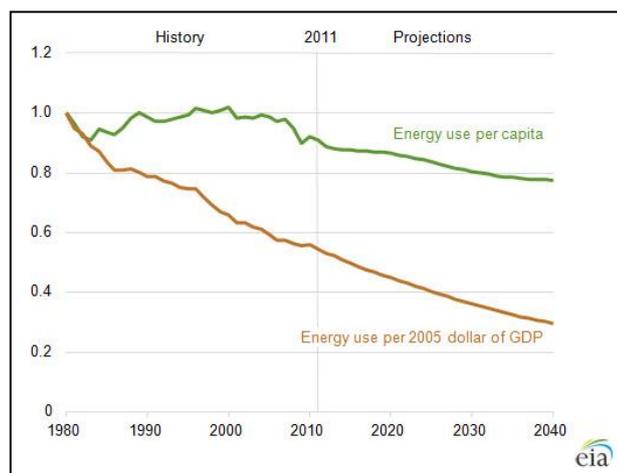


Figura 10. Uso energético esperado per cápita y por dólar de GPD (1980-2040)

Se puede ver claramente como tanto la cantidad de energía demandada así como su coste a nivel general se van a ver reducidos a lo largo de los años, no solo por la disminución en la demanda sino también por el desarrollo de la eficiencia energética.

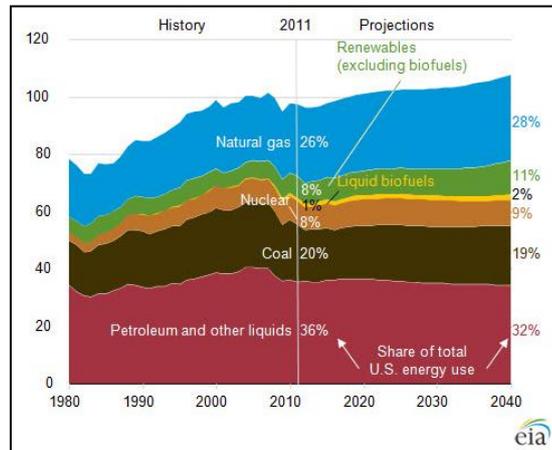


Figura11. Uso energético esperado por recurso (Quadrillion BTU) (1980-2040)

Vemos que tanto el gas natural como las energías renovables son los que tienen una clara proyección ascendente a lo largo de los años. No ocurre así con el petróleo que tiene una clara tendencia descendente al ser un recurso cada vez más escaso y no renovable.

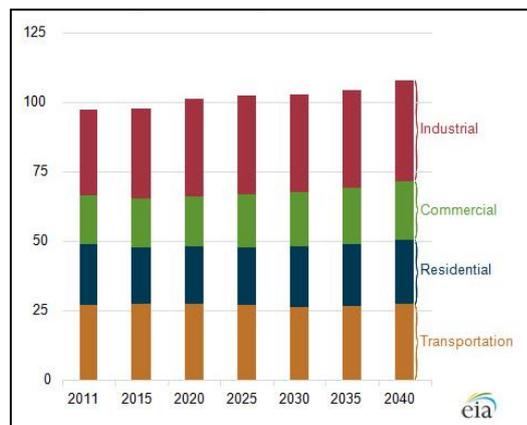


Figura 12. Uso esperado por sector (Quadrillion Btu) (2011-2040)

Las expectativas, en cuanto a la distribución energética para los diferentes sectores, prevén un mantenimiento muy regular hasta 2040.

Las previsiones para la aportación de cada recurso en el sistema eléctrico vemos que sufre una variación más pronunciada, y que como sucedía en el sistema energético general tanto el gas natural como las energías renovables son los que tienen un mayor futuro en este período de tiempo.

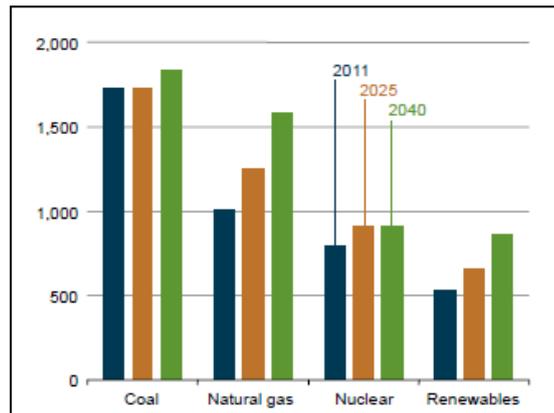


Figura 13. Generación eléctrica por recurso (Billion kWh) (2011-2025- 2040)

El siguiente gráfico nos sirve para corroborar que en Estados Unidos a muy corto plazo (2012-2015) se espera introducir una gran cantidad de potencia eléctrica generada por energías renovables, lo que representa claramente las intenciones de la política energética del país.

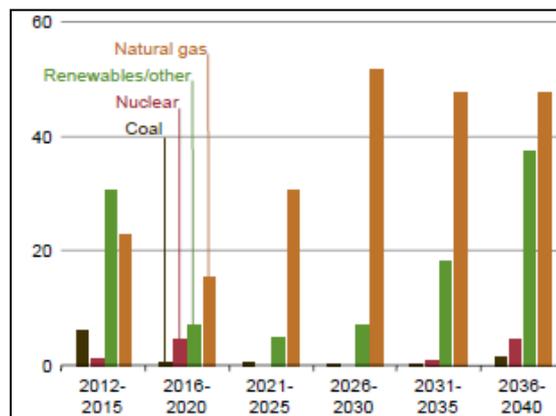


Figura 14. Generación eléctrica por recurso en GW (2012-2040)

Por último tenemos la gráfica que muestra la diferencia de costes de las nuevas plantas de generación eléctrica en función del recurso. Como podemos ver, el tiempo juega un papel favorable para la energía eólica, ya que en comparación con las otras fuentes representadas será posiblemente la más barata.

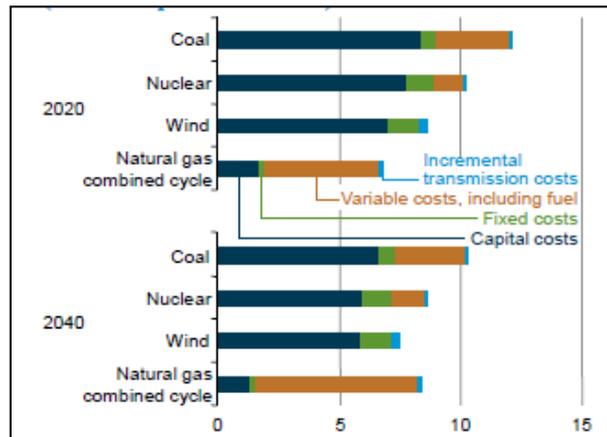


Figura 15. Coste eléctrico de las nuevas plantas de generación en cents/kWh (2020/2040)

### 1.2.2. Proyección energética de las energías renovables

En cuanto a lo que representa exclusivamente a las energías renovables sabemos que la política actual estadounidense se muestra muy favorable con este sector y con el uso de este tipo de energía. El Presidente Obama ha tomado una acción sin precedentes para construir la fundación para una economía de energías limpias, acabar con el problema del cambio climático y proteger el medio ambiente.

"No podemos tener una estrategia energética del siglo pasado que nos atrape en el pasado. Necesitamos una estrategia energética para el futuro. Una estrategia totalmente superior para el siglo XXI que desarrolle cada fuente de energía producida en Estados Unidos". Presidente Barack Obama, 15 de marzo, 2012.

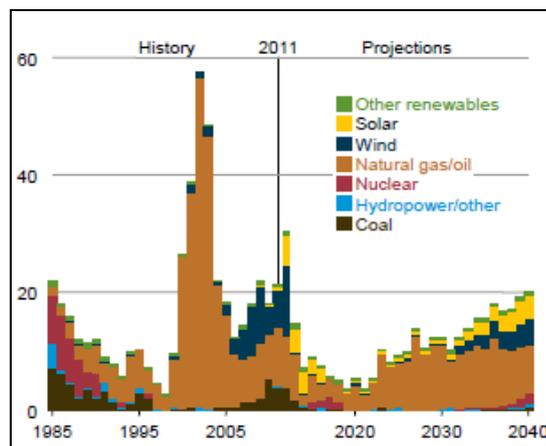


Figura 16. Adición de potencia eléctrica estimada en Estados Unidos (1985-2040)

Tanto en el anterior gráfico como en el siguiente vemos la implementación de potencia eléctrica esperada hasta 2040 de las principales fuentes de energía renovable (solar, eólica e hidroeléctrica).

Como vemos, la generación de electricidad a partir de las centrales hidroeléctricas deja de acrecentar, abriendo paso fundamentalmente a las energías eólica y solar.

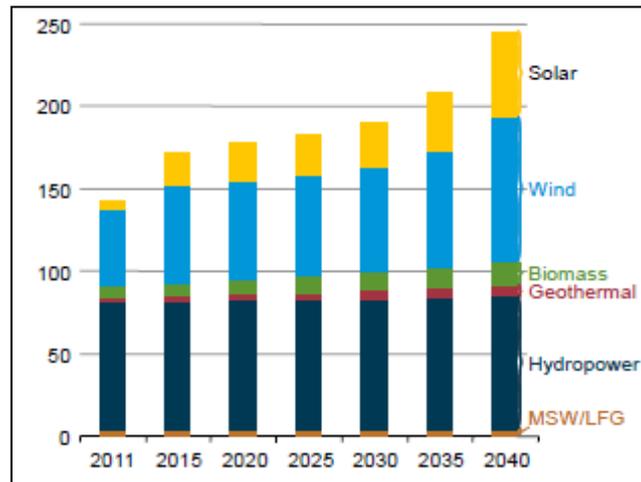


Figura 17. Generación eléctrica renovable estimada en Estados Unidos (GW) (2011-2040)

### 1.3. ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE

#### 1.3.1. Eólica offshore a nivel mundial

El primer parque eólico marino fue instalado en Dinamarca en 1991 (Parque eólico de Vindeby), y desde entonces Europa es el líder mundial indiscutible en este sector.

Tanto la legislación, como unos procedimientos adecuados han ayudado a la expansión de la energía eólica offshore en Europa.



Figura 18. Primer parque eólico offshore del mundo (Vindeby).

Dentro de Europa, Reino Unido tiene con gran diferencia la mayor capacidad de los parques eólicos offshore con más de 1,3 GW seguido por Dinamarca y Holanda.

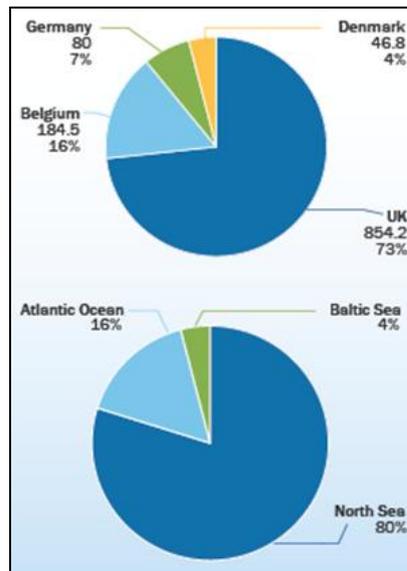


Figura 19. Distribución eólica offshore en Europa. Fuente: EWEA

En 2010 se llegó a tener una capacidad instalada en aguas europeas de 3GW a pesar de que en un primer momento los aerogeneradores tenían una potencia menor a 600 kW, muy distante de la de los aerogeneradores marinos actuales que pueden llegar incluso hasta a 6MW de potencia.

Hasta ahora los dos grandes fabricantes de turbinas eólicas offshore han sido Siemens y Vestas (aproximadamente el 90%, de ahí que en nuestro proyecto vayamos a analizar y estudiar la producción en ambas marcas para posteriormente elegir la turbina que más nos favorezca. A partir de 2013, el parque eólico marino más grande del mundo es el parque “MW 504 Gabbard” en Reino Unido seguido por otro también situado en Reino Unido, aunque seguro que serán eclipsados posteriormente por otros proyectos que se esperan aún mayores.

### 1.3.2. Eólica offshore a nivel nacional

Todavía no existen parques eólicos marinos en Estados Unidos, sin embargo, hay multitud de proyectos desarrollándose en las zonas con buen recurso eólico de la costa Este (en la cual vamos a realizar nuestro proyecto), los Grandes Lagos y la costa del Pacífico.

El interés por la energía eólica en New Jersey ha aumentado notablemente en los últimos años, al igual que a nivel nacional y al igual que en Europa. Esto es en parte de acuerdo al interés social por el uso de las energías y de los recursos renovables. La energía eólica es una de las menos costosas y ayuda a la diversificación de la tarta energética favoreciendo el auto-abastecimiento. Además, la costa de New Jersey ofrece el potencial para una gran cantidad de generación eólica.



Figura 20. Potencial eólico offshore y onshore en New Jersey.

En la imagen vemos como en el caso de New Jersey el potencial onshore es muy escaso, no sucediendo lo mismo en zonas marítimas de costa donde sucede lo contrario. Posteriormente mostramos el mapa de recurso eólico terrestre de Estados Unidos para ver la comparación.

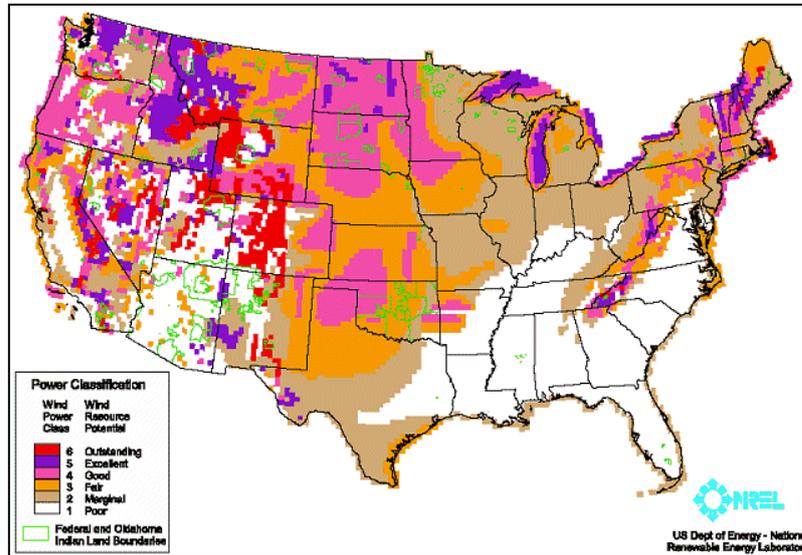


Figura 21. Potencial eólico onshore en Estados Unidos.

Hay que explicar que las zonas con gran potencial eólico marino en Estados Unidos no solo son amplias, sino que se encuentran cercanas a grandes focos de aumento de demanda energética, además de estar en zonas costeras donde se encuentran las regiones más pobladas del país.

### 1.3.3. Desafíos y posibilidades de negocio

Los principales desafíos y consideraciones para los parques eólicos offshore son los siguientes:

Experiencia limitada:

La instalación, solicitud de permisos, construcción y operación de los proyectos eólicos offshore están todavía en proceso de desarrollo. Los equipos, técnicas e infraestructura tienen que ser aún desarrolladas y adaptadas para Estados Unidos.

Ambiente marino:

La estructura hidrodinámica, cimentaciones, la profundidad del agua, rozamiento con el mar y con el aire, olas, mareas, climas extremos, logística de operación y mantenimiento, ambiente corrosivo marino. Estas son las principales preocupaciones sobre el ambiente marino.

#### Infraestructura:

Para operar y construir un proyecto offshore es necesaria una gran infraestructura tanto onshore como offshore: puerto adecuado, flota dedicada para el mantenimiento y construcción de parques, sistema de comunicación, provisiones de rescate adecuadas y personal hábil en el sector.

#### Impacto medioambiental:

Aunque la investigación en este tema está muy avanzada (impacto sobre el hábitat marino, uso aviar y pesca), hay que profundizar al respecto.

#### Estética:

Una preocupación común de acuerdo con cualquier proyecto eólico es la visibilidad. Esto en parte depende del clima y las condiciones del mar, pero una turbina puede ser vista desde más de 20 millas. Este aspecto ha sido definitivo a la hora de cancelar algún proyecto por lo tanto es un aspecto a tener muy en cuenta.

#### Cimentaciones:

Las cimentaciones offshore influyen de manera mucho más significativa para parques offshore que para parques en tierra. La profundidad del agua, las condiciones atmosféricas y la geología del manto son fundamentales a la hora de realizar con garantías un proyecto.

#### Costes:

El coste puede ser de 50 a 100 veces mayor que en un parque onshore. Los costes son mucho más particulares con respecto a cada parque y el riesgo es bastante mayor.

**Mantenimiento y disponibilidad:** Las turbinas pueden estar accesibles un 80% del tiempo en verano o en condiciones favorables y bastante menos tiempo durante otras épocas del año. Como resultado de esto, el mantenimiento de las turbinas necesita mayor tiempo de preparación lo que conlleva una pérdida de producción.

Dentro de los costes, conocemos un informe de un grupo de investigadores, industria y gobierno que pretende reducirlos y hacer esta energía más competitiva en el sector energético:

- Mejora de los modelos de rendimiento de viento, incluyendo la forma en las que las condiciones de diseño y del recurso eólico se ven influidos por la presencia de otros parques eólicos.
- La reducción del peso de los materiales de turbina.
- La eliminación de cajas de cambios problemáticos.
- Controles y estrategias de mitigación de la carga de turbina.
- Turbinas y diseños de rotor para minimizar el daño de huracanes y tifones.
- El modelo económico y la optimización de los costos del sistema de parques eólicos, en general, incluyendo la instalación, operación y mantenimiento.
- Metodologías de servicio, monitorización remota y diagnósticos.

### 1.3.4. Ventajas de la energía eólica offshore

El programa del Departamento de Energía Eólica de Energía de EE.UU. afirma que "la energía eólica diversifica el suministro de energía de la nación, se aprovecha de un recurso interno, y ayuda a que el país cumpla con sus compromisos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que amenazan la estabilidad del clima mundial.

Algunas de las ventajas específicas de la energía eólica incluyen:

Fuente limpia e inagotable de energía:

Una turbina offshore puede desplazar 8.360 toneladas de dióxido de carbono, 44 toneladas de dióxido de azufre y 27 toneladas de emisiones de óxidos de nitrógeno al año que de otro modo se producirían anualmente de las centrales eléctricas convencionales.

Promoción del desarrollo económico local:

La energía eólica proporciona más empleos por dólar invertido que la mayoría de las tecnologías energéticas.

Tecnología modular y escalable:

Proyectos de energía eólica se pueden construir como instalaciones de turbinas individuales o como grandes conjuntos de turbinas conocidas como parques eólicos. En general, las economías de escala favorecen grandes proyectos.

Promueve la estabilización de los precios de la energía:

Por una mayor diversificación de la matriz energética, la energía eólica reduce la dependencia de los combustibles convencionales que están sujetos a la volatilidad de los precios y de la oferta.

Una vez enumeradas las principales ventajas de la energía eólica en general, vamos a ver algunas de las ventajas específicas de la energía eólica marina:

- Los vientos en alta mar son mucho más fuertes. La velocidad media anual del viento a pocos kilómetros de la costa son típicamente de 25 a 40 por ciento más fuerte en relación a las áreas terrestres adyacentes. Esta ventaja de la velocidad se obtiene un aumento de 50 a 75 por ciento en la producción de energía a partir de una turbina de viento.
- Como decíamos antes, existe el potencial en las áreas grandes en desarrollo.
- Los vientos del mar son menos turbulentos. Baja turbulencia significa la producción de energía más eficiente. También se traduce en un menor desgaste de las turbinas y componentes.
- El impacto visual se puede reducir. Dependiendo de la ubicación del emplazamiento, las turbinas pueden ser instaladas lejos de los residentes y de las actividades realizadas en tierra.

### 1.3.5. Fases de desarrollo

El desarrollo de un parque eólico marino consta de las siguientes fases:

Fase de diseño, tramitación y contratación.

Fase de fabricación, instalación y puesta en marcha.

Fase de explotación.

Fase de desmantelamiento.



Estas fases son las que seguiremos a lo largo de nuestro proyecto.

### 1.3.6. Proyectos propuestos

Hay más de 100 proyectos propuestos en Estados Unidos para la instalación de parques eólicos offshore.

Mientras Europa ha estado aumentando su capacidad offshore, Estados Unidos aun no ha desarrollado ningún parque marítimo. Sin embargo hay varios parques que ya han conseguido el permiso de construcción. El proyecto “Cape Wind” y el “Offshore Wind Park” de Long Island son los dos primeros proyectos americanos en recibir los permisos.

En la web “4C Offshore” se puede ver la gran lista de proyectos existentes en Norteamérica:

| 1 2 3 4 5 6   |  |
|---|--|
| Status  | Name   |
|    | Monhegan Island - University of Maine DeepCWind Test Site    |
|    | Keuka 1:125 scale 150kW Rim Drive Prototype                  |
|  | Cape Wind  |
|  | Fishermen's Atlantic City Windfarm Phase I                   |
|  | Galveston Test   |
|  | Offshore Wind Power Systems of Texas Titan Platform          |
|  | Block Island Wind Farm                                       |
|  | Bluewater Wind Rhode Island                                  |
|  | Rio Grande   |
|  | Rio Grande North   |
|  | Apex Virginia Offshore Wind (Virginia Call Response)         |
|  | Arcadia (Virginia Call Response)                             |
|  | Arcadia Offshore (Maryland Call Response)                    |
|  | Arcadia Offshore Massachusetts (Massachusetts Call Response) |
|  | Bluewater Wind (New Jersey Call Response)                    |
|  | Bluewater Wind Delaware                                      |
|  | Cirrus (Virginia Call Response)                              |
|  | Cleveland Project Phase 2                                    |
|  | Condor Wind Energy Mass Call                                 |

Figura 22. Extracto de la lista de proyectos estadounidenses (4COffshore)

### 1.3.7. Futuro de la energía eólica offshore

Se espera que la capacidad de energía eólica marina alcance un total de 75 GW en todo el mundo para el año 2020, con importantes contribuciones de China y Estados Unidos.

Como hemos dicho anteriormente, el Presidente Obama tiene intenciones muy favorables para el futuro de las energías renovables. Todo esto junto con las ventajas mencionadas anteriormente hace que haya grandes esperanzas para la energía eólica offshore en el país.

El Departamento de Energía anunció bajo las órdenes del Presidente la intención de desarrollar 54 GW de potencia eólica offshore para 2030 (lo cual es prácticamente 10 veces la cantidad de lo que hay instalado ya a nivel global) y ha empezado a realizar pequeños pasos para cumplir con este objetivo. En diciembre del año pasado el Departamento de Energía anunció que financiará siete proyectos offshore.

A pesar de los avances y apoyos, hay numerosas críticas por la implementación de este tipo de parques debido a que la tecnología es demasiado cara como para competir con los recursos tradicionales (combustibles fósiles).

Para solucionar esta duda, ciertas administraciones (The Center for American Progress, The Clean Energy States Alliance, The Sierra Club, and The U.S. Offshore Wind Collaborative) han realizado un estudio a partir de una firma de consultoría llamada *Brattle Group* para investigar los costes y beneficios del desarrollo a escala comercial de los parques eólicos offshore en Estados Unidos.

Los resultados mostraron que hay un gran valor en investigar el desarrollo de la energía eólica offshore, más concretamente:

- La inversión necesaria para desarrollar 54 GW podría oscilar entre 18,5 billones y 150 billones de dólares. En comparación, los subsidios a la industria del petróleo 1950-2010 fueron \$369 billones, \$104 billones a la industria del carbón, y \$121 billones a la industria del gas natural.
- El desarrollo se traduciría en un incremento mensual de la tasa promedio para los consumidores estadounidenses que van desde un 0,2% a 1,7% (tan poco como 25 centavos por mes para la factura de electricidad promedio del hogar).
- A pesar de los precios del gas natural en el punto más bajo de todos los tiempos, el coste de la electricidad a partir de energía eólica marina podría ser igual al coste de la electricidad proveniente de turbinas de gas en aproximadamente una década.

## 2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto consiste en el diseño de un parque eólico offshore en la costa Este de los Estados Unidos.

A la hora de realizar el estudio se tendrán en cuenta todo los siguientes factores:

- Consideraciones medioambientales: Relacionadas con las afecciones que producirá nuestro parque sobre las especies naturales que lo rodean, pudiendo llegar a ser en algunos casos determinante o excluyente a la hora de realizar un proyecto.
- Factores legislativos: Todas las leyes que influyen en la instalación de nuestro parque eólico offshore a nivel estatal y federal, así como los agentes reguladores con los que tendríamos que mantener el contacto en el caso de proponer y ejecutar el proyecto.
- Recurso eólico (viento): Técnicamente el factor más importante del estudio, ya que es el más relevante al determinar que éste sea o no viable.
- Factor social.
- Aspecto económico: Incluye el análisis de costes del proyecto así como el estudio de viabilidad y del mercado actual a la hora de contribuir con el desarrollo de las energías renovables.

### 3. EMPLAZAMIENTO

Este estudio se va a realizar en los Estados Unidos. La elección de este país se debe a su posición como potencia mundial y la fortaleza de su economía. Estados Unidos no tiene un solo MW instalado de eólica offshore para 2013, pese a los proyectos en fase de planificación y licitación de permisos ya aprobados. El interés de este país en desarrollar estos proyectos es alto, debido a el elevado coste de energía a corto plazo y los plazos internacionales de energía renovable instalada y reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero, establecidos en el protocolo de Kyoto.

Observando el mapa siguiente, se puede ver que el mayor potencial eólico (color rojo) en la costa, se encuentra en las costas noreste y noroeste del país.

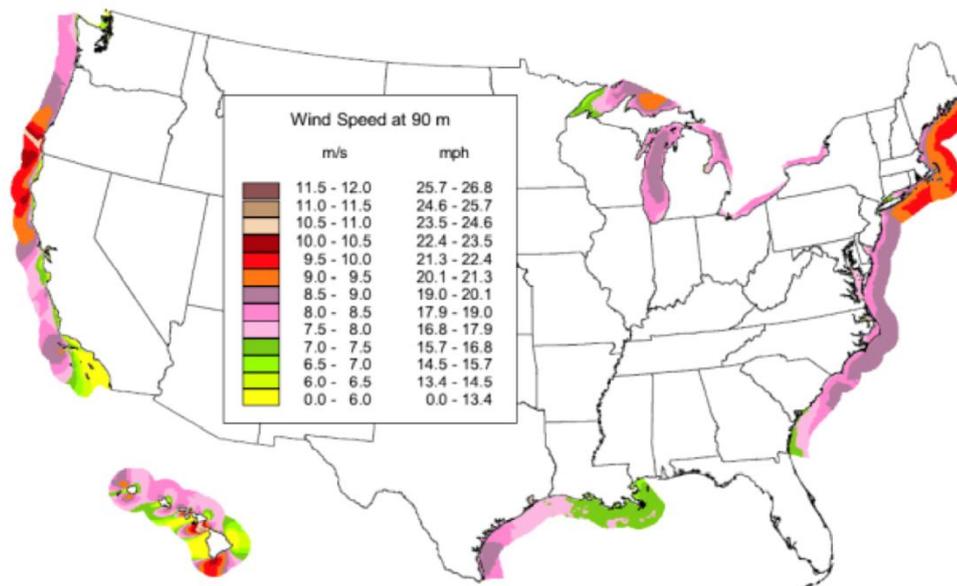


Figura 23: Mapa de los Estados Unidos con la velocidad de viento en la costa

Estados Unidos tiene una capacidad eólica instalada de 60 GW en el año 2012, existe muy poca producción en los estados del este, en parte debido a su gran densidad poblacional, siendo estos los que representan mayor recurso eólico en la costa.

Aquí vemos una oportunidad para solucionar el problema, tenemos las ciudades con mayor población del país en la zona noreste del mismo, pero estas tienen muy baja capacidad eólica instalada con respecto al resto de los estados. Sería ideal desarrollar parques eólicos offshore en estas zonas para aprovechar el alto recurso de viento de la misma y así tratar de minimizar el cargo que representa el sector eléctrico en la economía. Esta disponibilidad de recurso junto con la demanda es uno de los factores influyentes para la elección del emplazamiento.

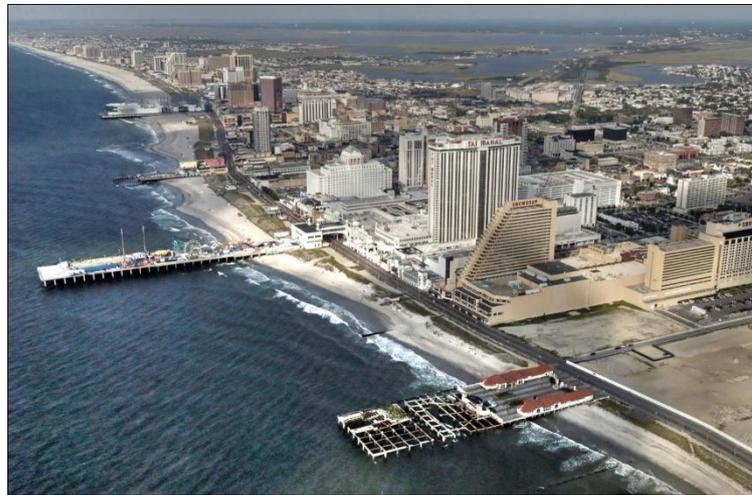


Figura 24: Atlantic City

El estudio será realizado en la costa noreste, en el estado de New Jersey, específicamente en la costa de la ciudad de Atlantic City, una ciudad perteneciente al condado de Atlantic y con una población de 35.770 habitantes.

Este emplazamiento ya cuenta con un proyecto que se espera que arranque en el año 2013, un parque eólico offshore de 330 MW, ejecutado por la compañía Fishermen's Energy en dos etapas.

Dicha área no presenta restricciones medioambientales o militares, y tiene el último permiso necesario para la construcción del parque, por parte del US Army Corp of Engineers. En la siguiente imagen se observa que para la zona la velocidad del viento va entre 8 m/s y 8.5 m/s, a una distancia de 15 km de la costa.

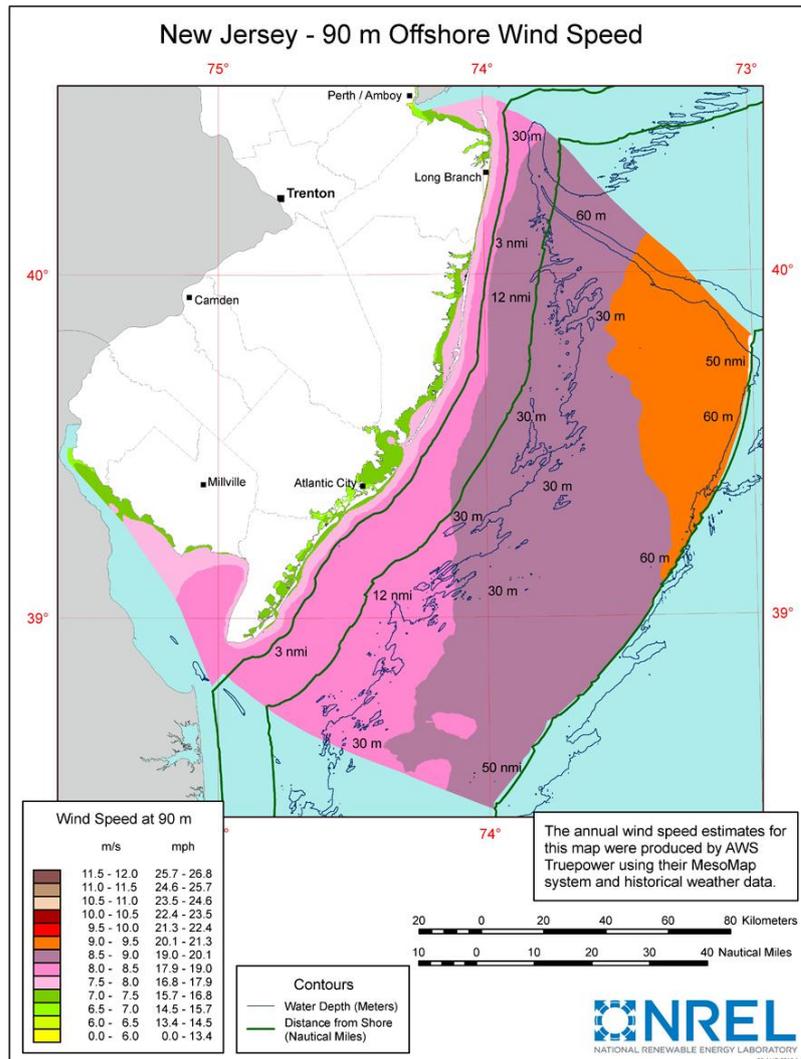


Figura 25: Velocidad de viento offshore en el estado de New Jersey

La instalación del parque se realizará por tanto a unos 15 kilómetros en perpendicular a la costa de Atlantic City en aguas poco profundas (aproximadamente 20 metros) y por lo tanto los aerogeneradores irán cimentados en el fondo marino.

## 4. ESTUDIO FÍSICO DEL EMPLAZAMIENTO

### 4.1 ESTRUCTURA GEOLÓGICA

Estudiar el suelo marino es fundamental para el diseño del parque debido a que es la parte que se encarga de soportar las cimentaciones de los aerogeneradores.

El emplazamiento está situado a 15 km de la costa, por lo que está dentro de la placa continental que tiene una longitud de entre 120 km y 150 km. El suelo marino está compuesto por roca siliciclástica, siendo estas una descomposición de rocas sedimentarias preexistentes que se han vuelto a consolidar en mayor o menor grado. En la época Cretácea se empieza a formar la llanura continental con depósitos de esta roca y lodos.

Toda la información acerca de la estratigrafía de la costa de New Jersey viene dado por cuatro estudios distintos realizados por el *New Jersey Coastal Plain Drilling Project* y el *New Jersey Sea-Level Transect*. Las localizaciones fueron Island Beach con 372 m de profundidad, Atlantic City con 442 m de profundidad, Cape May con 457 m de profundidad y Ocean View con 480 m de profundidad.

Estos estudios puntualizan que para una profundidad de 2 a 12 m el suelo se compone de arena de grosor medio con una concentración de conchas. De 12 a 13 m hay un cambio de arena a arenas más gruesas con una concentración de roca, hasta llegar a arenas con lodo en profundidades de 13 a 15.5 m. Básicamente el suelo con profundidades de 12 m a 15 m es arena rocosa muy gruesa y a partir de los 15 m hasta los 21 m el suelo es arenoso con lodo. A partir de los 120 m y 160 m de costa se produce una gran precipitación asociada al borde de la placa.

## 4.2 CLIMATOLOGÍA

El clima en Atlantic City se clasifica cómo húmedo subtropical. Las características propias que lo definen son:

Veranos generalmente cálidos y húmedos, con una media diaria en Julio de 75,6 °F (24,2 °C). Las medias altas incluso a pocos kilómetros al oeste de Atlantic City superan los 85 °F (29 °C) en julio. Cerca de la costa, las temperaturas superan los 90 °F (32 °C) tan sólo 5 días al año.

Los inviernos son frescos, con una temperatura media en Enero de 35,5 °F (2 °C).

La primavera y el otoño son erráticos, a pesar de que suelen ser leves con baja humedad.

| Summary       |             |                                |            |                                |           |               |                             |            |               |
|---------------|-------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|-----------|---------------|-----------------------------|------------|---------------|
|               | Temp. (°F)  | Relative Humidity (Percentage) |            | Extreme Temp. (Days Per Month) |           | Rain (Inches) | Cloudiness (Days Per Month) |            |               |
|               |             | A.M.                           | P.M.       | Below 32°                      | Above 90° |               | Average                     | Clear      | Partly Cloudy |
| January       | 30.9        | 78%                            | 59%        | 25                             | 0         | 3.5           | 8                           | 8          | 15            |
| February      | 33.0        | 79%                            | 56%        | 22                             | 0         | 3.1           | 8                           | 7          | 14            |
| March         | 41.5        | 77%                            | 54%        | 17                             | 0         | 3.6           | 8                           | 8          | 15            |
| April         | 50.0        | 77%                            | 52%        | 6                              | N/A       | 3.6           | 7                           | 9          | 14            |
| May           | 60.4        | 78%                            | 55%        | N/A                            | 1         | 3.3           | 6                           | 11         | 14            |
| June          | 69.4        | 81%                            | 56%        | 0                              | 4         | 2.6           | 7                           | 12         | 12            |
| July          | 74.7        | 83%                            | 57%        | 0                              | 7         | 3.8           | 7                           | 12         | 13            |
| August        | 73.4        | 87%                            | 58%        | 0                              | 5         | 4.1           | 8                           | 11         | 12            |
| September     | 66.1        | 88%                            | 58%        | N/A                            | 1         | 2.9           | 10                          | 8          | 12            |
| October       | 54.9        | 88%                            | 56%        | 3                              | 0         | 2.8           | 11                          | 9          | 12            |
| November      | 45.8        | 84%                            | 57%        | 13                             | 0         | 3.6           | 8                           | 9          | 13            |
| December      | 35.8        | 79%                            | 58%        | 22                             | 0         | 3.3           | 8                           | 8          | 15            |
| <b>Annual</b> | <b>53.0</b> | <b>82%</b>                     | <b>56%</b> | <b>109</b>                     | <b>18</b> | <b>40.3</b>   | <b>94</b>                   | <b>111</b> | <b>160</b>    |

Figura 26. Historia climatológica de Atlantic City

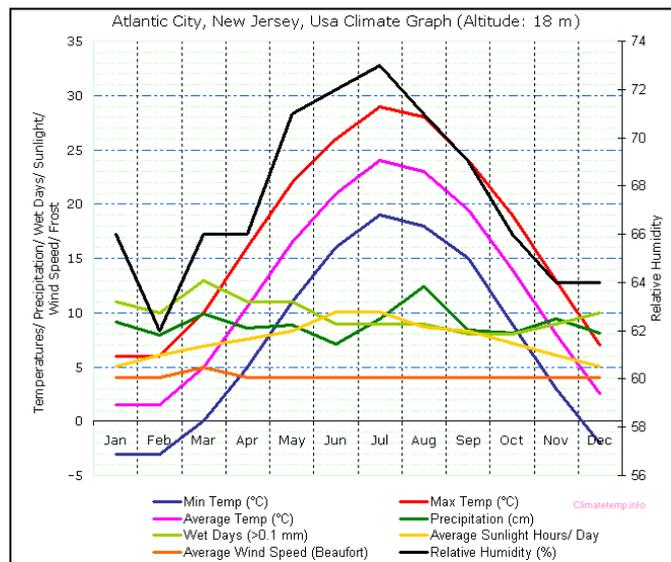


Figura 27. Climatología de Atlantic City

### 4.2.1 Temperatura

Ya hemos hecho previamente un breve análisis sobre la temperatura en Atlantic City, pues bien, ahora vamos a meternos más a fondo en los datos para saber con más precisión a qué nos enfrentamos a la hora de realizar el parque. Sabemos que las temperaturas medias en Atlantic City son las siguientes:

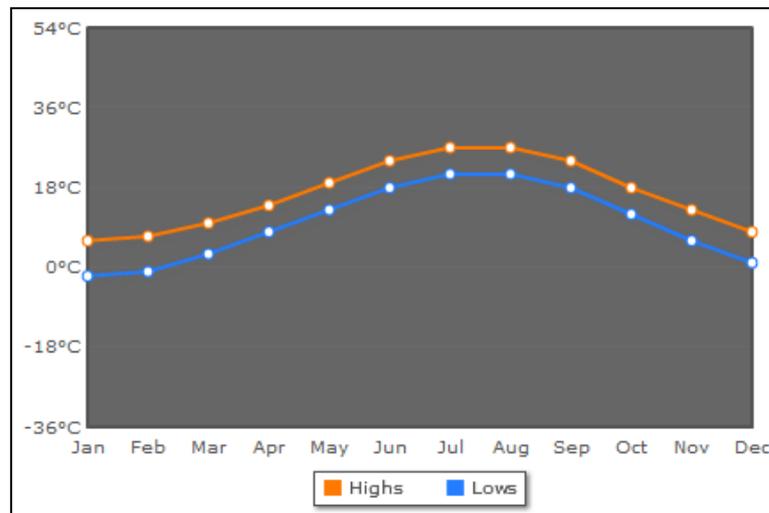


Figura 28. Temperaturas medias en Atlantic City

Posteriormente realizamos un estudio sobre la situación de boyas meteorológicas en nuestra costa. Llegamos a la conclusión de que los datos de temperatura nos los va a dar con mayor precisión una boya ubicada en la costa de Atlantic City cerca de nuestro parque que se puede ver en la siguiente imagen:



Figura 29. Posición de la estación ACYN4 - 8534720. Fuente: NOAA.

A continuación, vemos los datos de temperatura tanto del mar como del aire que nos marca la boya seleccionada:

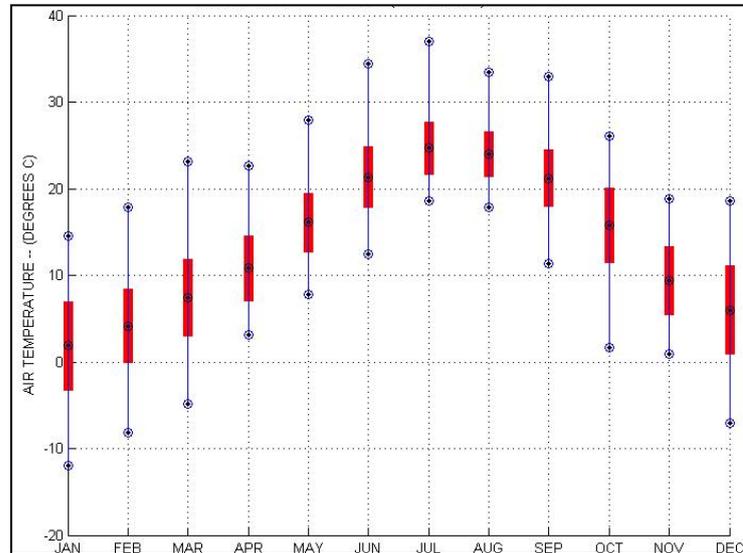


Figura 30. Temperatura del aire Fuente: NOAA.

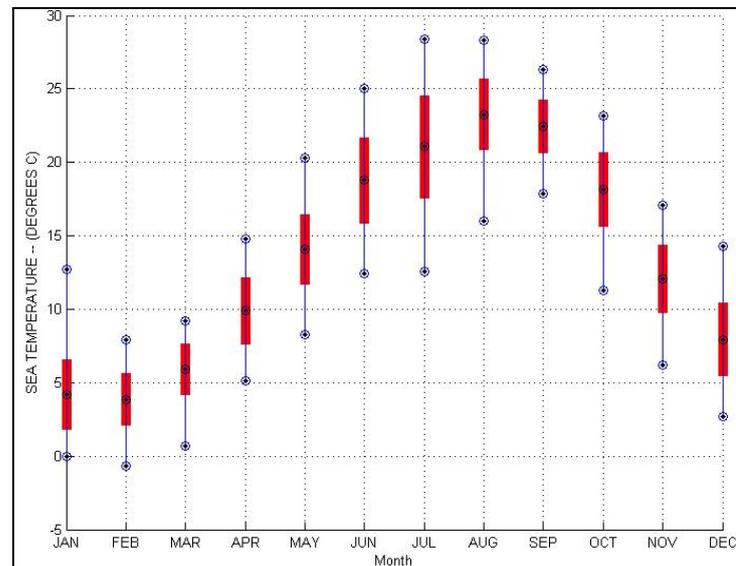


Figura 31. Temperatura del agua. Fuente: NOAA.

#### 4.2.2 Viento

Debido a la ubicación de Atlantic City con respecto a la línea ecuatorial y la región polar, los vientos y el clima imperante en New Jersey y sus aguas costeras inmediatas son controladas principalmente por los grandes vientos del oeste de latitudes medias.

Durante los meses de invierno (de octubre a abril), los vientos predominantes son del noroeste, lo contrario ocurre durante la estación cálida ya que son el sur.

Además, una circulación de brisa marina en pequeña escala a menudo se desarrolla a lo largo de la costa inmediata, conduciendo el clima localizado en períodos de grandes contrastes de temperatura tierra-océano.

En el apartado de diseño ampliaremos el análisis del viento.

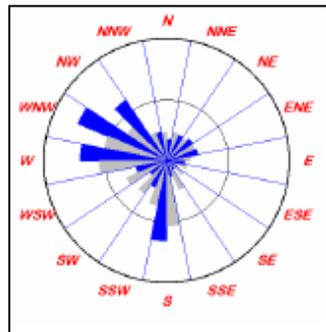


Figura 32. Rosa de los vientos en Atlantic City



Figura 33. Viento a nivel del aerogenerador.

### 4.2.3 Precipitaciones

A continuación se muestran una serie de gráficos relevantes acerca de las precipitaciones en Atlantic City:

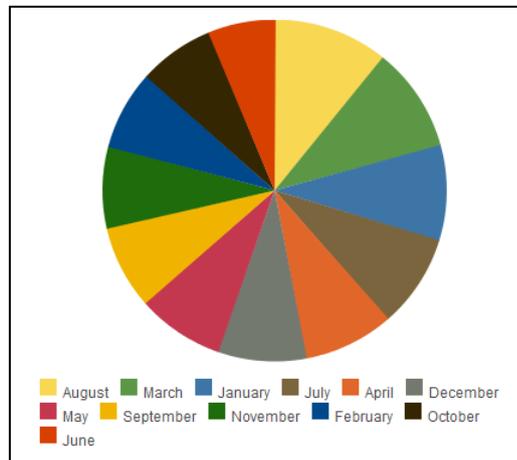


Figura 34. Precipitaciones por mes en Atlantic City

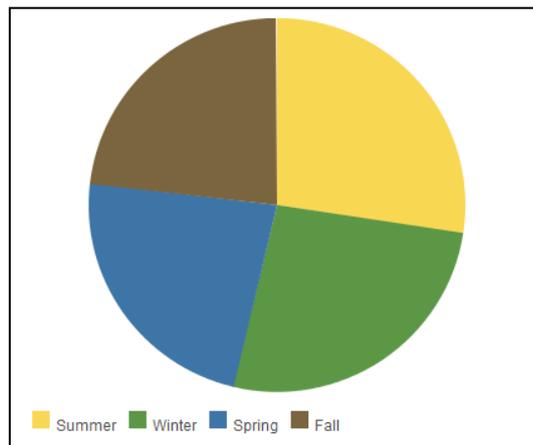


Figura 35. Precipitaciones por estación en Atlantic City

### 4.2.4 Climas extremos

Otros eventos de vientos altos de los últimos cien años se produjeron en 1933, 1936, 1944, 1954 y 1960. Un huracán en New Jersey es un ciclón tropical originario del Océano Atlántico que afecta a este Estado. Debido a su ubicación, unos pocos huracanes han golpeado el Estado directamente, aunque un número elevado ha pasado cerca o a través de Nueva Jersey en su historia.

Según una estimación realizada por el meteorólogo George Prouflis, las posibilidades de un impacto directo de un huracán en la costa de New Jersey cada año es de 1 en 200.

New Jersey ha sufrido los restos de varios fuertes huracanes, algunos provocando como resultado graves daños. Además, numerosos huracanes que permanecieron en alta mar producen un pequeño número de bañistas ahogados.

Los ciclones tropicales afectan New Jersey más durante el mes de septiembre, aunque el estado ha experimentado ciclones tropicales durante el resto de la temporada de huracanes, excluyendo Noviembre.

Las tormentas afectan más al Estado en Septiembre debido al pico de calor en temperaturas del agua. Ninguna tormenta registrada ha afectado New Jersey entre noviembre y mayo.

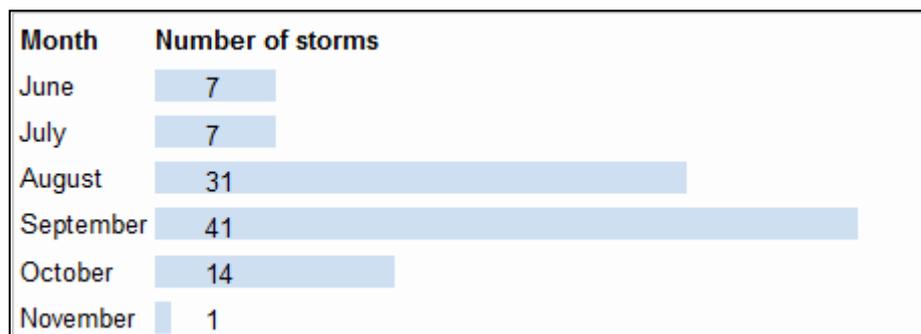


Figura 36. Número de tormentas que afectan New Jersey por mes

A continuación vemos el historial de las tormentas más fuertes que han pasado generando vientos huracanados en New Jersey:

| Nombre                  | Categoría Saffir-Simpson | Día mas fuerte   | Año  |
|-------------------------|--------------------------|------------------|------|
| Gale of 1878            | 1                        | 23 de Octubre    | 1878 |
| 1903 Vagabond Hurricane | 1                        | 16 de Septiembre | 1903 |
| Hurricane Irene         | 1                        | 28 de Agosto     | 2011 |
| Hurricane Sandy         | 1                        | 29 de Agosto     | 2012 |

Figura 37. Tabla de tormentas más fuertes de New Jersey

| Nombre         | Año  | Número de muertes |
|----------------|------|-------------------|
| Sandy          | 2012 | 37 [79]           |
| Sin nombre     | 1806 | 21                |
| Irene          | 2011 | 10                |
| Sin nombre     | 1944 | 9                 |
| Sin nombre     | 1878 | 8                 |
| Floyd          | 1999 | 6                 |
| Felix          | 1995 | 5                 |
| Doria          | 1967 | 3                 |
| Doria          | 1971 | 3                 |
| Bertha         | 2008 | 3                 |
| Edouard        | 1996 | 2                 |
| Gabrielle      | 1989 | 1                 |
| Danielle       | 1992 | 1                 |
| Bertha         | 1996 | 1                 |
| Maria and Nate | 2005 | 1                 |
| Isabel         | 2003 | 1 (1 indirecto)   |
| Donna          | 1960 | 0 (1 indirecto)   |

Figura 38. Huracanes más mortíferos de New Jersey

**4.3 BATIMETRÍA**

La batimetría se encarga de medir la profundidad de una masa de agua, siendo una parte esencial para la implementación de estructuras offshore. Los costes de instalación son directamente proporcionales con la profundidad del agua. La placa continental se extiende aproximadamente 140 km de la costa y la profundidad no es mayor de 30 m. En el emplazamiento donde estará ubicado este parque a 15 km de la costa la profundidad no es mayor que 20 m.

En la siguiente tabla y el mapa próximo se puede ver la relación entre la profundidad y la distancia de la costa.

| Depth Contour (ft) | Average Distance (nm) |
|--------------------|-----------------------|
| 50                 | 4.94                  |
| 70                 | 8.57                  |
| 100                | 18.52                 |

Figura 39: Tabla de profundidad / distancia en la costa de New Jersey

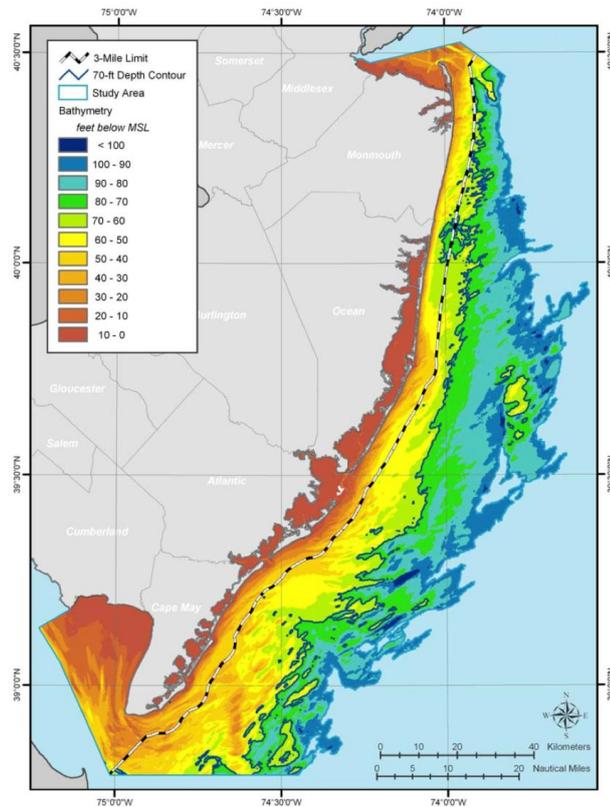


Figura 40: Mapa de profundidad en la costa de New Jersey

#### 4.4 OLAS

Las olas en la costa de New Jersey están compuestas por una combinación de olas generadas por vientos locales con cortos periodos en relación a longitud de onda, y olas provenientes del Norte del Océano Atlántico con largos periodos en relación a longitud de onda. Cuando el viento proviene del oeste o el norte es difícil que se generen olas por viento, contrario a cuando el viento proviene del sur o el este que es muy probable que se generen olas grandes en la región. En nuestro emplazamiento la marea predominante es en dirección sureste.

Siguiendo los patrones de clima año tras año según el *Coastal-Marine Automated Network*, que consiste de una serie de boyas en el área, las condiciones más fuertes ocurren entre los meses de septiembre hasta marzo. En este periodo olas de 2.4 m tienden a aparecer entre el 15% al 25% del tiempo, en aguas profundas. Lo más alto que ha llegado una ola registrada es hasta 12 m en condiciones de tormenta. La siguiente tabla muestra que la media máxima de altura de ola es de 1.4 m,

Con estos datos se puede considerar una buena accesibilidad para una operación ininterrumpida durante todo el año.

| Month            | C-MAN Station |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|------------------|---------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|                  | ALSN6         |     | 44009 |     | 44025 |     | 44001 |     | 44012 |     |
|                  | Mean          | Max | Mean  | Max | Mean  | Max | Mean  | Max | Mean  | Max |
| <b>January</b>   | 1.2           | 3.5 | 1.3   | 3.6 | 1.2   | 3.8 | 1.9   | 4.5 | 1.2   | 3.8 |
| <b>February</b>  | 0.8           | 3.2 | 1.1   | 3.6 | 1.2   | 4.0 | 1.4   | 3.9 | 1.0   | 2.2 |
| <b>March</b>     | 1.2           | 3.5 | 1.6   | 5.3 | 1.6   | 5.8 | 1.3   | 4.1 | 1.4   | 3.3 |
| <b>April</b>     | 1.2           | 3.5 | 1.2   | 3.5 | 1.1   | 1.9 | 1.5   | 4.8 | 1.0   | 3.5 |
| <b>May</b>       | 0.8           | 1.9 | 1.1   | 2.6 | 1.1   | 2.2 | 1.1   | 4.3 | 0.7   | 2.5 |
| <b>June</b>      | 0.8           | 1.6 | 0.7   | 2.2 | 0.8   | 2.0 | 0.7   | 1.5 | 0.9   | 2.5 |
| <b>July</b>      | 0.7           | 1.7 | 1.1   | 2.7 | 1.0   | 2.6 | 1.1   | 3.0 | 0.8   | 2.4 |
| <b>August</b>    | 0.8           | 2.4 | 1.0   | 2.3 | 1.1   | 2.1 | 1.1   | 2.7 | 0.8   | 4.0 |
| <b>September</b> | 0.9           | 2.2 | 1.4   | 5.3 | 1.2   | 4.5 | 1.2   | 3.3 | 0.9   | 2.3 |
| <b>October</b>   | 0.8           | 2.0 | 1.2   | 4.7 | 1.3   | 4.5 | 1.6   | 5.0 | 1.2   | 4.7 |
| <b>November</b>  | 0.8           | 1.6 | 1.2   | 2.7 | 1.2   | 2.7 | 1.9   | 3.9 | 1.1   | 4.2 |
| <b>December</b>  | 0.9           | 2.6 | 1.3   | 3.2 | 1.4   | 3.2 | 1.8   | 7.1 | 1.1   | 2.7 |
| <b>Annual</b>    | 0.9           | 3.5 | 1.2   | 5.3 | 1.2   | 5.8 | 1.4   | 7.1 | 1.0   | 4.7 |

Figura 41: Tabla de variación de olas para el estado de New Jersey

## 4.5 CORRIENTES

La corriente es fundamental a tomar en consideración a la hora de diseñar y ejecutar un parque eólico offshore. Las corrientes pueden transportar sedimentos y afectar las fundaciones por erosión, también pueden alterar el fondo marino y dificultar el transporte de equipos durante la instalación. Existen 5 componentes fundamentales de corriente en esta área de estudio:

1. La contracorriente del norte del Gulf Stream, que consiste de agua fría que fluye suavemente de oeste a suroeste. El Gulf Stream es una corriente originada en la punta de la Florida y recorre todo el este de los Estados Unidos hasta cruzar el Océano Atlántico.
2. Corrientes generadas por viento en la superficie que puede oponerse o ayudar la corriente del Gulf Stream.
3. Una corriente a lo largo de la costa con sentido norte - sur, responsable de transportar arena de playa.
4. Corrientes cortantes que contrarrestan el transporte de agua hacia la playa, se extiende a 1 km de la costa.
5. En casi toda la costa de New Jersey existe una corriente hacia el mar proveniente de los ríos que desembocan en la costa.

Las tres últimas no se extienden más de 1 km de la costa por lo que no son significantes para este estudio. Las otras dos componentes pueden ser predichas por el NOAA y los valores típicos están entre 0.4 y 1.1 nudos. En la siguiente figura se puede observar los valores de corriente para cinco puntos de medida en el área de estudio.

| Station Name                                     | Max Flood Speed (knots) | Max Flood Direction | Max Ebb Speed (knots) | Max Ebb Direction |
|--|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|
| Sandy Hook Channel<br>40° 29.1N 74° 00.1W        | 1.6                     | 286°                | 1.9                   | 094°              |
| Manasquan Inlet<br>40° 06'N 74° 02'W             | 1.7                     | 300°                | 1.8                   | 120°              |
| Barnegat Inlet<br>39° 46'N 74° 07'W              | 2.2                     | 270°                | 2.5                   | 090°              |
| Cape May Harbor Entrance<br>38° 57'N 74° 52'W    | 1.8                     | 333°                | 2.2                   | 150°              |
| Delaware Bay Entrance<br>38° 46.85'N 75° 02.58'W | 1.4                     | 327°                | 1.3                   | 147°              |

Figura 42: Tabla de variación de corriente para el estado de New Jersey

## 4.6 MAREAS

Las mareas son las que llevan las corrientes a lo largo de la costa, y es necesario su estudio ya que influyen a la hora de instalar la turbina y acceso a el emplazamiento. A lo largo de la costa el rango de marea es entre 1.2 m a 1.8 m con cambios semidiurnos. Estos valores no serán un obstáculo al llevar a cabo la instalación o el mantenimiento del parque. Existen 3 estaciones para referencia de mareas que son: Sandy Hook, Atlantic City y Cape May, en las siguientes tablas se expone su ubicación y los rangos de marea.

| No. | Station                     | Type        | Latitude   | Longitude    |
|-----|-----------------------------|-------------|------------|--------------|
| 1   | Sandy Hook, NJ              | Reference   | 40° 28'N   | 074° 00.6' W |
| 2   | Manasquan Inlet, NJ         | Subordinate | 40° 06.1'N | 074° 02.1'W  |
| 3   | Barnegat Inlet, NJ          | Subordinate | 39° 45.4'N | 074° 7.7' W  |
| 4   | Atlantic City, NJ           | Reference   | 39° 21'N   | 074° 25'W    |
| 5   | Cape May Ferry Terminal, NJ | Reference   | 38° 58.1'N | 074° 57.5'W  |
| 6   | Cape Henlopen, DE           | Subordinate | 38° 48' N  | 075° 05'W    |

Figura 43: Tabla de la ubicación de las boyas en el estado de New Jersey

| Station                     | Mean Range (ft) | Spring Range (Ft) | Mean Tide Level (Ft) |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|----------------------|
| Sandy Hook, NJ              | 4.66            | 5.6               | 2.53                 |
| Manasquan Inlet, NJ         | 4.0             | 4.8               | 2.18                 |
| Barnegat Inlet, NJ          | 2.44            | 2.9               | 1.36                 |
| Atlantic City, NJ           | 4.09            | 4.95              | 2.2                  |
| Cape May Ferry Terminal, NJ | 4.92            | 5.81              | 2.62                 |
| Cape Henlopen, DE           | 4.1             | 4.9               | 2.2                  |

Figura 44: Tabla de variación de marea para el estado de New Jersey

## 4.7 INFRAESTRUCTURAS

Tras un análisis de las infraestructuras existentes podemos decir que nuestra zona de trabajo se encuentra libre de todo obstáculo, al Norte existen cables de comunicación, siendo en esta zona dónde además se concentra la mayoría del tráfico marítimo.

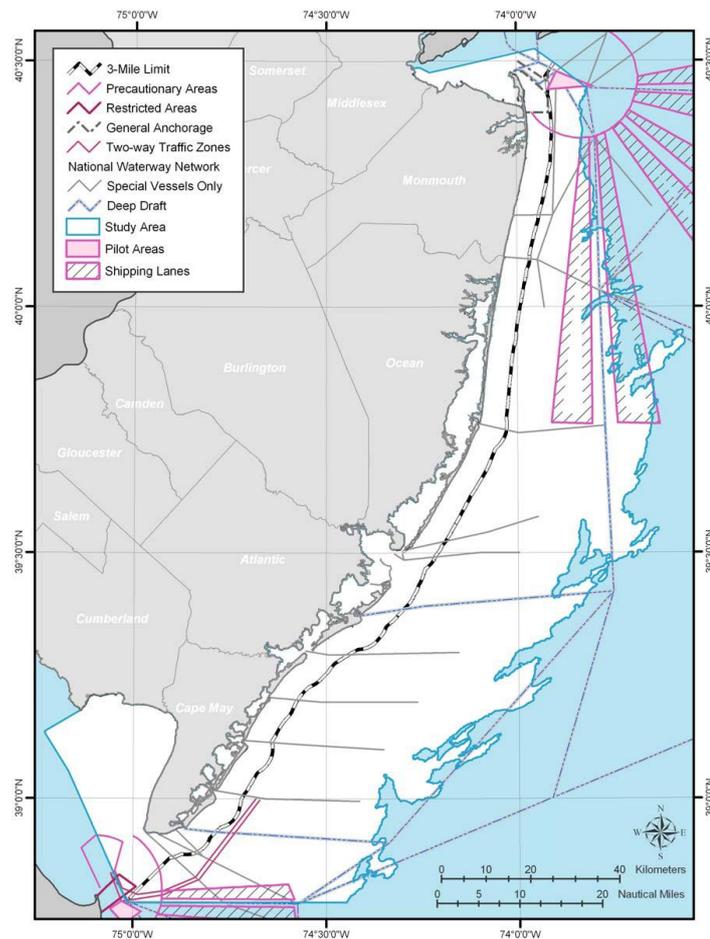


Figura 45. Zonas de tráfico marítimo (fuente: Atlantic Renewable Corp.)

## 4.7 FACTOR SOCIAL

La oposición pública ya ha descarrilado proyectos eólicos terrestres en todo el mundo, y aunque la mayoría de los proyectos de Estados Unidos (ya sea en tierra o mar) no requeriría de la aprobación ciudadana en sí, esta opinión puede entrar en el proceso político e influir tanto en los líderes políticos como en sus decisiones.

Sabemos que los aerogeneradores offshore son menos molestos que las turbinas en tierra, ya que su tamaño aparente y el ruido es mitigado por la distancia.

Una encuesta de 2006 de la Universidad de Delaware, cerca de la propuesta de desarrollo de Cape Wind encontró que los residentes con más frecuencia basan sus decisiones a favor o en contra del parque eólico diferenciando los efectos percibidos en la vida marina, el medioambiente, las tarifas eléctricas, la estética, la pesca y la navegación.

Gracias a la creación local de empleo, el desarrollo de nuevas actividades económicas y la poca perturbación del medio, los habitantes de Atlantic City ven favorablemente el desarrollo eólico.

Como base de referencia tenemos un estudio que se hizo también en la costa de Atlantic City en el proyecto denominado “Fishermen’s Energy Project” acerca de un proyecto eólico offshore que diseña la implementación de un parque a 3 millas de la costa.

La ubicación de este parque es considerablemente más cercana a la nuestra, por lo que sabemos que la aceptación social aumentaría notablemente en nuestro caso.

Los encuestados mostraron un nivel relativamente alto de conciencia y conocimiento acerca de las turbinas eólicas. El 90% del total de encuestados afirma ser consciente de la energía eólica. De estos, un 60% de este se siente muy o bastante informado sobre las turbinas de eólicas offshore.

Tras mostrar el diseño de las imágenes de las turbinas offshore a 3 millas de la costa se determinó que el 75% de los encuestados están a favor de la instalación. En una encuesta que se hizo en 2006 únicamente el 38% de los encuestados estaba a favor, luego se puede decir que cada vez el factor social es más favorable.

Únicamente el 4% de los visitantes encuestados reconocen que dejarían de visitar con más frecuencia la costa de Atlantic City cuando en 2006 el número era considerablemente mayor (30%).

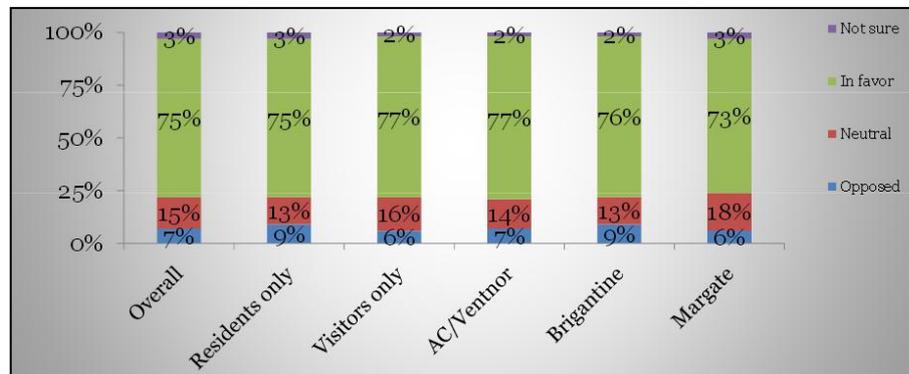


Figura 46: Factor social (Fishermen's energy Project)

Como conclusión final y tras observar el anterior gráfico, vemos que las condiciones sociales para implementar un parque eólico a 3 millas de la costa son muy favorables, luego en nuestro caso donde el parque se encontraría a 15 km. que corresponde aproximadamente a 4 veces la distancia estudiada, la receptividad de los habitantes de la zona sería notablemente mayor.

## 5. ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL

A continuación presentamos a debate los potenciales impactos relacionados con la construcción y operación del parque eólico marino en nuestra zona de estudio. En este caso valoraremos los cambios temporales o permanentes debidos a las distintas fases del desarrollo. El análisis de los impactos e parques offshore lleva estudiándose desde hace años en Europa, tomaremos como ejemplo Horns Rev, situado en Dinamarca, que se encuentra a una distancia de la costa similar a la nuestra.

### 5.1 LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Los parques eólicos marinos son una de las bazas de futuro con las que contamos para el desarrollo limpio, pero pese a todas las ventajas que tiene su desarrollo, hay que estudiar muy de cerca los diversos efectos que pueden tener sobre el medio que los rodea. Las evaluaciones de impacto ambiental nacen en EE.UU. en 1969 y realizan los análisis necesarios para determinar la idoneidad del emplazamiento de un parque, evaluando los efectos que provoca sobre el medio natural.

### 5.2 LEGISLACIÓN

Legalmente debemos atenernos a la legislación estadounidense, en primer lugar siempre veremos que leyes federales nos afectan para luego pasar al nivel estatal. La *Energy Policy Act* de 2005, ya determina que el Servicio de Explotación Mineral dependiente del Departamento de Interior será el que primero autorice un proyecto de energías renovables en Estados Unidos. Tras él se deberán consultar a las diferentes agencias estatales involucradas.

Describimos a continuación la regulación federal que afecta a los proyectos de este tipo:

*“Energy Policy Act”*

La Ley de Política Energética proporciona garantías de préstamo para las entidades que desarrollan o utilizan tecnologías innovadoras que eviten el incremento de gases de efecto de invernadero. En materia de las energías renovables, la ley establece que el gobierno federal aumente su uso de energía renovables hasta un 7.5% en el 2012 y contiene, incentivos programas y disposiciones de la insularidad, la biomasa, la producción de energía hidroeléctrica y geotérmica.

*“Outer Continental Shelf Lands Act”*

Regula el arrendamiento y establece las servidumbres de paso para los terrenos situados en la plataforma continental Americana.

*“National Environmental Policy Act”*

Exige la realización de Evaluaciones de Impacto Ambiental para la evaluación de los impactos producidos por parte de cualquier acción autorizada sobre el medioambiente, valorando además distintas opciones y medidas compensatorias.

*“Endangered Species Act”*

El propósito de la Ley de Especies en Peligro de Extinción es proteger y recuperar especies en peligro y de los ecosistemas de los que dependen. Es administrado por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos y el Departamento Nacional de Comercio de Pesquerías Marinas.

*“Marine Mammal Protection Act”*

La Ley de Protección de Mamíferos Marinos fue promulgada en respuesta a la creciente preocupación entre los científicos y el público que las disminuciones significativas en algunas especies de mamíferos marinos fueron causadas por las actividades humanas y prohíbe, con algunas excepciones, la captura de los mamíferos marinos en aguas de los Estados Unidos y la importación de mamíferos marinos y productos de mamíferos marinos en los EE.UU.

*“Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act”*

Obliga a la administración a preguntar a la National Marine Fisheries Services sobre los hábitats de la zona involucrados para poder proteger todas aquellas zonas de cría, desarrollo y maduración de especies piscícolas importantes.

*“Marine Protection, Research and Sanctuaries”*

Prohíbe, con determinadas excepciones, el transporte y vertido de basuras, escombros, materiales de relleno o dragados en el océano sin la autorización de la Agencia de Protección del Medioambiente.

*“National Marine Sanctuaris Act”*

Prohíbe la destrucción pérdida o daño a cualquier área protegida por la ley, además exige del preceptivo permiso federal para trabajar sobre áreas de este tipo.

*“Migratory Bird Treaty Act”*

Prohíbe la caza, transporte o daño a las especies de aves, incluidos sus huevos, nidos o crías exceptuando las especies que dicta la administración.

*“Responsabilities of Federal Agencies to Protect Migratory Birds”*

Protege a las especies migratorias de daños, pudiendo tomarse acciones concretas en caso de especies de interés.

*“Coastal Zone Management Act”*

Tiene como objetivo asegurar que las actividades federales son consistentes con los programas estatales para la protección y, cuando sea posible, la mejora de las zonas costeras de la nación.

*“Clean Air Act”*

Prohíbe a la administración a financiar o dar licencia a proyectos que no cumplan los requisitos de los estándares nacionales de calidad del aire.

*“Clean Water Act”*

Establece la estructura básica para la regulación de la descargas de contaminantes en aguas de los Estados Unidos y regula la calidad de las aguas superficiales. Bajo la esta ley, la EPA ha desarrollado programas de control de la contaminación, tales como el establecimiento de normas de aguas residuales para la industria y los estándares de calidad para todos los contaminantes en las aguas superficiales. Además declara ilegal la descarga de cualquier contaminante de cualquier fuente puntual en aguas navegables.

*“Ports and Waterways Safety Act”*

Autoriza a la USCG a controlar, vigilar y supervisor el tráfico marítimo para la protección de las propias embarcaciones y el medio ambiente.

*“Marking of Obstructions”*

La USCG señalará y registrará cualquier pecio u obstáculo situado en las vías marítimas de la plataforma continental.

*“Rivers and Harbors Appropriation Act”*

Revisión y regulación de estructuras y trabajos en las aguas navegables de los Estados Unidos.

*“Marine Debris Research, Prevention and Reducción Act”*

Establece programas para identificar, evaluar, reducir y prevenir los desechos marinos y sus efectos sobre el medio marino y la seguridad de la navegación.

### 5.3 LOCALIZACIÓN

La costa de Nueva Jersey, con sus numerosas bahías es conocida por su abundante riqueza natural. En estas aguas podemos encontrar gran número de especies protegidas, migratorias, raras, algunas en peligro o amenaza... Además Nueva Jersey es cruzada por numerosas aves y mamíferos marinos en sus rutas de migración.

Evidentemente no tendría sentido designar como área de trabajo una zona protegida ambientalmente, estaríamos abocados al fracaso desde el minuto cero, por tanto lo primero es delimitar que zonas son aptas para albergar nuestro emplazamiento desde el punto ambiental.

Nuestra zona de trabajo se encuentra a pocos kilómetros de la costa frente a Atlantic City, es una zona poco conflictiva puesto que no hay zonas protegidas muy próximas, únicamente cabe destacar las rutas migratorias que pasan por la costa ya sea de aves, peces o mamíferos.

La zona de Nueva Jersey y Delaware cuenta con numerosas zonas protegidas ambientalmente, en los siguientes mapas las mostramos.

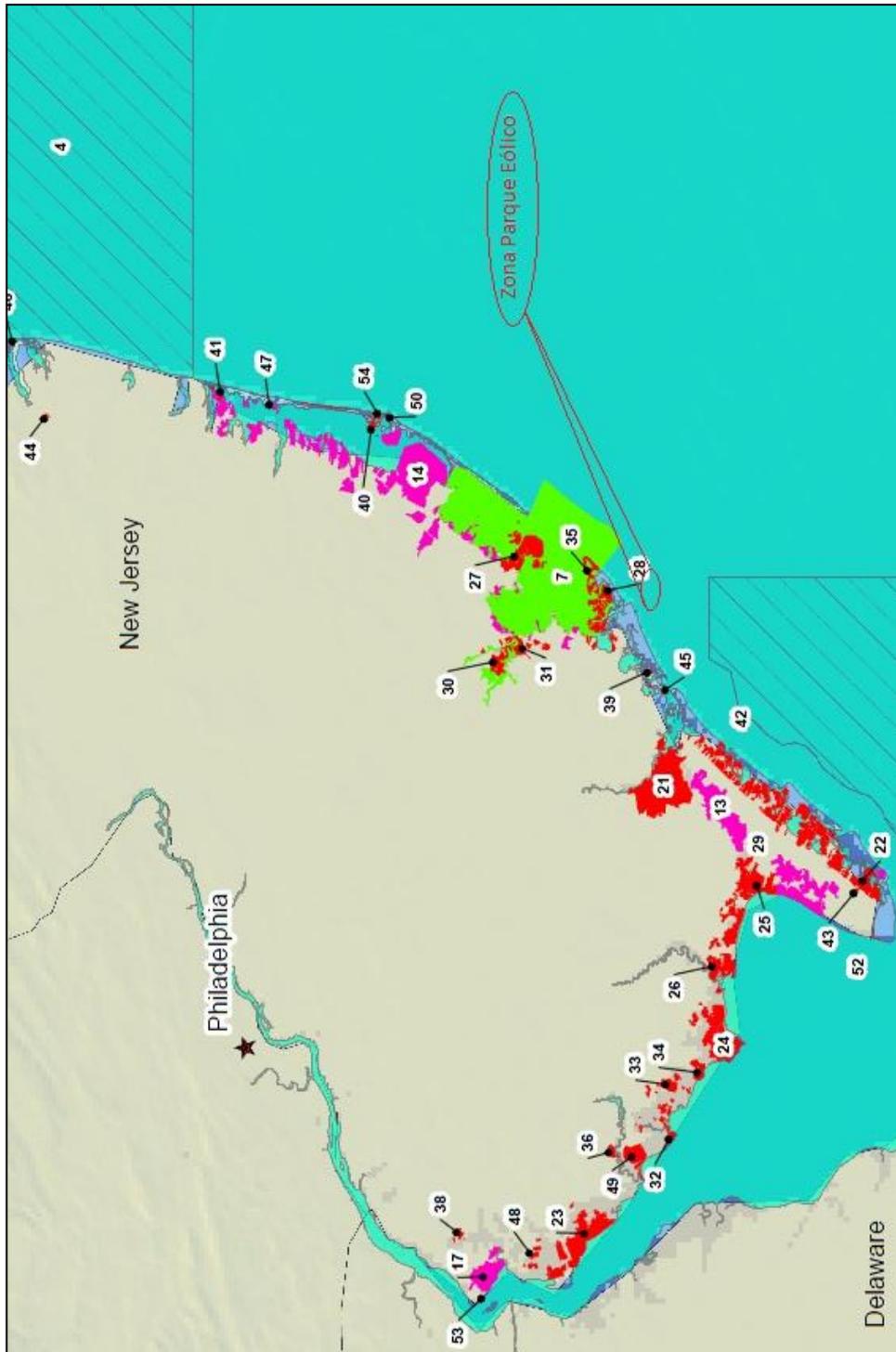


Figura 47: Zonas de protección especial (fuente:US Environment Protection Agency)

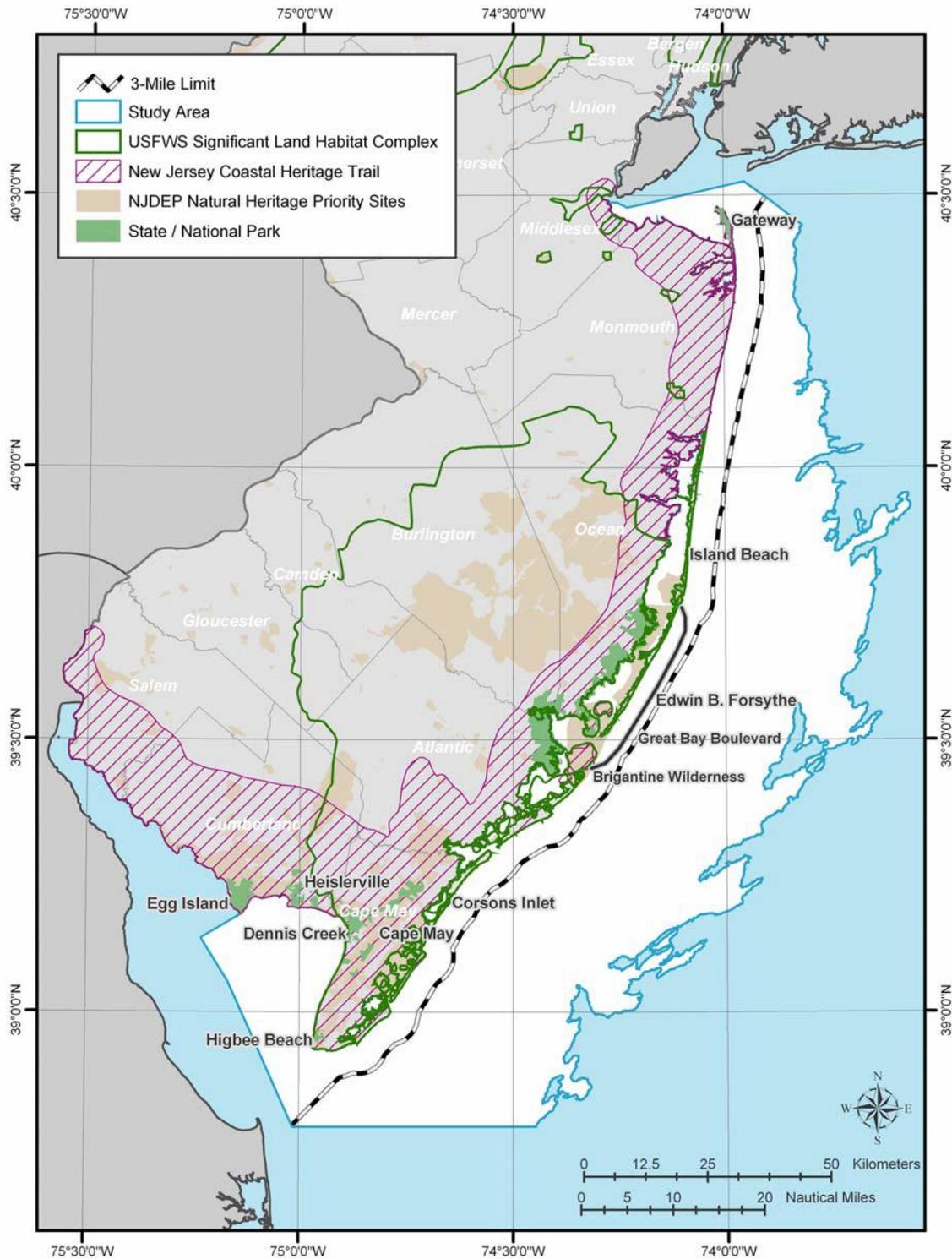


Figura 48: Zonas protegidas en la costa de Nueva Jersey (fuente: Atlantic Renewable Corp.)

## 5.4 INVENTARIO AMBIENTAL

### 5.4.1 Suelos

Tras el análisis del fondo marino realizado en los apartados iniciales de este estudio determinamos que la naturaleza de estos fondos es mayormente arenosa, con presencia de rocas en el lechoa grandes profundidades y con la ausencia total de accidentes importantes como fosas o volcanes.

### 5.4.2 Aguas

Es evidente que en el océano el agua es el elemento más importante. Las aguas costeras de Nueva Jersey son de una calidad aceptable si bien se ven afectadas por los vertidos urbanos, principalmente destaca la contaminación con origen en el río Hudson, y los vertidos procedentes de aguas contaminadas con residuos agrícolas, químicos y orgánicos. En los últimos años el Estado está desarrollando un ambicioso programa para la instalación de estanques de tormentas por parte de los pequeños propietarios como forma de depurar estas aguas, eliminando los componenetes tóxicos que arrastra.

### 5.4.3 Fauna

#### ESPECIES PISCÍCOLAS

Especies administradas federalmente

Existen un gran número de especies comerciales en estas aguas que están protegidas por la administración, esta define unas zonas determinadas para el desarrollo completo de estas especies durante sus diferentes estadios biológicos. Algunas de estas especies comerciales son el rape (*Lophius piscatorius*), la platija (*Pleuronectes sp.*), el róbalo negro (*Centropomus nigrescens*), la caballa (*Scomber scombrus*), el atún (*Thunnus sp.*) y un diferente número de tiburones (Cl. Selacimorfos)

Existen en estas aguas dos especies protegidas federalmente: el salmón atlántico (*Salmo salar*) y el esturión chato (*Acipenser brevirostrum*). Estas especies viven entre dos aguas, durante sus fases juveniles en las dulces y la fase adulta en los mares.



Figura 49: Esturión chato (fuente:wikipedia)

La legislación estatal de Nueva Jersey protege a otras dos especies amenazadas: el sábalo (*Alosa sapidissima*) y la corvina (*fam. Sciaenidae*). Esta última es conocida por su resistencia a la contaminación del cercano río Hudson.

#### *Censo de especies*

Durante los años 95 y 96 se realizaron diferentes proyectos costeros que precisaron del estudio de las especies presentes en estas aguas, por ello se realizaron diferentes estudios que mostraron las diferentes poblaciones de peces en estas aguas. Se descubrió una gran diferencia dependiendo de la profundidad muestreada y de la época del año, hecho que confirmaba el paso de especies migratorias por estas aguas.

La zona con mayor diversidad se encuentra en el Norte del Estado, alejado de nuestra zona de trabajo.

#### *Especies comerciales*

Tal y cómo se ha dicho en el apartado anterior, nos encontramos en unas aguas ricas en fauna y a ese número de especies protegidas le corresponde un número mayor de especies comerciales no protegidas pero en las que hay que poner atención debido a la riqueza que aportan a la balanza comercial en Nueva Jersey.

#### INVERTEBRADOS

Existen varias especies diferentes de valor comercial a tener en cuenta: Cornicha (*Spisula solidissima*), chirla mercenaria (*Mercenaria mercenaria*), langosta americana (*Homarus americanus*) cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) y varias especies de calamares (*O. Teuthida*) La especie más importante por su valor y volumen de captura es la cornicha que se encuentra a poca profundidad en las zonas más próximas a la orilla, la mayoría de las otras especies prefiere aguas más profundas para su desarrollo. La captura de estas especies durante los años 2000 a 2002 tuvo un valor aproximado de 250 millones de dólares.

#### REPTILES Y ANFIBIOS

Existen varias especies de tortugas marinas con ruta migratoria próxima a nuestra zona de actividad. Las especies más amenazadas son aquellas que gustan de aguas poco profundas y estuarios como por ejemplo la imponente tortuga laúd (*Dermodochelys coriácea*), la tortuga bastarda (*Lepidochelys kempii*) o la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*)

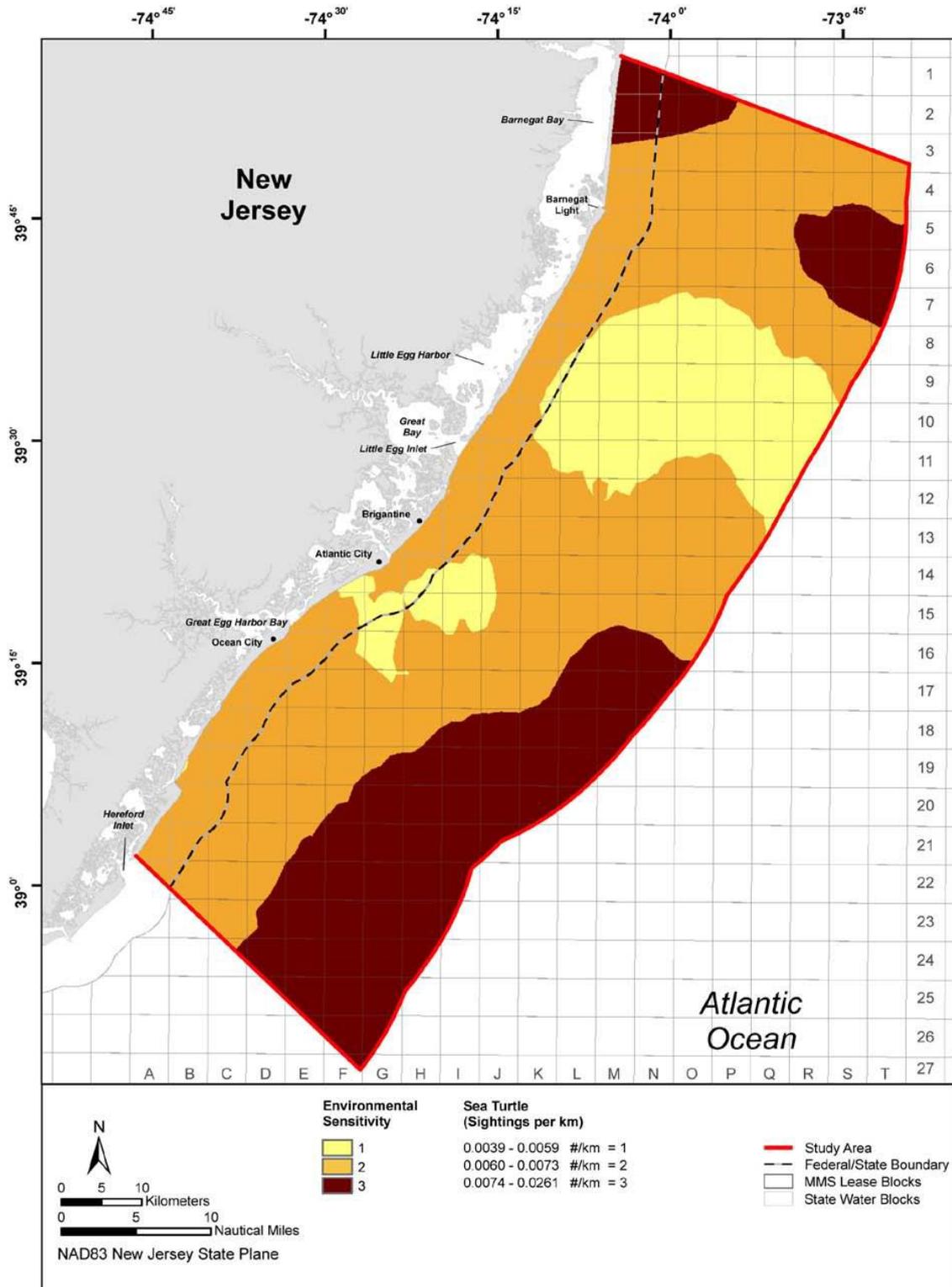


Figura 50: Presencia de tortugas en Nueva Jersey (fuente: Atlantic Renewable Corp.)

### MAMÍFEROS MARINOS

Todas las especies de mamíferos marinos se consideran amenazadas y por tanto protegidas por las leyes federales. Al igual que con las tortugas esta zona se considera de paso migratorio siendo cada vez más comunes los avistamientos de cetáceos durante los meses de invierno. En las aguas más cercanas a la costa podemos encontrar 3 especies destacadas: Los delfines de nariz de botella (*Tursiops sp.*) la marsopa común (*Phocoena phocoena*) y la ballena franca glacial (*Eubalaena glacialis*)

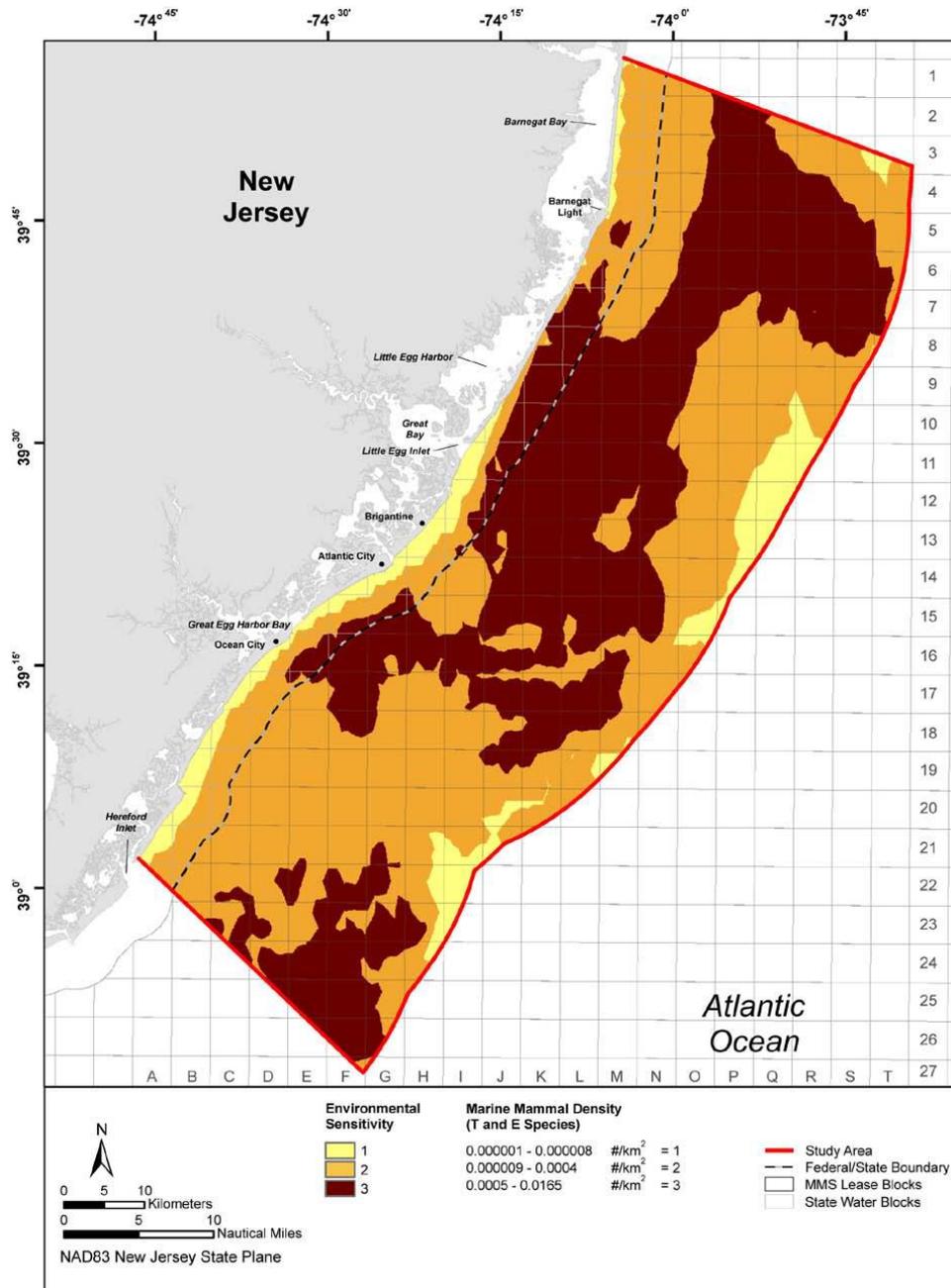


Figura 51: Presencia de mamíferos marinos en Nueva Jersey (fuente: Atlantic Renewable Corp.)

## AVES

La presencia de aguas poco profundas, la fisonomía de la costa y la abundancia de zonas específicas de protección para la avifauna hacen de Nueva Jersey un lugar con una diversidad de especies muy alta, se han contabilizado hasta 153 especies diferentes. Además contamos con la presencia de numerosas rutas migratorias que sobrevuelan el estado, muchas de ellas por su zona costera. Diferentes estudios se han referido a las especies marítimas que son las que más nos interesan por la afección que pueden sufrir con la instalación del parque.

Como documento base hemos tomado el *Ocean Wind Power Ecological Baseline Studies* publicado por el departamento de protección al medio ambiente de Nueva Jersey. En este estudio nos indican cuales son las especies más numerosas en estas costas.

La especie más abundantes son: alcatraz común (*Morus bassanus*), negrón costero (*Melanita perspicillata*), gaviota argéntea (*Larus argentatus*), el negrón americano (*Melanitta americana*) y el colimbo chico (*Gavia stellata*). De las 153 especies sólo un 4% sería capaz de volar a la altura de buje y por tanto verse afectadas por los aerogeneradores, de todas ellas destacaríamos al alcatraz, la gaviota y al colimbo puesto que pueden llegar habitualmente a nuestro parque debido a su situación mar adentro.

#### 5.4.4 Paisaje

Es evidente que el horizonte actual de la zona se encuentra totalmente despejado, Atlantic City es el punto desde el que evaluar cómo afecta la situación de nuestro parque a 15 km de la costa. Hay que destacar las habituales brumas de la zona que limitan el alcance visual desde la orilla.

El paisaje siempre es un factor importante en el desarrollo de un parque eólico, pero en este caso toma aún más importancia pues estamos hablando de una zona eminentemente turística, cualquier cambio debe ser minuciosamente estudiado para poder valorar sus efectos en la economía local.



Figura 52: Vista desde Atlantic City (fuente: [atlanticcityblog.caesars.com](http://atlanticcityblog.caesars.com))

### 5.4.5 Medio socio-económico

Atlantic City se fundó únicamente con un fin vacacional, es por tanto el turismo el motor de la ciudad. La edad de oro de Atlantic fue a principios del siglo XX, un turismo de alto poder adquisitivo aportaba jugosos ingresos a la ciudad que creció en torno a los hoteles, tras esta época dorada la ciudad entro en declive. A mediados de siglo se trató de paliar la escasez de turistas con la construcción de casinos copiando el modelo de Las Vegas, pero la alta popularidad de ésta sumado a la apertura de otros grandes casinos en Connecticut ha vuelto a frenar el desarrollo económico de la ciudad.

Actualmente Atlantic City tiene una población de 40000 habitantes, si bien el condado suma en total 250000. La tasa de desempleo está en el entorno del 15%, el doble de la nacional, debido cómo hemos dicho a la escasez de una industria potente, alejada de la estacionalidad de los turistas.

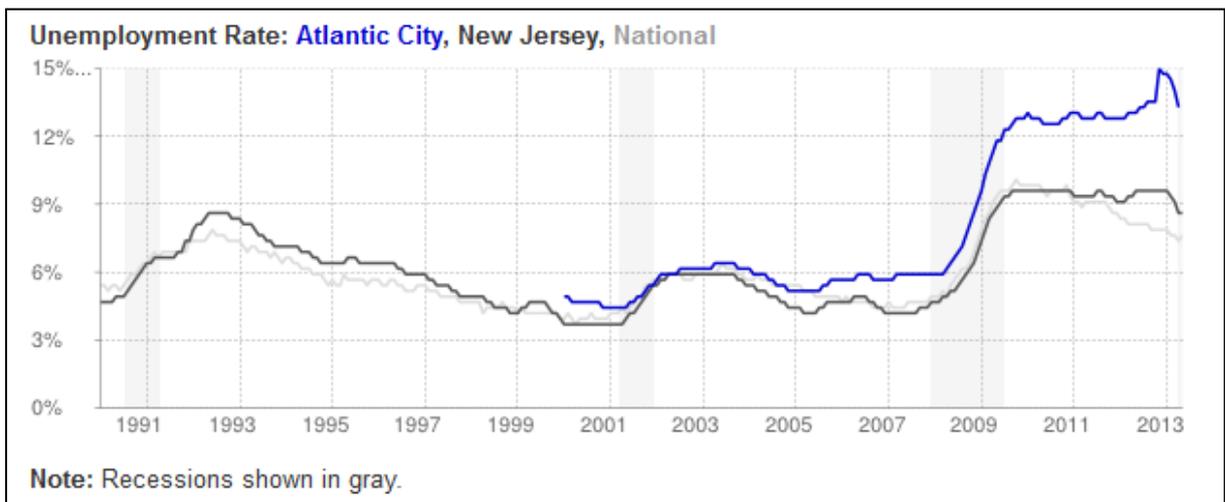


Figura 53: Evolución de la tasa de desempleo (fuente:tradineconomics.co)

## 5.5 ACCIONES

Para la posterior identificación y valoración de los impactos hay que determinar previamente cuales son las afecciones que se producirán al medio, consecuencia directa de las obras y funcionamiento del parque.

Por tanto, a continuación describiremos aquellas acciones que durante las diferentes fases del proyecto pueden afectar de una u otra manera a las variables anteriormente expuestas en el inventario ambiental, hay que recordar que estos no tienen porqué ser negativos, también pueden ser positivos.

Las fases que tendremos en cuenta serán: Construcción, operación y desmantelamiento.

### 5.5.1 Fase de Construcción

La fase de construcción también abarca la fase de estudio preliminar. Además

Las principales actividades incluidas serán:

- Realización de estudios previos

- Estudios batimétricos, extracción de testigos del lecho marino, medida de vientos y corrientes

- Preparación del suelo

- Excavaciones, dragados, nivelados, etc.

- Instalación de la cimentación

- Cableado

- Transporte marítimo y montaje

Durante esta fase los principales impactos que pudieran darse serán:

- La suspensión de sedimentos durante la toma de muestras

- El Ruido procedente de la actividad de las embarcaciones y de los propios estudios

- Cambios en el relieve del fondo debido a dragados

- Ocupación de terrenos

- Vibraciones durante la colocación de pivotes y escolleras

- Movimientos de maquinaria

- Vertidos accidentales

- Perdida de hábitats

- Voladuras

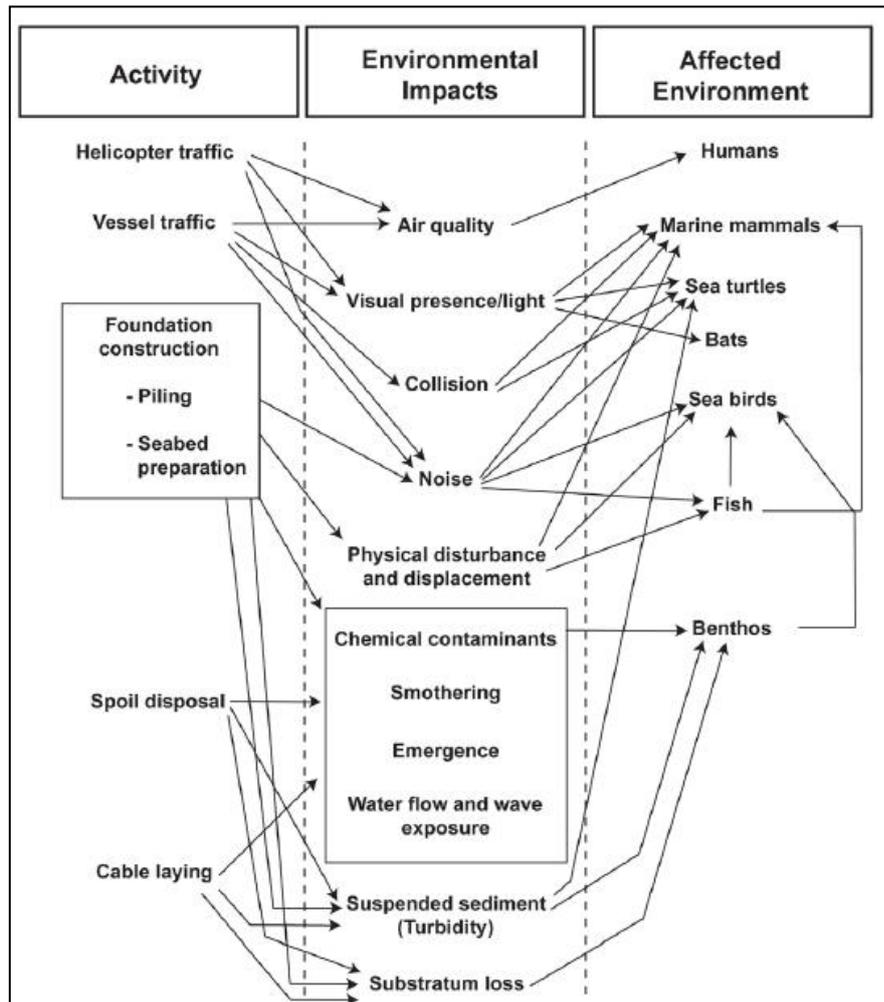


Figura 54: Impactos potenciales en la fase de construcción (Hiscock et al.2002)

### 5.5.2 Fase de Operación y Mantenimiento

En este caso las actividades simplemente se pueden resumir como la de actividad normal del parque y las debidas a labores de reparación y mantenimiento.

Por tanto impactos a considerar serán:

- Pérdida de hábitats
- Introducción de elementos extraños
- Menor presión pesquera
- Campos electromagnéticos procedentes de cables
- Vertidos accidentales
- Turbulencias
- Ruidos y vibraciones
- Utilización mano de obra local
- Reducción emisiones gases invernadero

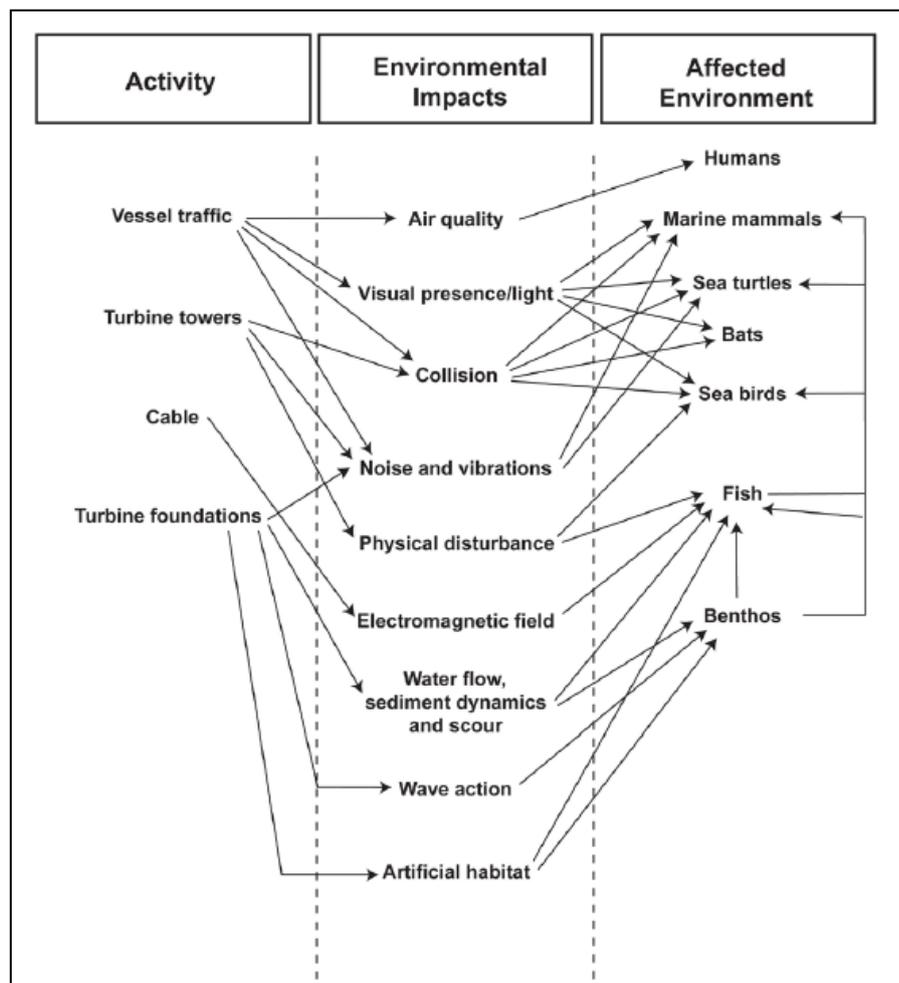


Figura 55: Impactos potenciales en la fase de operación y mantenimiento (Hiscock et al. 2002)

### 5.5.3 Fase de Desmantelamiento

En este caso no nos enfrentaremos al análisis de esta fase debido a que existe la opción de una vez acabada la vida útil de nuestros aerogeneradores sustituirlos por otros, con lo cual los impactos volverían a ser los mismos que los de la fase de construcción antes señalada.

En el caso de querer desmantelar el parque habría que tener en cuenta la restauración tras el abandono del emplazamiento.

### 5.6 EVALUACIÓN DE IMPACTOS

Realizaremos una matriz de Leopold que nos relacione las acciones antes descritas con su efecto sobre las diferentes variables del inventario ambiental.

En este caso hemos asignado valores de 1 a 5 positivos para aquellos efectos que consideramos agreden al entorno en base a su importancia, los valores negativos se dan para aquellos casos en los que la acción beneficia al entorno promoviendo su desarrollo sostenible.

|                 | Estudios | Prep. Terreno | Tráfico | Residuos | Presencia | Funcionamiento | Mantenimiento | Importancia |
|-----------------|----------|---------------|---------|----------|-----------|----------------|---------------|-------------|
| Suelo           | 4 / 3    | 4 / 5         | 2 / 1   | 3 / 3    | 2 / 3     | 1 / 1          | 1 / 1         | 17          |
| Agua            | 3 / 2    | 2 / 4         | 4 / 4   | 2 / 3    | 1 / 1     | 1 / 3          | 2 / 3         | 20          |
| Fauna           | 2 / 4    | 2 / 4         | 3 / 5   | 1 / 3    | 2 / 2     | 2 / 4          | 1 / 3         | 25          |
| Paisaje         | 1 / 1    | 1 / 2         | 2 / 2   | 1 / 4    | 3 / 4     | 1 / 1          | 1 / 1         | 15          |
| Socio-económico | 3 / -4   | 2 / -5        | 1 / -4  | 3 / -2   | 2 / -2    | 1 / -4         | 1 / -4        | -25         |
| Magnitud        | 13       | 11            | 12      | 10       | 10        | 6              | 6             |             |

Figura 56: Matriz Leopold

| Código | Leyenda                |
|--------|------------------------|
|        | Impacto favorable      |
|        | Impacto negativo leve  |
|        | Impacto negativo medio |
|        | Impacto negativo grave |

Destacan dos impactos de forma muy distinta.

Por una parte se nos identifica cómo Impacto negativo grave los efectos de las diferentes acciones sobre la fauna. Si bien estos efectos se incluyen en mayor medida sólo durante la fase de construcción por lo cual podemos considerarlos temporales, por tanto es aceptable su realización si se definen una serie de medidas protectoras y compensatorias.

En el otro extremo, las afecciones sobre el medio social y económico no pueden ser más favorables. La construcción y posterior fase de operación desarrollarán el tejido industrial de la zona creando puestos de trabajo, llamando a otras industrias satélite y potenciando al Estado de Nueva Jersey como foco innovador de las energías renovables en Estados Unidos.

A continuación describimos algunos de los impactos identificados:

### **5.6.1 Ruido**

La exposición a ruidos de origen antropogénico puede causar desde la más completa indiferencia por parte de muchos animales a la muerte de individuos, todo depende del umbral de sensibilidad de la especie en cuestión. Además se pueden provocar cambios en el comportamiento habitual de los animales, debido al aturdimiento.

Los cetáceos y las tortugas pueden ser de los animales más afectados debido a su sensibilidad a las ondas de baja frecuencia.

### **5.6.2 Tráfico**

Durante la fase de construcción se provocará un incremento del tráfico marítimo en torno a la zona de trabajo. Este puede afectar negativamente al comportamiento de las aves pues pueden verse desplazadas de sus áreas habituales de alimentación, otras especies en cambio, cómo las gaviotas puede que opten a seguir las embarcaciones cómo habitúan pudiendo aumentar el riesgo de accidente. En el caso de los cetáceos se pueden provocar colisiones contra las embarcaciones llegando a ser mortales en los casos en los que esta sea de más de 80 metros de eslora. Está claro además que la comunidad piscícola puede verse desplazada.

### **5.6.3 Alteración del fondo marino**

Los impactos producidos debido al análisis previo a la instalación no son significativos, siendo además de un carácter temporal. Sin embargo durante la fase de construcción estos impactos si son considerados de gran duración pero no tiene porque ser de carácter negativo, los mismos pilotes junto con las escolleras de protección generarán refugio a un gran número de especies.

#### **5.6.4 Vertidos**

Uno de los efectos más comentados son los cambios en la turbidez del agua debido a las obras en el lecho marino. Excepcionalmente podrían darse casos de vertidos accidentales de aceites o gasóleos de alto poder contaminante muy perjudiciales para el ecosistema. Sin embargo los efectos de estos compuestos están más relacionados con la combinación de concentración y duración que a la concentración sola por lo que la existencia de un protocolo ágil de actuación contra estos sucesos es altamente recomendable.

#### **5.6.5 Impacto visual, presencia y balización**

Evidentemente la sola presencia de los aerogeneradores alterará la percepción visual del horizonte, pero lo que no está claro es la negatividad de esta, puesto que hay gente que encuentra los parques eólicos atractivos llegando incluso a verse la aparición de pequeñas empresas que facilitan la visita entre aerogeneradores como una forma más de turismo.

En un plano más ambiental la presencia del parque puede alterar el comportamiento de las aves, pudiendo quedarse desorientadas o atraídas por las balizas causando muertes por colisión o desfallecimientos. En el medio sub-marino la presencia de luces aunque sean mínimas durante la noche altera el comportamiento de depredadores puesto que sus presas son atraídas por la luz. También hay que tener en cuenta que la base de los aerogeneradores, junto con la escollera de protección creará un refugio, y por tanto un nuevo punto de biodiversidad, para numerosas especies marinas.

#### **5.6.6 Impacto socioeconómico**

En una zona con una tasa alta de desempleo la creación de puestos de trabajo siempre es positiva, además se da el hecho de que en tierra existen parques eólicos por lo que la fuerza de este tipo de industria puede ser muy importante al crearse un foco de renovables que haga un efecto llamada para institutos de investigación e industrias asociadas a las renovables.

## 5.7 MEDIDAS PREVENTIVAS Y COMPENSATORIAS

A fin de minimizar los impactos desfavorables por la construcción de nuestro parque eólico se proponen una serie de medidas preventivas más una serie de compensaciones a realizar.

### 5.7.1 Medidas preventivas

Revisiones periódicas a toda la maquinaria involucrada en el proceso, además de la obligatoriedad de presentar todos los documentos y autorizaciones habituales.

Delimitación en puerto de una zona para las operaciones de mantenimiento de la maquinaria, adecuadamente acondicionada para evitar vertidos.

Realización de los trabajos en horario diurno en medida de lo posible a fin de evitar desordenes sociológicos en la fauna local.

Limitación de la velocidad de las embarcaciones

Cursos y seminarios de concienciación ambiental a todo el personal de la obra

Delimitación de la zona de trabajo a fin de evitar accidentes con personal ajeno a la misma.

### 5.7.2 Medidas compensatorias

Realización de un censo poblacional de tortugas laúd en la zona

Colaboración con las autoridades locales de Atlantic City a fin de promocionar el condado como punto turístico e industrial.

## 5.8 PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL

### 5.8.1 Objetivos

Los objetivos del PVA son los siguientes:

- Verificar la evaluación inicial de los impactos, concretando con detalle los parámetros de seguimiento de la calidad de los vectores ambientales afectados.
- Controlar la correcta ejecución de las medidas previstas en el Estudio de Impacto Ambiental y su adecuación a los criterios de integración ambiental establecidos de acuerdo con la DIA.
- Verificar los estándares de calidad de los materiales (tierra, plantas, agua, etc.) y medios empleados en el proyecto de integración ambiental.
- Comprobar la eficacia de las medidas protectoras y correctoras establecidas. Cuando tal eficacia se considere insatisfactoria, determinar las causas y establecer los remedios adecuados.
- Detectar impactos no previstos o superiores a los previstos en el Estudio de Impacto Ambiental y prever las medidas adecuadas para eliminarlos, reducirlos o compensarlos.

La realización del seguimiento se basará en la formulación de indicadores que proporcionen la forma de estimar, de manera cuantificada y simple en la medida de lo posible, la realización de las medidas previstas y sus resultados.

### 5.8.2 Fases

Primera Fase: Se corresponde con la fase de obras, y tendrá una duración variable en función de las actividades previstas.

Segunda Fase: Se desarrolla durante la fase de explotación. La extensión en el tiempo de la aplicación de las medidas dependerá de la tipología de estas, pues algunas serán de carácter temporal y otras de carácter permanente, de manera que la emisión de los informes sobre el cumplimiento de las mismas se adaptará a su duración.

### 5.8.3 Informes

Para cada una de las visitas se elaborará un informe de carácter de evaluación. Además se presentaran en caso de accidente u otra situación excepcional, informes extraordinarios.

## 6. LEGISLACIÓN

En este apartado se pretende describir cuales son los pasos necesarios a seguir para obtener los permisos y la aprobación, para la instalación y puesta en marcha de nuestro parque.

Como este proyecto incluye partes offshore y onshore es necesario analizar los parámetros federales, estatales y locales, pero primero se debe establecer cuáles son las partes a tomar en cuenta. En tierra tenemos la línea de transmisión existente, la subestación y el cable de exportación. En el mar tenemos las turbinas, así como también sus cimentaciones, los cables que van de aerogenerador a aerogenerador y la subestación offshore. Esto se ve en más detalle en la imagen siguiente:

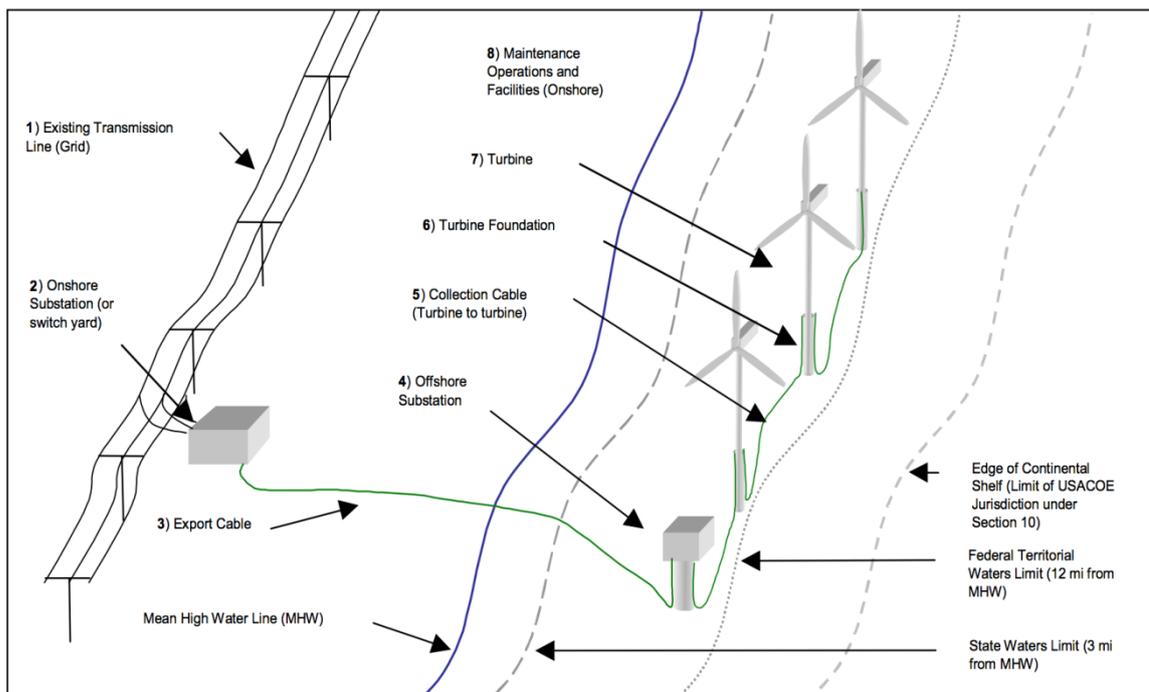


Figura 57. Componentes principales de un parque eólico offshore

## 6.1. LEGISLACIÓN FEDERAL

### 6.1.1. US Army Corps of Engineers (USACOE)

La USACOE, tiene la autoridad de dar permisos a proyectos que incluyan construcción, excavación o vertido de materiales en, sobre o debajo de aguas navegables. También tiene potestad de autorizar cualquier trabajo que pudiera afectar el curso, ubicación, condición o capacidad de esta agua, hasta el límite de la placa continental. Las turbinas, la subestación offshore, cualquier otra infraestructura asociada al parque y las facilidades de mantenimiento o construcción serán reguladas por esta entidad. La sección 404 del Clear Water Act, establece la autoridad que tiene la USACOE para dar los permisos necesarios para las actividades asociadas con la instalación de facilidades para aprovechar el recurso eólico offshore.

### 6.1.2. Guardia Costera

La U.S. Coast Guard posee la jurisdicción para determinar el uso apropiado de las aguas americanas al establecer cualquier tipo de estructura sobre o en ellas. El promotor de el parque debe aplicar para la autorización de la Guardia Costera Americana antes de realizar cualquier trabajo.

### 6.1.3. Administración Federal de Aviación

La Federal Aviation Administration (FAA), tiene la autoridad para promover el uso seguro y eficiente del espacio aéreo navegable para cualquier estructura en este espacio. El empleo de cualquier estructura que sea mayor de 60 metros debe ser notificado y luego aprobado por dicha entidad. Si la estructura es mayor de 60 m, como es el caso de las turbinas, esta entidad procederá a establecer ciertas medidas para su uso, entre las cuales se encuentra la señalización de la estructura mediante iluminación.

### 6.1.4. La Comisión Regulatoria Federal de Energía

Un promotor debajo de las regulaciones del estado de New Jersey, debe aplicar a dicha comisión (FERC) para obtener el permiso de generación (EWG). La interconexión de un parque eólico offshore debe ser coordinada a través de esta entidad.

## 6.2. LEGISLACIÓN ESTATAL

### 6.2.1. Departamento de Protección del Medio Ambiente para el estado de New Jersey (DEP)

El *Coastal Area Facility Review Act* (CAFRA) otorga la jurisdicción y autoridad necesaria al New Jersey DEP sobre construcción en el área costera. Esta área definida por bahías, puertos, entradas y zonas de drenaje, delimitada por una línea azul como se observa en la figura siguiente:

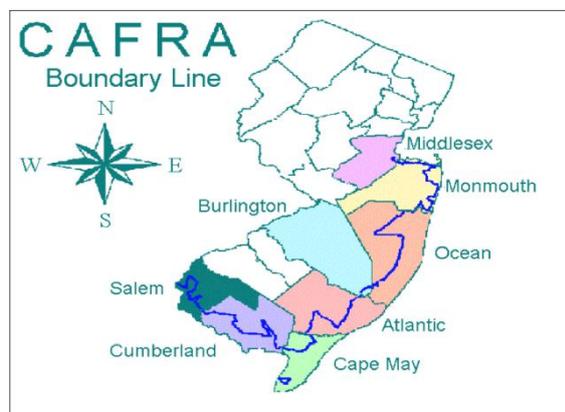


Figura 58. Mapa del área delimitada por el DEP

Las tierras que han sido inundadas o lo están en el momento pertenecen al estado de New Jersey y todo proyecto que quiera hacer uso de las mismas necesita una aprobación llamada *Tidelands Act*. El *Waterfront Development Law* regula toda construcción, alteración, expansión, dragado o relleno en zonas donde el agua podría inundar hasta la primera vía pública o propiedad privada, no excediendo 150 m a partir de la zona delimitada por el CAFRA.

El *Wetlands Act of 1970*, requiere que el DEP regule cualquier desarrollo en área mojada de la costa. Esta área está marcada por el DEP en sus mapas y cualquier proyecto que pretenda excavar, rellenar o instalar una estructura en esta zona deberá obtener el permiso de área mojada costera. Cualquier proyecto que requiera un permiso federal para disponer de material en aguas del estado, deberá obtener también un *State Water Quality Certification*, para asegurar la consistencia con los estándares del estado.

### 6.3. LEGISLACIÓN LOCAL

#### 6.3.1. Distrito de la Conservación de la Tierra

El *Soil Erosion and Sediment Control Act of 1975* establece que cualquier proyecto con más de 465 m<sup>2</sup> de perturbación de suelo, necesita aprobación de erosiones de suelo y administración de agua del distrito local de conservación de la tierra.

#### 6.3.2. Acta Municipal del Uso de la Tierra

Esta es el acta que dice quienes son las personas encargadas de planear el desarrollo urbano. La ejecución de instalación, puesta en marcha y mantenimiento de los elementos en tierra que son parte de un proyecto eólico offshore, deben ser planeados en conjunto con este organismo.

### 6.4. PROCESO DE APLICACIÓN FEDERAL

#### 6.4.1. US Army Corps of Engineers (USACOE)

Se debe realizar una aplicación a la USACOE para un Section 10 permit, que autoriza a la colocación de estructuras sobre aguas navegables. También un posible Section 404 permit que regula las actividades de dragado y relleno. A partir de 60 días luego que se deposite la aplicación la USACOE determina si la misma está completa y hará una publicación con su aprobación.

Requerimientos de la USACOE

- *National Environmental Policy Act of 1969 (NEPA)*: El promotor deberá hacer una valoración medioambiental (EA) y de ser necesario una declaración de impacto medioambiental (EIS). Aquí se debe indicar el impacto esperado en el medioambiente, la controversia anticipada y la magnitud del proyecto, para que en este punto se decida si vale con el EA o es necesario realizar el EIS. Cuando se aprueban estos estándares por la USACOE, es cuando se satisfacen los requerimientos establecidos en el NEPA.
- *The Endangered Species Act of 1973 (ESA)*: Este acto protege la conservación de las especies de peces, fauna y flora en peligro de extinción. Las agencias federales deben velar porque ninguna acción del proyecto ponga en peligro el hábitat de dichas especies. En este punto las agencias federales deben puntualizar recomendaciones, en combinación con las oficinas para la preservación de la especie, para poder minimizar el riesgo del proyecto.
- *National Historic Preservation Act (NHPA)*: La NHPA requiere de las autoridades federales que se tome en cuenta, si la elaboración de algún proyecto de este tipo pone en peligro propiedades históricas. Estas pueden ser estructuras, edificios, lugar o objeto que estén en el registro nacional. Para cumplir con este acto la USACOE requiere del promotor que se estudie la zona y se realice un informe que establezca si se pone en peligro cualquier estatuto del NHPA.

- *Fish and Wildlife Coordination Act (FWCA)*: Este acto tiene como propósito establecer cuales son los recursos de las especies que pueden aportar al crecimiento de la nación. Estas especies incluye pájaros, peces, mamíferos y cualquier otro animal, así como también los recursos de los que depende ya sea acuáticos o terrestres. La USACOE debe dar su consideración si alguna actividad del proyecto pone en peligro este acto.
- *The Coastal Zone Management Act (CZMA)*
- *Marine Mammal Protection Act of 1972*:
- *Estuary Protection Act*: Se debe cumplir con que no se use ningún estuario que pueda ser importante para el desarrollo comercial o industrial de la nación, en el planeamiento de uso de recursos acuáticos o terrestres.
- *Historical and Archeological Data - Preservation*: Establece que cualquier entidad que haga una construcción asistido por agencias federales, es responsable de cualquier daño que pueda causar a recursos científicos, históricos, prehistóricos o arqueológicos.
- *Abandoned Shipwreck Act of 1987*: Esta ley establece que los Estados Unidos, como país, es el único dueño de cualquier naufragio que se pueda encontrar en aguas nacionales, navegables o no navegables. Cualquier actividad de dragado o relleno próximo a cualquier naufragio es prohibida.
- *The Migratory Bird Treaty Act of 1918 (MBTA)*
- *The Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act*

## 6.5. PROCESO DE APLICACIÓN ESTATAL

### 6.5.1. Departamento de Protección del Medio Ambiente para el estado de New Jersey (DEP)

A el DEP se hace una aplicación en conjunto para sacar todos los permisos necesarios (CAFRA Permit, Waterfront Development Permit, Coastal Wetlands Permit, Water Quality Certificate and Federal Consistency Certificate). Antes de hacer esta aplicación, el promotor podrá elegir si quiere hacer una revisión antes, necesaria para obtener el permiso de costa para la instalación de cables submarinos en el Océano Atlántico. Cuando se solicita esta revisión la DEP coordina una reunión dentro de 10 días, para dentro de 20 días después de recibir la aplicación final tomar la decisión de:

- a) Confirmar que está completa la aplicación y planear una audiencia dentro de 15 días o,
- b) Publicar cuales son las deficiencias del promotor para que sean resueltas o,
- c) Devolver la aplicación por no cumplir con los requisitos

Luego de la aprobación de la solicitud la DEP tendrá 90 días para sacar todos los permisos necesarios previamente citados.

## 6.6. PROCESO DE APLICACIÓN LOCAL

### 6.6.1. Condado

Solicitud de homologación de los planes de gestión de aguas pluviales, que se realizará en las oficinas del condado donde se pretende realizar el proyecto.

### 6.6.2. Municipio

Planificación, zonificación y la creación de regulaciones varían según el municipio en el estado de New Jersey. La solicitud de permisos de construcción de una subestación, instalaciones de mantenimiento y cualquier línea de transmisión se aplica al municipio y está sujeto a las ordenanzas específicas de este municipio.

En las etapas para el desarrollo de un parque eólico offshore, la legislación juega un papel muy importante siendo el primer paso a tomar en cuenta. Primero se solicitan los permisos de desarrollo y las concesiones, luego se realizan estudios y campañas, después se obtienen los permisos definitivos, para finalmente pasar a la construcción y operación y mantenimiento del parque. Hay que resaltar que de todo este proceso lo que más tiempo ocupa es la primera donde se solicitan los permisos.

## 7. DISEÑO DEL PARQUE

### 7.1 ANÁLISIS DEL RECURSO EÓLICO

Para determinar el potencial del recurso eólico, registrando y midiendo las variaciones del viento se están desarrollando tecnologías distintas a las estaciones de medición habituales. Específicamente para análisis *offshore* se sitúan boyas medidoras que evitan el costoso proceso de establecer una estación convencional. Además la versatilidad de estas boyas promete grandes avances.

Los SEAWATCH viento boya Lidar representan la próxima generación de usos múltiples boyas a medida para la industria de la energía renovable. La boya debe determinar con precisión la velocidad y dirección del viento a través del diámetro de los rotores de turbinas de viento, mientras que los sensores proporcionan parámetros oceanográficos como las olas del mar y los perfiles actuales.

#### Características

- Recopila los datos de evaluación de los recursos eólicos y / o de los criterios de diseño de ingeniería
- Boya mediciones del perfil del viento en el mástil de 2,5 m, 4 my 5 m
- Mediciones configurables LiDAR eólicos perfil en 10 niveles, desde 12,5 m hasta 300 m
- Mediciones de olas oceánicas y marinas configurables perfiles actuales
- En pensión completa el procesamiento de todos los datos medidos
- Enlace de comunicación de dos vías para la transferencia de datos y el control
- La transferencia de datos en tiempo real y la presentación
- Configuración flexible de los sensores y recopilación de datos
- Casco modular para facilitar el transporte y la asamblea local
- Manipulación y utilización segura y fácil
- Robusto y fiable en todas las condiciones meteorológicas y las temperaturas extremas
- Posición de seguimiento para una mayor seguridad
- La plataforma boya Wavescan tiene un historial de éxito en todo el mundo desde 1985



Figura 59. Boya de medición

Es la primera boya individual compacta capaz de medir:

- Altura de las olas del océano y la dirección
- Perfiles actuales del océano de la superficie al fondo del mar
- Parámetros Meteorológicos
- Otros parámetros oceanográficos como sea necesario

Los SEAWATCH de viento boya Lidar más pequeños son una solución de monitoreo para el océano probada, que son fácilmente desplegadas y trasladadas (por arrastre o levantadas desde barcos a bordo) ,que permite la recopilación de datos a desde múltiples ubicaciones. Esta es una alternativa más rentable que las soluciones ya existentes de perfiles, tales como mástiles fijos o las grandes boyas flotantes

Los efectos estacionales también influyen sobre el viento en el área de alta mar. Las velocidades del viento tienden a ser más altas desde octubre hasta abril, debido a los grandes gradientes atmosféricos de temperatura y presión. Estas condiciones son impulsadas por un aumento de la actividad de ciclones tropicales durante este período.

Aunque las tormentas tropicales son generalmente más extremas durante el invierno, pueden ocurrir en cualquier momento del año. Durante los meses más cálidos, los ciclones tropicales pueden afectar a la zona de alta mar, que puede causar algunas de las condiciones climáticas más extremas que afectan a la región.

Los vientos de las estaciones meteorológicas no son prácticamente representativos ya que los vientos que realmente nos interesan son los que se obtienen a una altura propia de un aerogenerador offshore. Como se ve en la imagen en el caso de New Jersey el potencial onshore es muy escaso, sin embargo no ocurre lo mismo en zonas marítimas de costa donde el viento tiene un mayor potencial:



Figura 60. Potencial eólico offshore y onshore en New Jersey.

Para tener los datos de una forma más precisa para nuestro parque cogemos los datos que hemos usado para con el WASP y sacamos la rosa de los vientos tanto a nivel del mar como a la altura del aerogenerador:

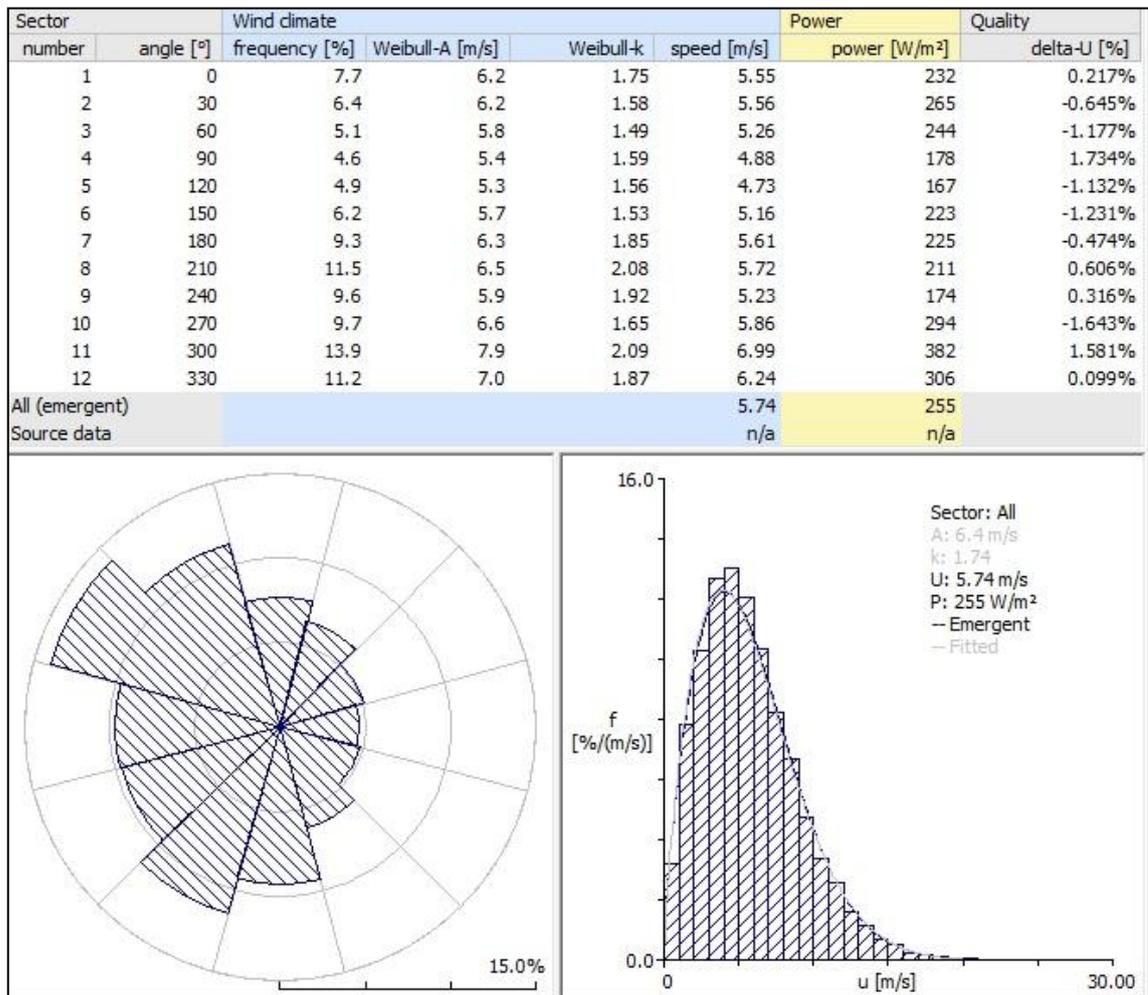


Figura 61a. Viento a nivel del mar

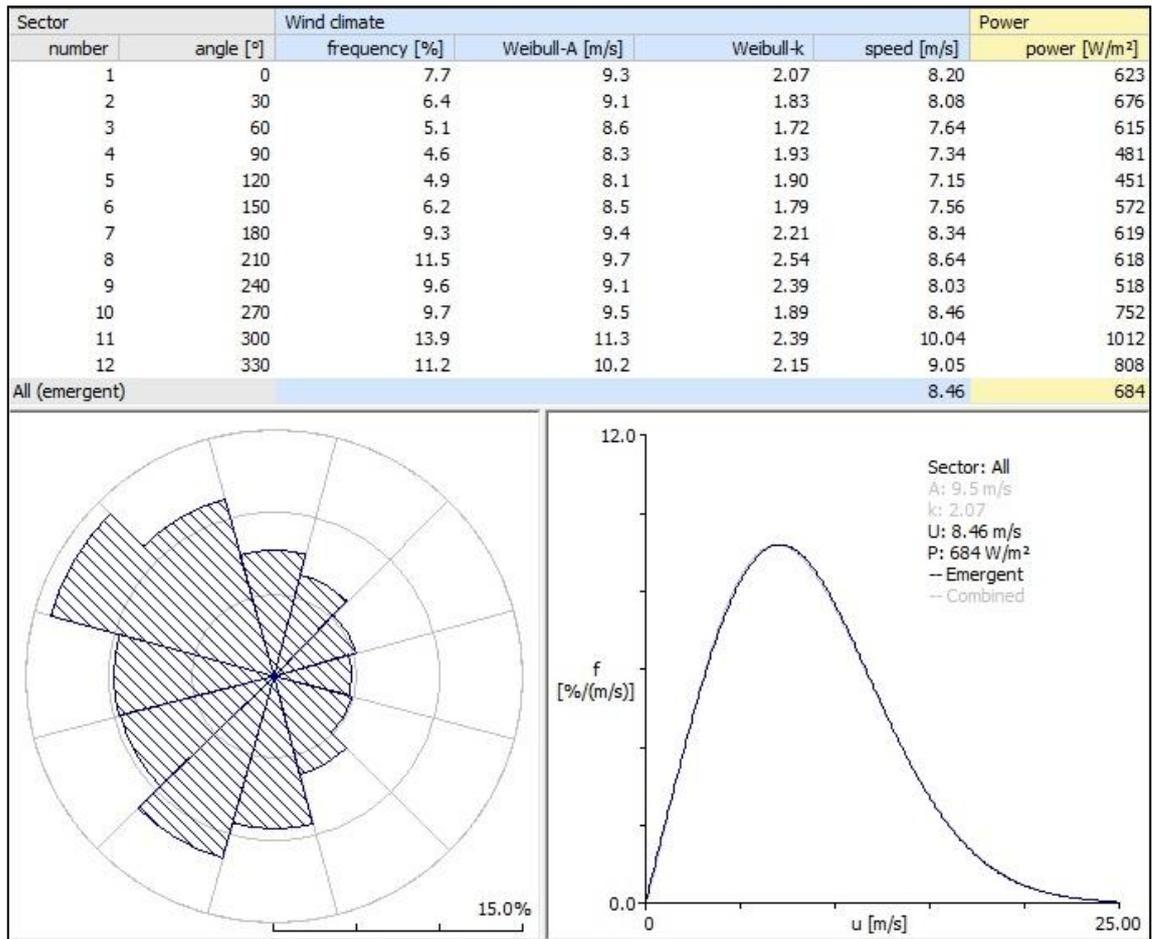


Figura 61b. Viento a la altura del buje.

## 7.2 LAYOUT DEL PARQUE

A la hora de realizar el layout del parque hemos realizado un estudio con diferentes configuraciones de los aerogeneradores para ver cuál era la más óptima para la producción eléctrica.

Posteriormente mostramos las cuatro configuraciones que hemos tenido en cuenta para este estudio en orden creciente de potencia, finalizando por la configuración que elegiremos para el proyecto final.

### 7.2.1 Configuración 1

Para la primera configuración tomamos una distancia de 10 veces el diámetro del aerogenerador en la dirección predominante del viento y una distancia de 5 veces el diámetro en la dirección perpendicular. La distribución es de 9 filas y 10 columnas y no hay espacio entre medio para la instalación de una subestación.

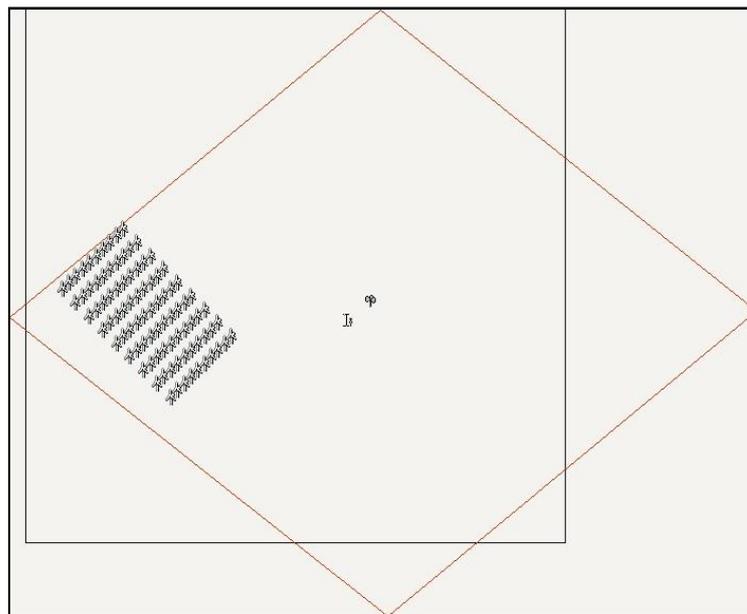


Figura 62. Configuración 1

La producción neta que nos da esta configuración es la menos óptima y con esta disposición tendríamos unas pérdidas de 14.25%

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Total gross AEP [GWh]      | 1249.930 |
| Total net AEP [GWh]        | 1071.875 |
| Proportional wake loss [%] | 14.25    |

Figura 63. Producción de la configuración 1

### 7.2.2 Configuración 2

Para la segunda configuración tomamos una distancia de 10 veces el diámetro del aerogenerador en la dirección predominante del viento y una distancia también de 10 veces el diámetro en la dirección perpendicular. La distribución es igualmente de 9 filas y 10 columnas y no hay espacio entre medio para la instalación de una subestación.

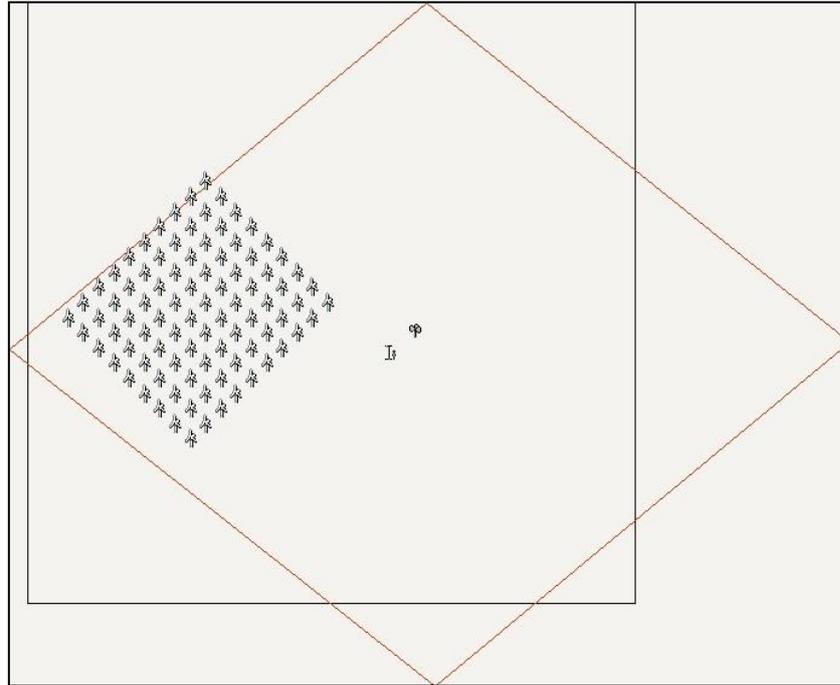


Figura 64. Configuración 2

La producción neta que nos da esta configuración es mejor que la anterior pero es la segunda menos óptima.

Con esta disposición tendríamos unas pérdidas de 8.43%.

Como podemos ver, con el único cambio de aumentar la distancia de 5 a 10 diámetros en la dirección perpendicular a la del viento, la producción aumenta de forma considerable.

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Total gross AEP [GWh]      | 1249.930 |
| Total net AEP [GWh]        | 1144.589 |
| Proportional wake loss [%] | 8.43     |

Figura 65. Producción de la configuración 2

### 7.2.3. Configuración 3

Para la tercera tomamos la misma distancia que en la segunda configuración.

La distribución es igualmente de 9 filas y 10 columnas pero tenemos un espacio entre medio para la instalación de una subestación. En esta disposición tenemos 5 columnas de 9 aerogeneradores a cada lado de la subestación.

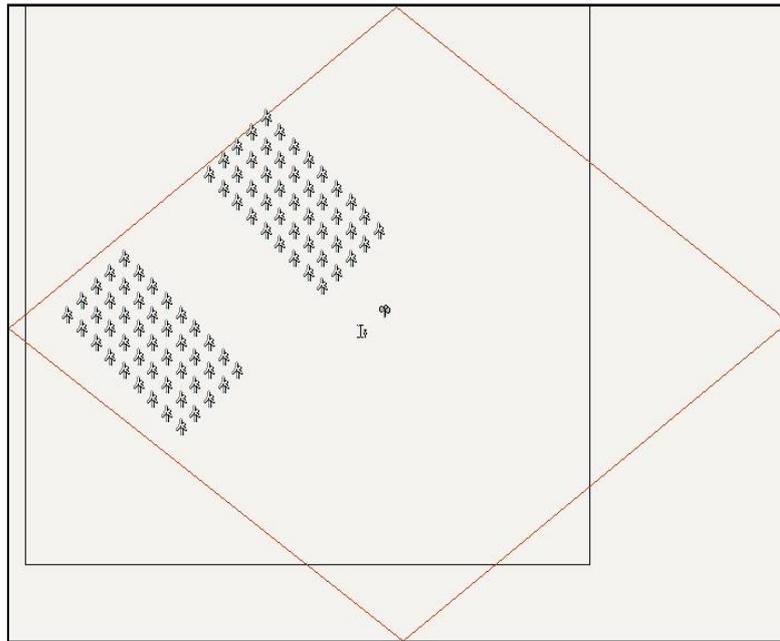


Figura 66. Configuración 3

La producción neta que nos da esta configuración es más óptima que las dos anteriores.

Con esta disposición tendríamos unas pérdidas de 7.29%.

Con este cambio de separar el parque en dos grupos reducimos de forma notable las pérdidas y mejoramos la producción del parque.

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Total gross AEP [GWh]      | 1249.930 |
| Total net AEP [GWh]        | 1158.870 |
| Proportional wake loss [%] | 7.29     |

Figura 67. Producción de la configuración 3

#### 7.2.4. Configuración 4 (Configuración final)

Para la última configuración tomamos las mismas distancias que en la segunda y en la tercera configuración.

La distribución es de 5 filas y 18 columnas teniendo, como ocurría en el anterior caso un espacio entre medio para la instalación de una subestación. En esta disposición tenemos 9 columnas de 5 aerogeneradores a cada lado de la subestación.

La razón por la que montamos esta disposición está relacionada en parte con la dirección del viento, ya que al predominar en la dirección noroeste así habría menos pérdidas por interferencias con otros aerogeneradores al haber solo 5 filas.

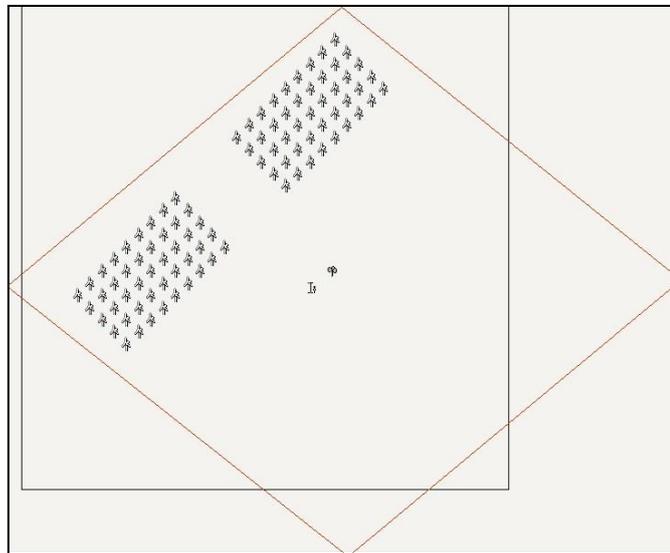


Figura 68. Configuración 4

La producción neta que nos da esta configuración es más óptima que en todas las anteriores.

Con esta disposición tendríamos unas pérdidas de 7.16%, reduciendo un 0.13% las pérdidas de la configuración anterior. Con este cambio aumentamos la producción de forma no muy notable con respecto al anterior caso, pero no es ese el único beneficio, sino que otro aspecto beneficioso sería que los aerogeneradores estarían situados más cerca de la costa con lo que ello conlleva.

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Total gross AEP [GWh]      | 1249.930 |
| Total net AEP [GWh]        | 1160.419 |
| Proportional wake loss [%] | 7.16     |

Figura69. Producción de la configuración 4

### 7.3 ELECCIÓN DE LA TURBINA

Como sabemos, las marcas más conocidas así como las que más se usan para la implementación de parques eólicos offshore son Vestas y Siemens, por lo tanto haremos el estudio para la elección teniendo en cuenta las dos turbinas más comunes de estas dos marcas debido a su fiabilidad y experiencia.

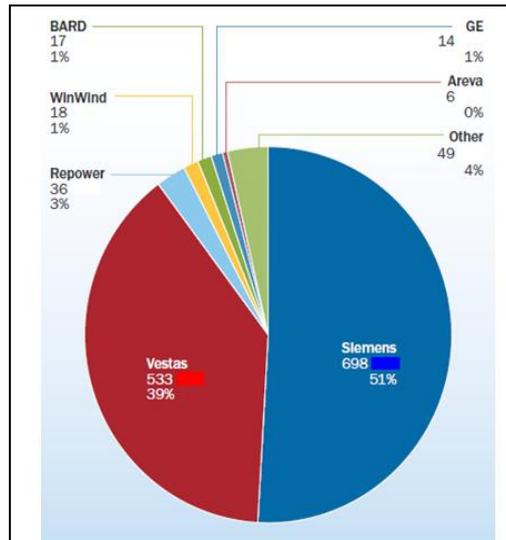


Figura 70. Participación de los fabricantes en el mercado

A la hora de elegir la turbina tendremos en cuenta varios factores importantes.

Uno de los factores fundamentales a tener en cuenta es la producción que esta genera, así como las horas de funcionamiento y fiabilidad.

Para ello diseñamos con el WAsP dos parques con el layout seleccionado para nuestro proyecto, y con esto calculamos la producción y las pérdidas que tendría el parque.

Primero representaremos los datos que nos ofrece el WAsP sobre el parque de turbinas Siemens, y para ello seleccionamos el modelo Siemens 3.6MW:



Figura 71. Siemens 3.6MW

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Total gross AEP [GWh]      | 1249.930 |
| Total net AEP [GWh]        | 1160.419 |
| Proportional wake loss [%] | 7.16     |

Figura 72: Producción y pérdidas de la turbina Siemens 3.6MW

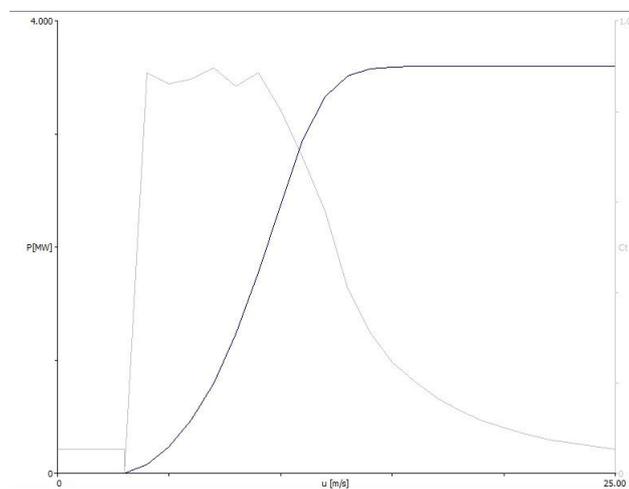


Figura 73. Relación de potencia con el viento (Siemens 3.6MW)

Horas de funcionamiento:  $(1160,419/324) * 1000 = 3581.54$  horas de funcionamiento.

Ahora vemos los resultados que nos ofrece el programa para el parque eólico diseñado con las turbinas de Vestas, en nuestro caso elegimos el modelo V90 de 3 MW:



Figura 74. Vestas V90 - 30 MW

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| Total gross AEP [GWh]      | 959.555 |
| Total net AEP [GWh]        | 912.975 |
| Proportional wake loss [%] | 4.85    |

Figura 75: Producción y pérdidas de la turbina Siemens Vestas V90 de 3MW

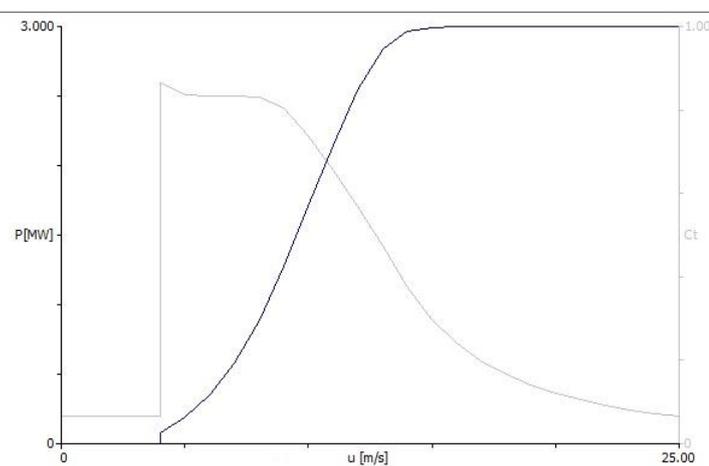


Figura 76. Relación de potencia con el viento (Vestas V90 de 3MW)

Horas de funcionamiento:  $(912,975/270) * 1000 = 3381$ , 38 horas de funcionamiento.

A pesar de que el aerogenerador de Vestas tiene 3MW de potencia y el de Siemens 3.6MW, vemos que tanto la producción como las horas de funcionamiento es mayor en la turbina Siemens, a pesar de que las pérdidas son mayores, por lo tanto consideramos que la mejor elección en este aspecto es la de la turbina de 3.6MW.

Por último, también sabemos que Vestas ha tenido algún problema con las multiplicadoras del modelo V90 en una gran cantidad de aerogeneradores instalados provocando grandes pérdidas netas en la producción neta.

Por lo tanto y con estas consideraciones tomaremos la decisión de optar por el modelo de la marca Siemens cuyas especificaciones técnicas se encuentran en los Anexos.

## 7.4 CIMENTACIONES

### 7.4.1 Tipos de cimentación

La principal función de las fundaciones es transmitir los esfuerzos creados por el aerogenerador al fondo marino. El diseño de cimentación a utilizar viene definido por las condiciones específicas de cada emplazamiento. Este diseño viene por las condiciones de vientos y olas, la profundidad y la geología del lecho marino.

Estas condiciones hacen que la instalación de un parque eólico offshore represente un reto para el sector industrial, que debe encontrar soluciones innovadoras para resolver el problema de la profundidad. Mucha de la tecnología de cimentaciones de parques eólicos offshore viene gracias a la antes desarrollada en el sector de oil & gas.

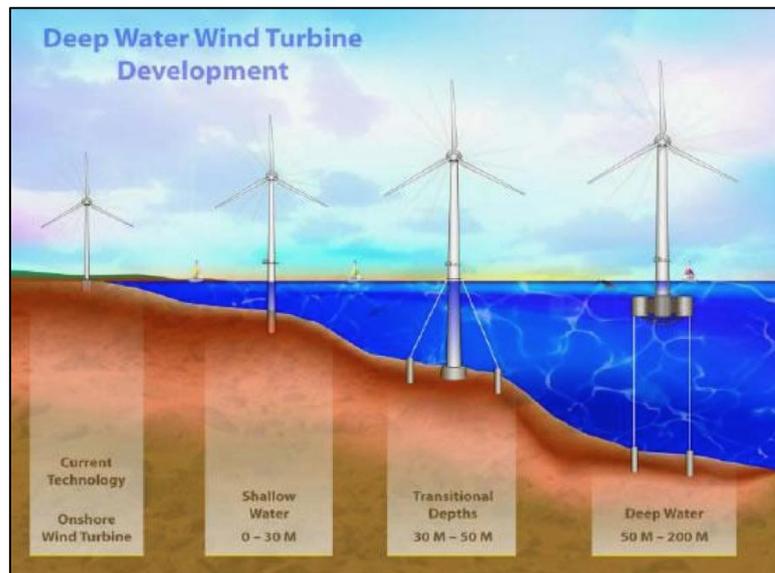


Figura 77 Tipos de cimentaciones

Existen 4 tipos de cimentación estándar:

Mono pilote:

Consiste en un pilote metálico, que aparentemente continúa la misma estructura de la torre, y se clava en el fondo marino por perforación, conducción o una combinación de ambos, dependiendo de las condiciones específicas de cada emplazamiento.

Es el tipo de fundación más común para profundidades de hasta 25 m, siendo bastante efectiva pero con un alto coste por los retos que presenta su transporte y la preparación del suelo. Consiste de un tubo de acero con diámetro aproximado de 4 - 5 m, con un ancho de pared de alrededor de 5 cm. Esta estructura no soporta grandes momentos ni grandes esfuerzos horizontales, y su rigidez es baja.



Figura78: Imagen de mono pilote



Figura 79: Instalación de un mono pilote

**Trípode:**

La geometría de un mono pilote no permite que este tipo de cimentación pueda ser empleado a mayores profundidades de los 25 m. Para estas aguas más profundas se han llegado a considerar estructuras en forma de trípode, que consiste en un gran tubo con mayor diámetro que sus 3 patas de soporte.

En aguas poco profundas este sistema es poco competitivo frente a los mono pilotes debido a que su geometría hace que su transporte e instalación se haga mucho más costosa. Estos trípodes son usados en aguas de profundidades mayores de 25 m hasta 50 m.

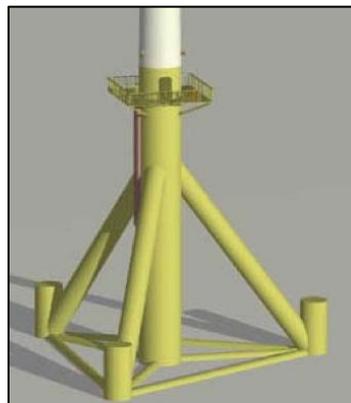


Figura 80: Imagen de trípode



Figura 81: Instalación de un trípode

Jackets:

Al igual que la fundación en forma de trípode, la de jacket se utiliza para profundidades entre 25 m y 50 m. Debido a la forma de su estructura de soporte tienen una gran rigidez y una baja masa estructural, pero tienen una mayor complejidad y cantidad de material que la cimentación tipo trípode.

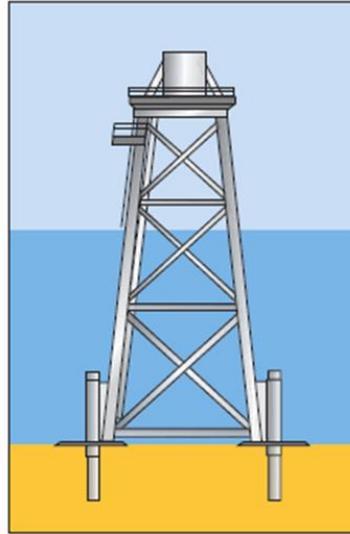


Figura 82: Imagen de Jacket



Figura 83: Instalación de Jacket

Por gravedad:

La base fundamental de este tipo de cimentación es el hormigón reforzado, son construidas en tierra para luego ser llevadas a su ubicación final.

Es necesario saber que la masa del hormigón a utilizar es proporcional al cuadrado de la profundidad, lo que hace este método bastante caro en aguas con profundidades mayores a 10 m. El principal problema de estas bases es su peso y tamaño, lo que exige un planteamiento de logística e instalación muy detallado



Figura 84: Cimentación por gravedad



Figura 85: Instalación de cimentación por gravedad

Existe otro tipo de cimentación, aunque no es una cimentación propiamente dicha, estas son las *plataformas flotantes*. Estas permiten trabajar a grandes profundidades.

Se mantienen flotando como su nombre lo indica y solo fijadas al fondo por cables que mantienen la plataforma en su sitio. En la actualidad aun cuentan con poco desarrollo, pero son una apuesta segura para las cimentaciones offshore del futuro.

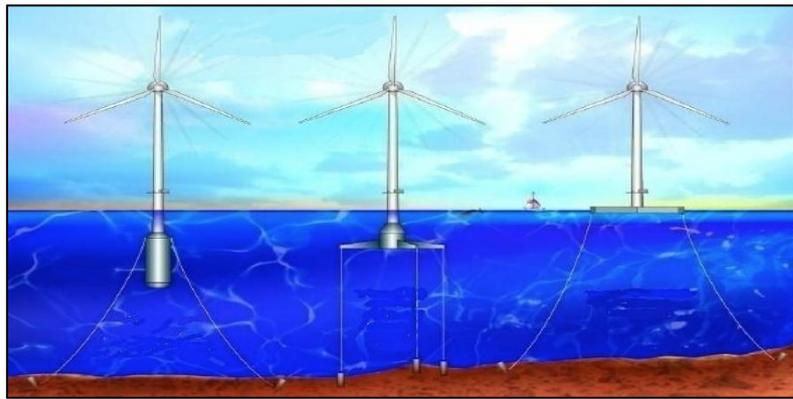


Figura 86: Tipos de plataformas flotantes

Ya visto todas las tecnologías disponibles para las cimentaciones de aerogeneradores offshore, hay que elegir el mas adecuado para este estudio.

La característica más importante a tomar en cuenta en principio, es la profundidad del emplazamiento. En este caso la profundidad media es de 20 m, solo hay dos opciones por las cuales decidirse que son: el mono pilote y la cimentación por gravedad, el resto de las opciones quedan descartadas por el coste que supone su instalación y que solo valen para aguas con mayor profundidad.

Entre la cimentación de mono pilote y de gravedad hay que ver cuál de las dos supone menor trabajo al momento de su instalación, el equipamiento y las infraestructuras necesarias para su acometida. Hasta el momento el mono pilote es la fundación más utilizada en el mundo para este tipo de proyectos, de profundidades entre 10 y 25 m. La más utilizada para parques con profundidades menores de 10 m es la cimentación por gravedad.

En este estudio la cimentación que se va a utilizar es el mono pilote dirigido, ya que se ajusta a nuestras condiciones de profundidad, presupuesto y instalación. También hay una parte muy importante que conecta el pilote con la torre del aerogenerador, llamada la pieza de transición. Se encarga de ser el acceso a la estructura para el mantenimiento, tiene la función de nivelar el pilote y debe ser fabricada específicamente para cada proyecto por lo que deben ser calculadas sus dimensiones.

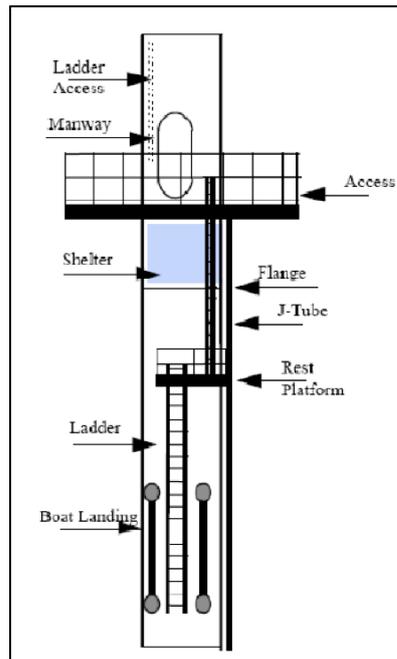


Figura 87: Imagen de pieza de transición

Para tener precisión a la hora de dimensionar el mono pilote, anchura, altura y espesor de pared, es necesario un análisis estructural profundo para saber cuales son las cargas transmitidas por cada aerogenerador en cada punto. Como el fin de este estudio es hacer un análisis técnico y financiero, no aplica conocer en detalle las características estructurales. A continuación se hace una aproximación para el dimensionamiento de los pilotes.

### 7.4.2 Dimensionamiento

Se deben conocer cuáles son las cargas que afectan a la estructura, pudiendo ser:

- Cargas muertas: Son las transmitidas al suelo por las estructuras instaladas sobre el mismo
- Cargas vivas: Son las que se producen por movimiento de maquinarias o personas sobre la estructura, como pueden ser los trabajos de operación y mantenimiento
- Cargas accidentales: Son las que se generan por viento, olas y corrientes, mareas o cargas sísmicas

Como la cimentación que se va a emplear es para soportar las cargas de un aerogenerador, este tiene que soportar las variaciones de velocidad y las turbulencias sobre el mismo que generan unos picos de frecuencia. Los estudios para rotores con tres palas establecen que hay dos frecuencias que deben ser evitadas la “1P” y “3P”. El diseño debe de hacerse teniendo en cuenta que la frecuencia de la estructura no coincida con estos dos puntos de excitación, 1P y 3P.

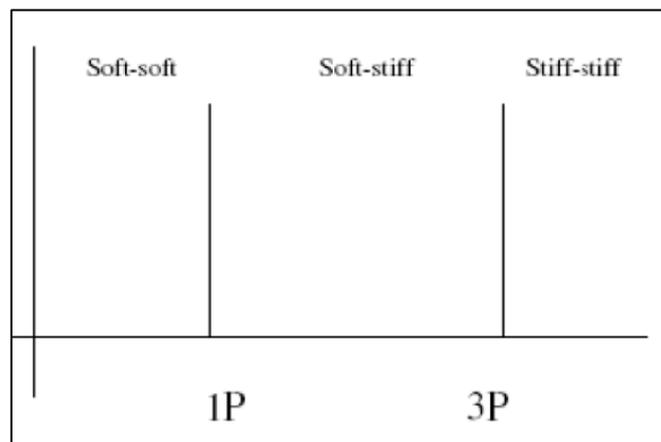


Figura 88: Frecuencia de aerogenerador

Como se ve en la figura anterior hay tres intervalos de diseño, y para el intervalo soft-soft el diámetro del pilote es mucho mas económico. El diámetro es una de las características que mayor influencia tienen en el coste de fabricación y manejo. Como se observa en la siguiente figura existen aproximaciones de diámetro dependiendo de la frecuencia natural de la estructura.

| <i>Type</i> | <i>frequency</i> | <i>Diameter</i> |
|-------------|------------------|-----------------|
| Soft-soft   | 0.25 Hz          | 2.4 m           |
| Soft-stiff  | 0.5 Hz           | 4.2 m           |
| Stiff-stiff | 1.0 Hz           | 7.4 m           |

Figura 89: Tipos de diámetro

El aerogenerador elegido para este estudio es una Siemens SWT 3.6 MW de 107 m de diámetro y una altura de torre sobre la lámina de agua de 80 m, con un peso aproximado en cabeza de 220 ton, la nacelle 125 ton y el rotor 95 ton. Como para este informe, no se ha estudiado previamente el suelo físico del emplazamiento es más fácil hacer la cimentación rígida de forma que se eviten las bajas frecuencias, por lo que optaremos por una configuración stiff-stiff.

### 7.4.3 Características del Emplazamiento

- Profundidad media: 20 m
- Rango de mareas: 1.2 a 1.8 m
- Altura de olas: 0.9 a 1.4 m

El acero a utilizar tanto como para el pilote y para la pieza de transición es el S355NL.

Dadas estas condiciones la mejor aproximación que se puede hacer es la siguiente:

#### Mono pilote

- Diámetro: 6 m
- Longitud bajo terreno: 20 m
- Longitud sobre terreno: 25 m
- Peso: 420 ton

#### Pieza de Transición

- Diámetro: 6.5 m
- Longitud: 10 m
- Peso: 101 ton

Dado a que el mono pilote pasa el largo de vida útil sumergido bajo agua de mar, es natural que este presente corrosión. En la zona no sumergida se encontrarán rayos ultra-violeta, cloruro y oxígeno por lo que la tasa de pérdida del acero es de 80 - 200  $\mu\text{m}/\text{año}$ . En la zona sumergida la tasa de pérdida del acero es del orden de 100 - 200  $\mu\text{m}/\text{año}$ .

## 7.5 SISTEMA ELÉCTRICO:

A la hora de llevar a cabo el diseño de un parque eólico marino hay que pensar además de en todo lo mencionado en los puntos anteriores, en los principales elementos de la infraestructura eléctrica de éste. Algunos de estos elementos son opcionales, como veremos en la lista de estos, por lo tanto en nuestro diseño habrá que ver cuáles de estos elementos opcionales son necesarios y cuáles no atendiendo a las necesidades de nuestro parque.

### Elementos de la infraestructura eléctrica:

- Generador + Convertidor.
- Transformador BT/MT.
- Celdas de interconexión de MT (Telecontroladas).
- Cableado submarino de interconexión de aerogeneradores en MT (“Interarray cables”).
- Subestación transformadora offshore (opcional).
- Cableado submarino de evacuación de la energía a costa en MT / AT (“export cables”).
- Caja de transición (“Transitionpit”, opcional).
- Subestación transformadora terrestre (opcional).
- Cableado subterráneo ó tendido aéreo hasta punto de conexión.
- Sistemas de compensación de reactiva (opcional).

### 7.5.1 Configuración

Con subestación transformadora “Offshore”): Generadores + Convertidores, transformadores MT, celdas de MT, cableado submarino MT, subestación transformadora offshore, cableado submarino de AT, caja de transición, compensador de reactiva (opcional), cableado subterráneo-aéreo hasta el punto de conexión.

### 7.5.2 Centros de transformación

Se ha elegido el aerogenerador Siemens SWT-170-3.6. Los centros de transformación son los encargados de elevar la tensión a la que genera el aerogenerador en cuestión para de esta forma reducir pérdidas. Estos centros de transformación elevarán la tensión a la que genera nuestro aerogenerador, de 690 V a 33 kV. Las pérdidas de vacío de estos son de 3,7 kW y las pérdidas de carga son de 34,5 kW.

Los transformadores de estos centros de transformación pueden estar situados en cuatro ubicaciones distintas:

En el interior de las torres:

El transformador puede ser preinstalado en tierra dentro de la torre y también es posible aunque menos usual, instalarlo cuando la torre ya está instalada.

La principal ventaja de esta opción es el menor coste económico comparado con las otras opciones, pero por otro lado un transformador instalado dentro de la torre es más difícil de remplazar en caso de que éste sufra una avería

En la plataforma de acceso:

Esta ubicación tiene la ventaja principal de una fácil instalación y remplazo en caso de avería. Sin embargo, el coste asociado es muy elevado.

Transformador ubicado únicamente en la subestación:

Esta opción implicaría no instalar transformadores en los aerogeneradores e instalarlos únicamente en la subestación. Por lo tanto es descartada ya que las pérdidas eléctricas serían tremendas.

Dentro de la nacelle:

La principal ventaja consiste en la posibilidad de probar éste combinado con el generador, estando además instalado muy cerca de éste.

Una vez analizadas todas estas situaciones, se decide, principalmente por motivos económicos, que los transformadores estarán situados en el interior de las torres de los propios aerogeneradores y en cada uno de ellos se deben instalar los elementos de seguridad necesarios para efectuar las maniobras pertinentes.

El centro de transformación se compone de dos elementos básicos: celda y transformador:

#### Celdas de interconexión de media tensión (MT)

Se proyecta la instalación de celdas modulares con aislamiento de gas SF<sub>6</sub>, tanto en corte como en aparataje, y conexiones enchufables para los cables MT. Este tipo de celdas han sido elegidas porque presentan las siguientes ventajas:

- Insensibilidad ambiental.
- Dimensiones reducidas, lo que permite su ubicación en el interior de las torres.
- No se precisa mantenimiento, importante en instalaciones offshore.
- El arco de corte es interno, por lo que tienen mayor seguridad.

Las celdas estarán dimensionadas con tensión de 33 kV, e intensidades nominales de 400 ó 630 A, en función de su ubicación en el sistema colector. Se dispone de tres tipos de celdas (celda de protección del transformador, celda de línea, y celda de remonte), de manera que se puedan conseguir las tres configuraciones existentes (final de línea, ramificación, y maquina intermedia).

Las celdas de interconexión en Media Tensión existentes en el mercado presentan una intensidad nominal máxima de 630 A. Dicha condición representa una limitación en la cantidad de potencia que puede ser evacuada por cada circuito como vemos en la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3 \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi} = \sqrt{3 \cdot 33000 \cdot 630 \cdot 0,9} = 32,4 \text{ MW}$$

$$P(9\text{generadores}) = 9 \cdot 3,6 = 32,4 \text{ MW}$$

Según ella, el máximo número de aerogeneradores que pueden ser interconectados en un mismo circuito eléctrico son 9.

### Transformadores

A la hora de la elección del transformador de cada aerogenerador para elevar la tensión de

BT/MT, se ha optado por los transformadores en baño de aceite debido a las siguientes ventajas en relación con los transformadores de tipo encapsulado:

- Menor costo unitario. En la actualidad su precio es del orden de la mitad que el de uno seco de la misma potencia y tensión.
- Menor nivel de ruido.
- Menores pérdidas de vacío.
- Mejor control de funcionamiento.
- Mayor resistencia a las sobretensiones y a las sobrecargas prolongadas.

Los transformadores serán dimensionados de manera que puedan evacuar la potencia nominal del aerogenerador, con un factor de potencia de 0,9 (aunque está previsto que el factor de potencia en barras BT del transformador sea de un 0,99) y con una tensión un 5% inferior a la nominal. De esta forma la potencia nominal del transformador será:

$$P = \frac{3600kW}{0,9} = 4000kVA$$

### **7.5.3. Ingeniería de la ruta del cableado**

Para el diseño de la ruta del cable submarino y fijación de sus puntos de aterrizaje, además de conocer la geología de la zona, ya mostrada en putos anteriores, es necesario realizar diversos estudios relacionados con las características del suelo. Entre estos se encuentran:

- Estudio de Suelos (“Groundinvestigation”), mediante medios geofísicos (ecosonda, SBL, geopulse, perfilador) y geotécnicos (Vibrocorers, cuchara de Van Veen, piezoconos/CPTU).
- Estudio de la dinámica de suelos (“Burial assessment survey”) y de sistemas de protección del cableado (“Burial protection index”).
- Estudio detallado de los diferentes métodos para la realización de la aproximación de los cables a tierra. Topografía de detalle de la zona de aproximación (bien sea por zanja [“open trenching”] o por hinca [“HDD”, “horizontal directional drilling”]).
- Tests previos a la instalación (“Trial plough” y “Pre-lay grapnelrun”).

Con el resultado de las pruebas se realizará el cálculo del *slack*, es decir, la diferencia en distancia entre una línea recta asociada a dos puntos de aterrizaje y la cantidad real de cable siguiendo la ruta preestablecida. Gracias a estos estudios se conocerán las posibles obstrucciones existentes en la ruta (rocas, escombros).

Para el trazado de dicha ruta se recomienda evitar las corrientes superiores a los 5 nudos (9.6 km/h) y las zonas de actividad pesquera o zonas cercanas de anclaje de barcos, analizadas en el punto correspondiente al medioambiente.

Se utilizará la perforación direccional, perforación horizontal dirigida o HDD para minimizar el impacto sobre la zona cuando nos encontremos en las cercanías costeras. Consiste en un método dirigible, sin zanjas, para la instalación subterránea de cables en un arco superficial a lo largo de una trayectoria taladrada prescrita, utilizando una plataforma de perforación lanzada de superficie.

#### 7.5.4. Sistemas de transmisión de alta tensión en corriente alterna (CA)

Este es el tipo de configuración que se utiliza en parques eólicos marinos de gran potencia como será nuestro caso.

Esta configuración consiste en:

- Red de interconexión entre aerogeneradores.
- Subestación elevadora offshore.
- Cable submarino.
- Subestación para conexión a la red general de distribución.

En la siguiente figura se puede observar el sistema de transmisión de alta tensión en corriente alterna (CA), para evitar las pérdidas de transporte hay que compensar la reactiva antes y después del cable submarino.

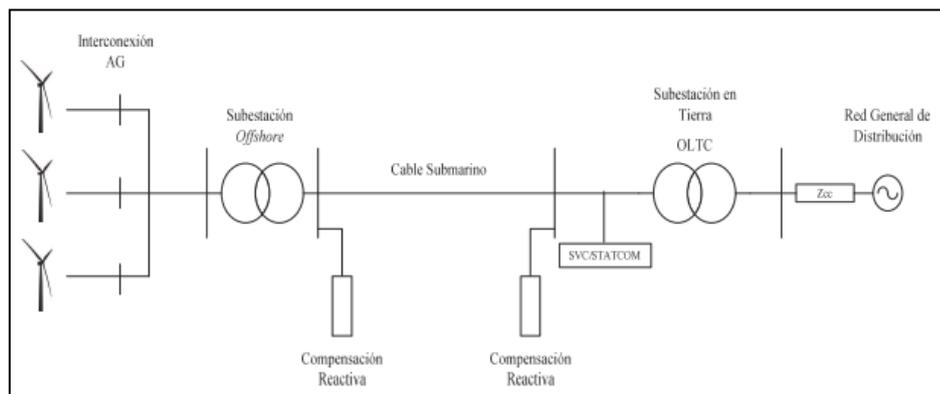


Figura 90. Sistema de Transmisión de alta tensión

## 7.6 CABLEADO

La elección de los cables de cada tramo empleado en este proyecto se justifica mediante los cálculos realizados en el apartado (CÁLCULOS) SELECCIÓN Y DIMENSIONADO DE CABLES.

A continuación se detallarán los cables empleados en cada tramo diferenciando entre:

-Zona de 30 kV: En la que se incluyen los cables del parque eólico correspondientes a la unión entre los distintos aerogeneradores así como el tramo que va hasta la subestación offshore.

-Tramo de 132 kV submarino: En la que se determina el cableado empleado para la evacuación de la energía desde la subestación en mar hasta tierra.

-Tramo 132 kV subterráneo: En el que se detalla el cable empleado desde que se llega a tierra hasta la subestación instalada en tierra.

### 7.6.1. Tramo 30 kV : Red interna del parque

Para el tramo de cable que va desde el parque eólico a la subestación offshore tiene las siguientes características:

|   |                         |                                 |
|---|-------------------------|---------------------------------|
|  | Fabricante              | ABB                             |
|   | Tipo                    | 3x240mm <sup>2</sup> (tripolar) |
|   | Tensión máxima asignada | 36kV(U <sub>máx</sub> )         |
|   | Material del conductor  | Cobre                           |
|   | Sección del conductor   | 240mm <sup>2</sup>              |
|   | Revestimiento           | 35mm <sup>2</sup>               |
|   | Diámetro del cable      | 87mm                            |
|   | Peso                    | 11.6kg/m                        |

Figura 91a: Cable tramo 30 kV

El resto de cables que conectarán cada aerogenerador con el siguiente, son del mismo tipo y fabricante pero de secciones que van desde los 16mm<sup>2</sup> hasta 240mm<sup>2</sup>.

#### 7.6.1.2. Tramo 132kV submarino:

El cable que conecta la subestación offshore con la costa será un cable unipolar colocado en forma de trébol, 2 ramas, con las siguientes características:

|   |                         |                           |
|---|-------------------------|---------------------------|
|  | Fabricante              | ABB                       |
|   | Tipo                    | 3x(1x300mm <sup>2</sup> ) |
|   | Tensión máxima asignada | 145 kV(U <sub>máx</sub> ) |
|   | Material del conductor  | Cobre                     |
|   | Sección del conductor   | 300mm <sup>2</sup>        |
|   | Revestimiento           | 95mm <sup>2</sup>         |
|   | Diámetro del cable      | 65mm                      |
|   | Peso                    | 6.3kg/m                   |

Figura 91b: Cable tramo 132 kV

#### 7.6.1.3. Tramo 132kV subterráneo:

El cable que conecta desde la costa subterráneamente con la subestación onshore será unipolar colocado en forma de trébol, con las siguientes características:

|   |                         |                           |
|---|-------------------------|---------------------------|
|  | Fabricante              | ABB                       |
|   | Tipo                    | 3x(1x300mm <sup>2</sup> ) |
|   | Tensión máxima asignada | 145 kV(U <sub>máx</sub> ) |
|   | Material del conductor  | Cobre                     |
|   | Sección del conductor   | 300mm <sup>2</sup>        |
|   | Revestimiento           | 95mm <sup>2</sup>         |
|   | Diámetro del cable      | 65mm                      |
|   | Peso                    | 6.3kg/m                   |

Figura 91c: Cable tramo 132kv subterráneo

### 7.6.2. Subestación 30 kV/132 kV

Para parques en donde la conexión a tierra requiera tensiones mayores a 33 kV (generalmente mayores a 40MW, tal y como es nuestro caso), se necesitará aumentar el voltaje en una subestación en el mar.

Antes de entrar en detalle de cada elemento eléctrico que compondrá la subestación en mar, es útil tener una imagen de cómo es físicamente una subestación de este tipo y sus elementos constructivos:

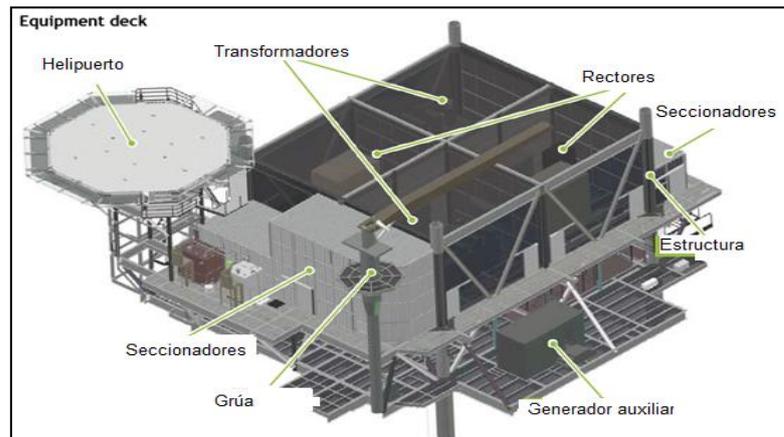


Figura 92a. Subestación (Vista1)

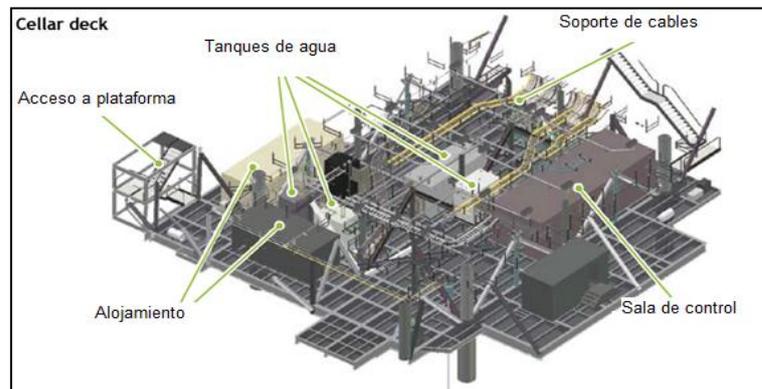


Figura 92b. Subestación (Vista2)

La subestación en cuestión se localizará a 1.5km del parque eólico (desde el centro del mismo), a 15km de la costa de Atlantic City. El nivel de la plataforma en la que se sitúa suele estar aproximadamente en 25m sobre el nivel del mar y típicamente tienen un área de 800m<sup>2</sup>.

Las subestaciones se pueden considerar como un único elemento que conecta el parque eólico con la red. Suele llegar a pesar hasta 2000ton y pueden llegar a soportar potencias de 500MW. Aunque las subestaciones no están siendo utilizadas como plataformas de servicio de forma habitual, se

prevé que las subestaciones situadas lejos de la costa tendrán funciones adicionales, como servir de refugio, o estar provisto para ser de alojamiento de los operarios.

Dicha subestación constará de diez posiciones de entrada de línea a 30 kV. A continuación se elevará la tensión a 132 kV en dos posiciones de transformador, y por último, se dispondrá de dos posiciones de línea que llevarán la energía a un nivel de alta de 132 kV hasta la subestación en tierra.

### **7.6.3 Subestación 132 kV/400 kV:**

Finalmente, una vez realizada la evacuación de la energía del parque eólico desde mar a tierra en alta tensión (132 kV), que es el objetivo del presente proyecto, realizaremos una última transformación a un nivel de 400 kV para unirnos a la compañía de transporte y distribución que corresponda. Esta subestación estará situada en las inmediaciones del puerto de Atlantic City.

## 8. LOGÍSTICA

### 8.1. PUERTOS

En esta sección se pretende analizar las partes de transporte de los equipos hasta el emplazamiento. El transporte será de tipo marítimo, con barcos, por lo que es necesario ver cuales son los puertos cerca del sitio para hacer el embarco de las partes en las naves. Es esencial un espacio de tierra adecuado para la entrega, posterior almacenaje y carga en los buques. El mismo tiene que tener las dimensiones y instalaciones necesarias para llevar a cabo el trabajo, así como también la accesibilidad para hacer llegar las piezas, de dimensiones considerables.

Es importante tener en cuenta la proximidad que tiene el puerto a el sitio del parque eólico, debido a los costes que supone el transporte y planificación de las piezas del mismo. En la siguiente imagen se muestran cuales son los puertos principales, cerca de la zona del emplazamiento dentro del estado de New Jersey.

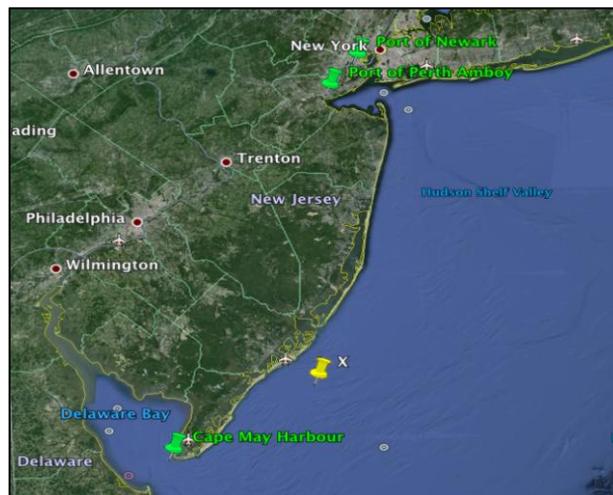


Figura 93. Puertos en estado New Jersey

En esta imagen se pueden visualizar 3 puertos en el estado de New Jersey: Cape May Harbour, Port of Perth Amboy y Port of Newark. De estos puertos, el único que posee las instalaciones y características necesarias para el transporte y montaje de los componentes del parque es el puerto de Newark. Este puerto tiene acceso por carretera, ferrocarril y con el aeropuerto de Newark a solo 1 km, equipos pesados y grúas con capacidad de hasta 500 ton, la única desventaja es que se encuentra a 90 millas náuticas del emplazamiento. Pero este es el puerto mas cercano al emplazamiento con la capacidad para afrontar los retos que presenta el montaje de un parque eólico offshore.

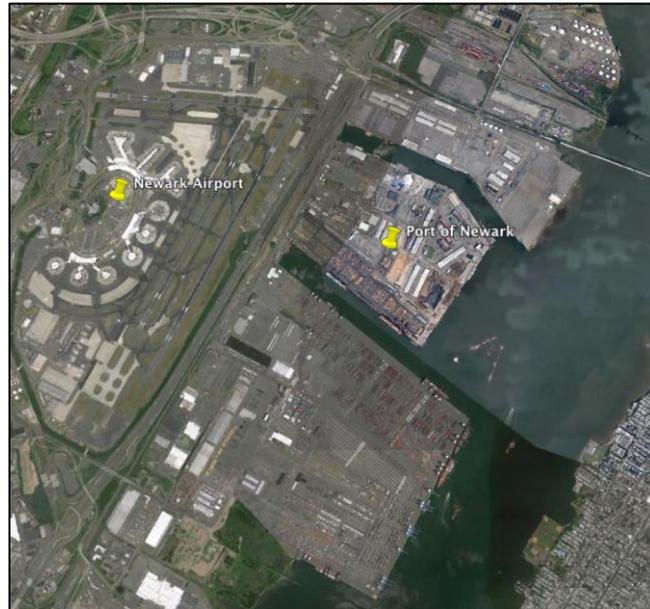


Figura 94. Imagen del Puerto de Newark

### 8.1.1. Puerto de Newark

El Puerto de Newark, es parte del complejo de Port of New York and New Jersey considerado uno de los mayores puertos naturales del mundo, fundado en el 1921. Es el tercer puerto mas grande de los Estados Unidos y el mas grande de toda la costa este del país. Comprende el área entre el estado de New Jersey y el estado de New York, y aprovecha la bahía de Newark y el Hudson River, desembocando en el Océano Atlántico.

El puerto de Newark está conectado por aire con los siguientes aeropuertos: John F. Kennedy International Airport, LaGuardia Airport, Newark Liberty International Airport, Stewart International Airport y Teterboro Airport. Está conectado con el estado de New York por un sistema de ferrocarril y accesible por una carretera (New Jersey Turnpike) de 3 carriles en ambos sentidos. Solo hay un puente que las embarcaciones deberían cruzar que es el de Bayonne Bridge, con una altura de 46 m.

Ventajas:

- El puerto cuenta con múltiples accesos, por carretera, por aeropuerto, por ferrocarril y por mar
- Tiene una gran capacidad de almacenamiento
- Es parte del complejo de Port of New York and New Jersey, el puerto mas grande de la costa este de los Estados Unidos
- Posee muchos cuerpos de agua a su alrededor
- Posee las instalaciones necesarias para montar y desmontar los componentes del parque

Desventajas:

- Se encuentra a 90 millas náuticas del emplazamiento del parque

Las características mínimas deseadas para puertos, para el desarrollo de un parque eólico offshore es la siguiente:

- 7 m de profundidad de agua en marea baja
- 137 m mínimos de atraque
- 40 m de apertura en el canal del puerto
- Ninguna limitación de altura en el puerto

Todas estas características mínimas se ven cumplidas por el Puerto de Newark.

En las siguientes imágenes se puede ver las características que posee el puerto de Newark.



Figura 95 Imagen de las instalaciones del Port of New York and New Jersey

En la siguiente figura se puede observar el acceso que tiene el puerto por vías ferroviarias. El puerto tiene acceso por 4 diferentes vías, provenientes del sur, norte, suroeste y este del puerto.



Figura 96. Imagen de acceso al puerto por ferrocarril

En la siguiente figura se puede ver mas en detalle a que parte del país conectan estas rutas.



Figura 97. Imagen de conexión por vías ferroviarias

El acceso por carretera a este puerto es también bastante importante. En la siguiente imagen se puede visualizar cuales son las vías más grandes que conectan el puerto de Newark.

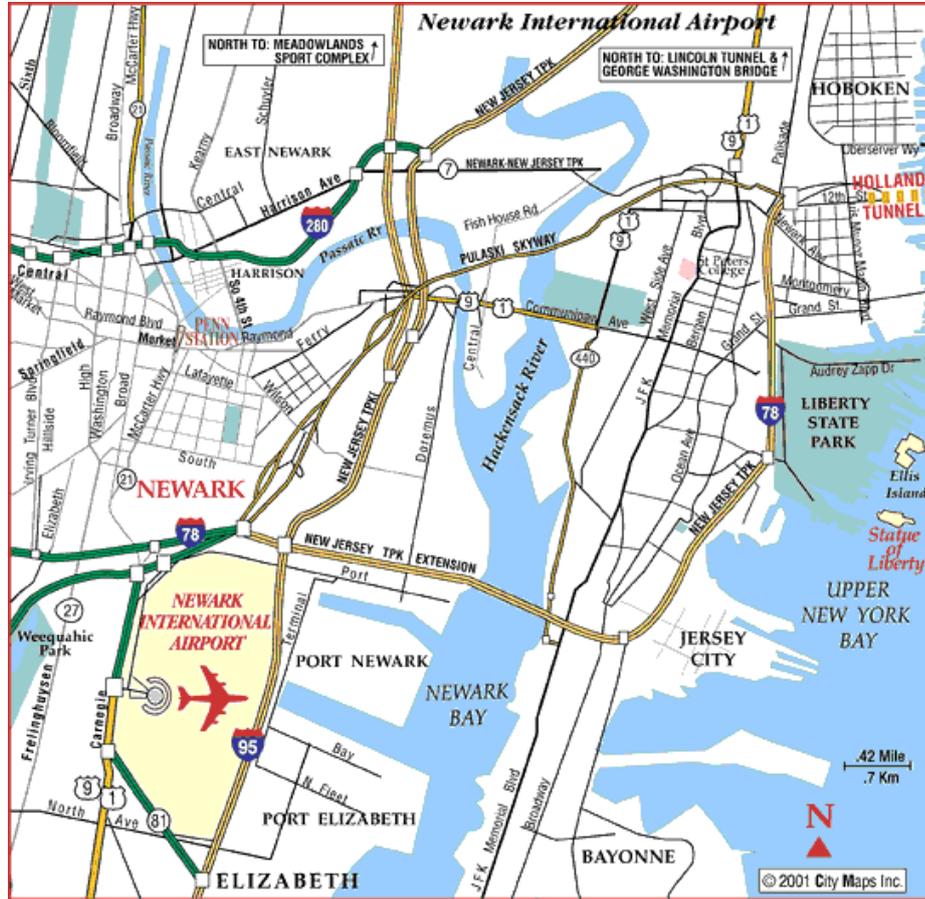


Figura 98. Imagen de acceso por carretera al puerto de Newark

## 8.2. LOGÍSTICA

Hay que resaltar que actualmente muy pocos componentes de los aerogeneradores marinos empleados son fabricados en los Estados Unidos, por lo tanto casi todas las piezas que componen la turbina serán fabricadas y enviadas desde Europa. Por lo tanto se debe seleccionar un lugar para recibir y almacenar dichas piezas en el puerto. El puerto cuenta con servicios de almacenamiento, por parte de empresas privadas, que cobran por guardar material en una de sus naves industriales. Nuestra empresa de almacenamiento será Kinder Morgan Bulk Terminals, marcado con un 10, en la siguiente figura.

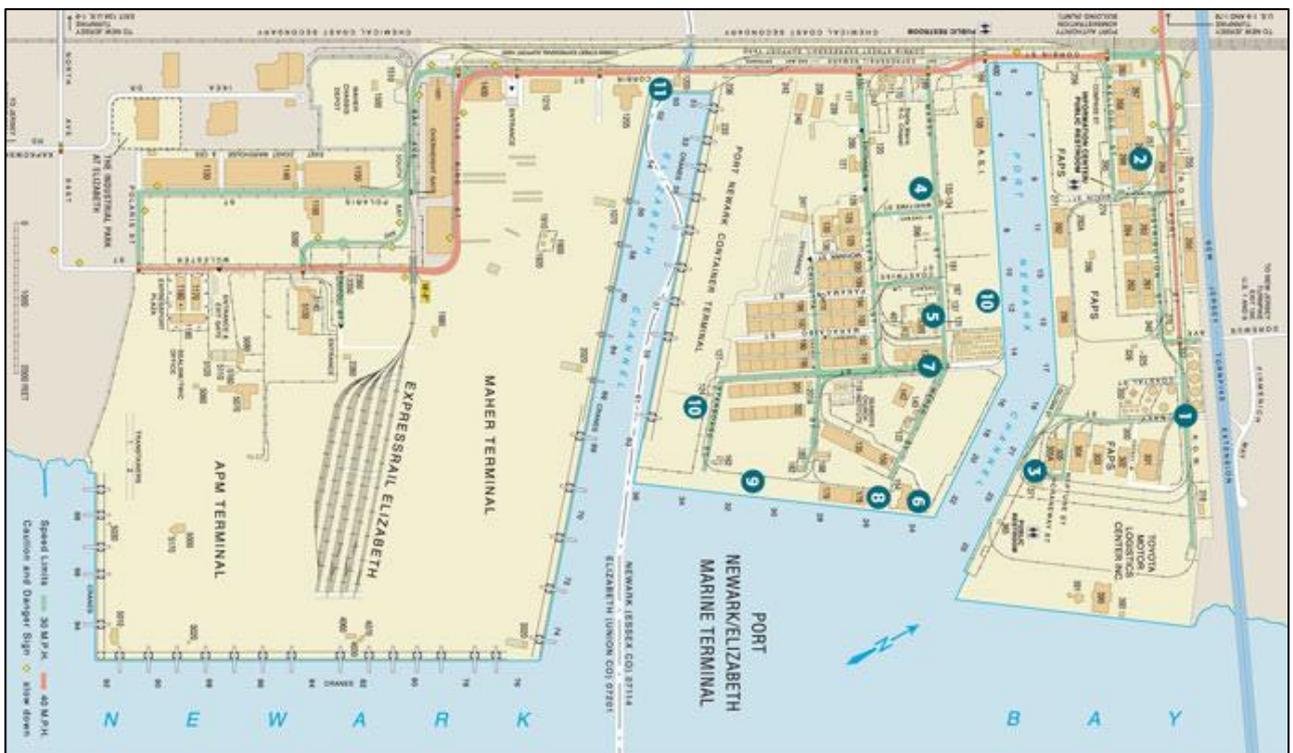


Figura 99. Almacén (10)

Para este proyecto el fabricante y suministrador de las máquinas es Siemens, que serán fabricadas y almacenadas hasta la entrega en Dinamarca. El suministro se hará con una proporción de 6 máquinas por buque, necesitando 15 viajes para la entrega total de las 90 máquinas necesarias.

A medida que las piezas vayan llegando al puerto, se procederá a realizar la instalación de la misma, para así evitar la congestión de piezas en el almacén. De esta manera, si se hacen las entregas por los suplidores a tiempo, se podrá usar el tiempo de forma efectiva y así aprovechar el espacio. El Puerto de Newark cuenta con las grúas necesarias para hacer el montaje de ellas en los buques de transporte.



Figura 100. Imagen de las grúas del puerto



Figura 101. Estructura en celosía para elevación de palas

Una vez montadas las piezas en los buques de transporte este deberá seguir una ruta hasta el emplazamiento. Los buques deberán salir rumbo sur por el Newark Bay Channel y aquí se toparán con el Bayonne Bridge, donde podrán pasar los 46 m sin problemas. Luego girarán rumbo este por el Kill Van Kull, luego entraran a la Upper Bay donde pondrán rumbo sur de nuevo por el Ambrose Channel donde se toparán nuevamente con otro puente, el Verrazano - Narrows Bridge, de 70 m de altura. Al pasar por este puente los buques desembocaran el Lower Bay hasta llegar posteriormente al Océano Atlántico, donde pondrán rumbo sur hasta llegar al emplazamiento.



Figura 102. Trayecto de los buques al salir del puerto



Figura 103. Imagen del Bayonne Bridge de 46 m de altura



Figura 104. Imagen del Verrazano - Narrows Bridge de 70 m de altura

## 9. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

En este apartado se pretende detallar la secuencia a seguir para la instalación de las piezas en el parque. Una parte fundamental en este proceso y la primera a ejecutar es el transporte de los componentes a la zona de acción. Como se ha establecido anteriormente en este estudio, las maquinas y palas, y demás piezas mecánicas serán llevadas desde el almacén en el puerto hasta el emplazamiento. Los mono pilotes y piezas de transición serán llevados desde el área de fabricación cercano al puerto por la empresa Gulf Island Fabrication, y ahí montadas en un buque de carga ayudado por un remolcador.

### 9.1. INSTALACIÓN DE MONO PILOTE Y PIEZA DE TRANSICIÓN

A continuación se explica el proceso de transporte e instalación de los mono pilotes y piezas de transición, seguido por imágenes descriptivas.

- Primero se deben cargar los mono pilotes con grúas en el puerto y ser depositadas en los buques
- Luego son transportadas estas piezas hasta la zona de acción
- Aquí se utiliza el método Jack-up para el izado de los pilotes
- También se utiliza un gripper, cuya función es dar estabilidad al pilote actuando como abrazadera
- Posteriormente es necesario tener el pilote en posición vertical, antes de clavarlo en el fondo marino utilizando un martillo hidráulico
- Ya situado el mono pilote el martillo se encarga de empotrarlo buscando la profundidad deseada
- Una vez situado el mono pilote es la hora de adherir la pieza de transición
- El proceso es el mismo, a diferencia que la pieza va adherida al mono pilote y no al fondo marino
- Después se procede a vaciar de hormigón la pieza de transición en todo su interior
- Finalmente una barcaza de vertidos se utilizará para colocar piedras alrededor del pilote para protegerlo de la erosión



Figura 105. Transporte de pilotes hasta el puerto



Figura 106. Imagen de descarga en el buque



Figura 107. Izado de pilote mediante el upending



Figura 108. Colocación del gripper alrededor del mono pilote



Figura 109. Colocación vertical del pilote previo al stabbing



Figura 110: Colocación del martillo hidráulico



Figura 111. Mono pilotes instalados



Figura 112. Transporte de la pieza de transición



Figura 113. Colocación de la pieza de transición sobre el mono pilote



Figura 114. Pieza de transición instalada

El número total de mono pilotes a instalar en este parque es de 92, 90 para los aerogeneradores y 2 más para la subestación marina.

## 9.2. INSTALACIÓN DE LA TURBINA

Como se comentó anteriormente el proveedor de los aerogeneradores hará entrega en el Puerto de Newark, donde estos serán almacenados para luego ser transportados hasta el emplazamiento del parque. Las piezas que componen esta parte son la nacelle y el buje previamente montados por el fabricante, las palas y la torre. Los buques de transporte serán cargados en el puerto para construir entre 6 y 7 aerogeneradores por cada buque.

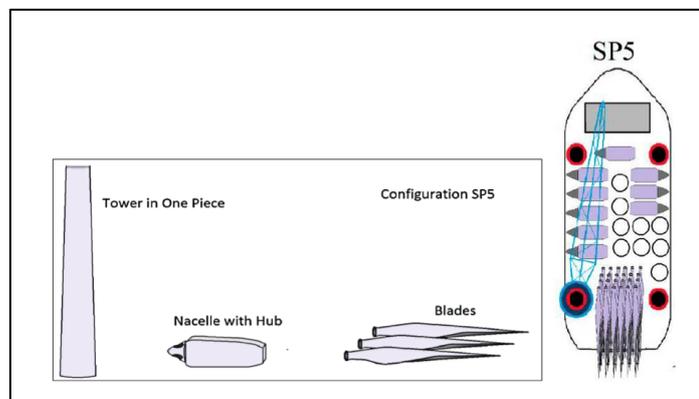


Figura 115. Distribución de las partes del aerogenerador

El proceso de instalación de los aerogeneradores es bastante similar a la instalación del pilote, en cuanto a logística de transporte se refiere. Se necesitan 2 embarcaciones Jack-up en la zona de acción, durante el tiempo que dure la instalación, mientras que los buques de transporte permanecerán haciendo viajes entre el puerto y el emplazamiento del proyecto.

La grúa que está en el buque, colocará la torre sobre la pieza de transición, luego se elevará el buje con la nacelle, asegurándola en la parte superior de la torre. Posteriormente se irán instalando cada una de las palas al buje.

Este proceso dura aproximadamente 1 día por aerogenerador, teniendo en cuenta que se deben montar 90 turbinas, entre 15 y 18 viajes entre el puerto y la zona de acción y que la instalación de los aerogeneradores se hará con la instalación de los mono pilotes y piezas de transición, se prevé una duración de 6 a 8 meses, con posibles demoras por mal tiempo.



Figura 116. Transporte de los componentes a la zona de acción



Figura 117. Instalación del buje y la nacelle sobre la torre



Figura 118. Instalación de las palas sobre el buje



Figura 119. Aspecto final de las turbinas

## 10. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En todos los parques eólicos es necesario llevar a cabo diversas tareas de mantenimiento a lo largo de toda su vida útil, que resultan fundamentales para poder maximizar sus horas de operación. Esto es aún más importante, si cabe, en los parques eólicos marinos, en los que las horas de indisponibilidad llevan consigo cuantiosas pérdidas.

El nivel de accesibilidad de un parque offshore delimita en parte su disponibilidad, luego debe de planearse con detalle y, si fuera posible, deberían realizarse simulaciones al respecto. Cada proyecto debe de caracterizarse bien para poder determinar así los medios óptimos (técnicos y humanos) en función de las condiciones meteorológicas habituales, distancias a puertos más cercanos, necesidades durante las operaciones de mantenimiento (dimensiones, pesos, personal específico), tasas de fallo de los componentes de la instalación, costes por indisponibilidad, reparaciones, etc. u otras características importantes.

Por tanto, resulta imprescindible identificar aquellos puertos desde los que es viable operar. Con este fin, es necesario analizar la distancia que hay desde el parque eólico a los puertos más cercanos, prestando especial interés a puertos de gran envergadura, que permitan la entrada de grandes buques, para que sea posible cargar, descargar y operar con las diferentes partes del aerogenerador, así como analizar también la disponibilidad de puntos de atraque, superficies de trabajo y acopio, etc. De esta forma, interesa conocer la superficie ocupada físicamente y sus áreas de influencia en la actualidad, así como las que podrían llegar a ocupar en un futuro. A continuación se mencionan las principales características de los dos puertos más cercanos a los emplazamientos de nuestros parques que podrían satisfacer las necesidades de instalación y mantenimiento del proyecto. Sin embargo, el estudio detallado de las características técnicas de las diferentes dársenas de los puertos no es objeto de estudio del presente proyecto.

Como ya se ha dicho anteriormente, las horas de indisponibilidad de un parque eólico tienen un efecto directo sobre la rentabilidad del mismo. Por ello, es indispensable que las tareas de mantenimiento sean de calidad y se lleven a cabo con la frecuencia adecuada.

Existen tres tipos de mantenimiento, preventivo, predictivo y correctivo todos ellos de suma importancia.

## 10.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En primer lugar, el mantenimiento de tipo preventivo consiste en la inspección de equipos y la detección de fallos en su fase inicial, mediante la programación de inspecciones periódicas, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, etc.

## 10.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En segundo lugar, el mantenimiento predictivo se basa fundamentalmente en detectar un fallo antes de que éste suceda, reduciendo los tiempos de parada y permitiendo planificar la reparación sin detener la producción (por ejemplo, en un día sin viento). Las tareas de mantenimiento predictivo pasan por realizar análisis de vibraciones, termografías de esfuerzos, análisis por endoscopia, análisis de ruidos, etc.

Hasta el momento, en la mayoría de los parques eólicos se ha venido aplicando mantenimiento preventivo pues los costes de los medios para realizar mantenimiento predictivo han sido altos en relación a los riesgos que cubrían y además provenían de otras industrias y no estaban adaptados a las particularidades de la eólica.

Pero actualmente estos medios son más fiables y cubren a menor coste (parques de menos aerogeneradores) unos riesgos de mayor valor (aerogeneradores de gran potencia).

El escenario actual favorece la implantación del mantenimiento predictivo en los próximos años, si es así puede que esta implantación se aplique retroactivamente a parques ya en funcionamiento.

En nuestro caso, en parques offshore esta situación será aún más acusada debido a que los costes de mantenimiento serán más elevados que en 'onshore' por las dificultades de intervención en los aerogeneradores por:

- Su lejanía a la costa (varias decenas de km; en algunos proyectos a cientos de km)
- A los largos periodos (varias semanas) de acceso prohibido por causa de temporales meteorológicos
- A la escasez de medios disponibles (plataformas de mantenimiento offshore equivalentes a las grandes grúas de tierra)

### **10.2.1 Sistematización del mantenimiento predictivo:**

- Monitorización continua de todos los componentes.
- Realización de campañas de medidas con cámara termo gráfica.
- Análisis de vibraciones.
- Análisis de aceite y ferrograrías
- Sensores para análisis de temperaturas en rodamientos y sistema de lubricación.
- Inspecciones visuales en engranajes de la multiplicadora para evitar micropitting.
- Inspecciones visuales en las palas
- Realización de campañas de medidas con acelerómetros
- Diseño de herramientas para análisis de alarmas y establecimiento de acciones concretas en función de resultados

### **10.2.2 Inspecciones**

Las inspecciones se realizan en el propio aerogenerador. En ellas se comprueba el estado de los componentes.

Proporcionan la información más fiable del estado real del aerogenerador. Pero consumen muchos recursos humanos. Además su realización suele implicar la parada del aerogenerador.

La mayor parte de la información es cualitativa lo que dificulta los estudios de tendencias.

Por tanto son de aplicación: Para seguimiento de deterioro de componentes que evolucionan lentamente (el aumento del deterioro es pequeño durante el periodo entre inspecciones).

Para comprobación de estado real del componente una vez que otros métodos (monitorización de estado o contadores de fatiga) han predicho que se ha alcanzado un nivel de deterioro significativo.

Durante los mantenimientos preventivos habituales del aerogenerador (1 -2 veces al año).



Figura 120. Tipos de Inspecciones

### 10.2.3 Condition monitoring

Además de tener identificados los modos de fallo y sus síntomas, tienen que tener definidos niveles de alarma (aviso; fallo inminente) ajustados al caso. Normalmente han de afinarse tras un periodo de aprendizaje que será más acertado cuantos más aerogeneradores contemple.

La dependencia del comportamiento de los componentes con el nivel de carga del aerogenerador hace que los sistemas de condition monitoring tengan que tener acceso a información como la potencia, la velocidad de giro, la velocidad de viento, etc.

Producen una gran cantidad de datos. Deben organizarse en 2 niveles: un nivel procesado y resumido para el personal de control del parque; un nivel ordenado pero no procesado para los analistas.

Los datos deben almacenarse para hacer estudios de tendencias y comparativas entre aerogeneradores.

Los Sistemas de CONDITION MONITORING realizan un seguimiento (monitorización) de parámetros de funcionamiento (condición) del aerogenerador para ante la evidencia de cambios en esos parámetros detectar posibles futuras averías en etapas muy iniciales.

Esta definición es muy amplia y puede englobar a la totalidad de técnicas, pero vamos utilizar el término CM para equipos comerciales autónomos compuestos de hardware (acelerómetros, galgas, contadores partículas, tarjetas de adquisición,...) y software propio.

-Principales tecnologías de Condition Monitoring disponibles actualmente en eólica: Análisis de vibraciones del tren de potencia.

-Contenido en partículas del aceite de la multiplicadora.

-Deformaciones en palas.

#### Analizador de vibraciones

Incorporados a la eólica desde otros campos industriales, donde tenían gran difusión y éxito desde la década de los 80. En eólica encuentran dificultades a su entrada en los 90: tanto técnicas (cargas y velocidades variables, bajas frecuencias en zona rotor, múltiples frecuencias superpuestas en zona planetaria); como económicas (coste de analizadores alto frente a aerogeneradores de poca potencia y muchas unidades).

Han tenido desde entonces un gran desarrollo técnico (sobre todo promovido por las casas de seguros en Alemania) y actualmente existen analizadores específicamente desarrollados para eólica y el hecho de ser los aerogeneradores actuales de mayor potencia y menos unidades está permitiendo su difusión como una tecnología aplicada en eólica.

Su principal ventaja es su capacidad para detectar futuras averías en etapas muy tempranas (meses de anticipación)



Figura 121. Análisis de vibraciones



Figura 122. Análisis de vibraciones 2

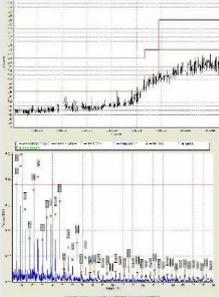
¿Periódica o continua?

|  | Medición periódica  | Medición continua  |
|--|---|--|
| Coste material   | Bajo, por ejemplo un registrador por cada 50 aerogeneradores  | Alto, depende del proveedor y la disponibilidad de las conexiones  |
| Coste mano de obra   | Alto, puede requerir subidas adicionales  | Bajo, las actuaciones pueden ser programadas en cualquier momento  |
| Precisión  | Pueden perder sucesos difícil mostrar la tendencia y propensos a introducir errores                           | Alta, muestra la tendencia continuamente   |
| Adecuación al régimen de funcionamiento de los aerogeneradores | Baja. No es posible asegurar que el día de la medición tendremos iguales condiciones de viento que otros días | Altas si el sistema capta también parámetros de funcionamiento como velocidad de giro y potencia eléctrica y permite adecuar el análisis a ellos |

Figura 123. Modelos de medición

**CONDITION MONITORING. ANALIZADOR DE VIBRACIONES**

- ❑ Existen 2 estándares para sistemas de análisis de vibraciones on-line: *Requirements for Condition Monitoring for Wind Turbines*, publicado por Allianz ; y *Guideline for Condition Monitoring Systems for Wind Turbines*, publicado por Germanisher Lloyds.

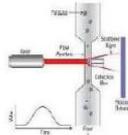



- ❑ Daños de fatiga en engranaje de etapa planetaria de multiplicadora de 1,5 MW. EL engranaje fue reemplazado en la propia góndola sin bajar el multiplicador. El coste de la operación fue de 7 500 €. Se evitó el fallo catastrófico de la multiplicadora.
- ❑ Por el contrario el reemplazo de una multiplicadora de 1,5 MW por fallo catastrófico suele costar entre 175 000 y 225 000 €.

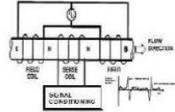
Figura 124

**CONDITION MONITORING. PRESENCIA DE PARTÍCULAS DE ACEITE**

**Contadores de partículas ópticos**

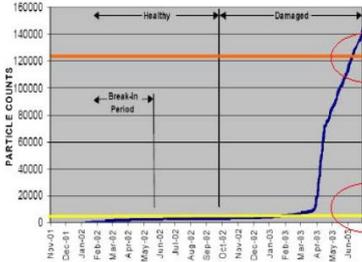


**Contadores de partículas inductivos**





Sensor montado entre la bomba y el filtro



**Alarma de reemplazo de componente:**



8 meses antes de alcanzar la alarma de reemplazo de componente ya se alcanzó el nivel de alerta

Figura 125

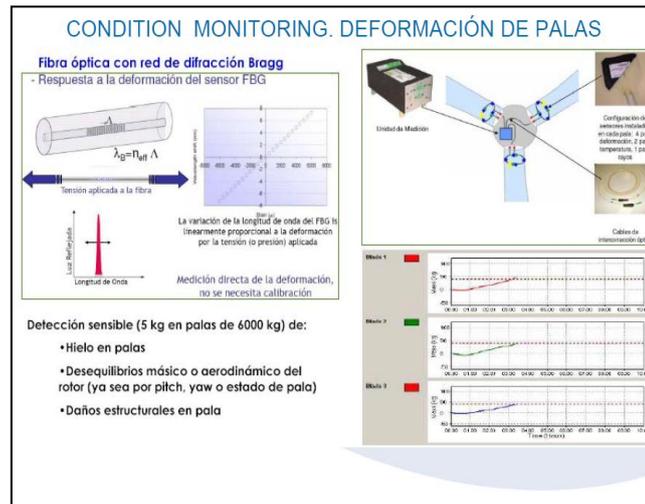


Figura 126

### 10.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

Repara las averías cuando éstas se presentan. Es el adecuado en sistemas cuyas averías no entrañan grandes costes de parada ni de reparación, no es el caso de los aerogeneradores

|                          | Ventajas  | Inconvenientes  |
|--------------------------|---|---|
| Mantenimiento correctivo | Simple , no necesita medios avanzados ni personal cualificado   | -Riesgo de grandes tiempos de parada<br><br>-Riesgo de grandes daños colaterales  |
| Mantenimiento preventivo | -Requiere de una pequeña inversión para establecer el modelo de intervención. Después es simple y no requiere ni medios avanzados ni personal cualificado   | -Riesgo de intervenciones muy frecuentes, con alto coste<br><br>-Riesgo de intervenciones muy tardías con desarrollo completo de averías y por tanto con iguales inconvenientes que el mantenimiento correctivo |
| Mantenimiento predictivo | -Permite predecir con suficiente antelación cuándo se va a producir la avería de manera que se puede programar la intervención con bajos costes de medios y cortos tiempos de parada.<br><br>-Escasos daños colaterales | -Complejidad media-alta. Requiere de medios avanzados y personal cualificados que en si mismos son un coste   |

Figura 127.Ventajas e inconvenientes

Para minimizar los tiempos de parada en un parque eólico marino, resulta necesaria la implantación de un centro de gestión y operación en tierra. De esta forma, a través de una red de fibra óptica, se podrá conocer en todo momento el estado de los aerogeneradores, las subestaciones, etc. y dar la voz de alarma en caso necesario para poder organizar los trabajos de reparación en el menor tiempo posible.

Por otro lado, en vista de realizar las tareas de mantenimiento predictivo y preventivo, es fundamental contar con un programa de mantenimiento adecuado, que planifique de forma temporal todas las tareas a realizar y que considere los materiales y medios necesarios para llevar a cabo el mantenimiento del parque: piezas de recambio, embarcaciones, helicópteros, personal especializado, zonas en el puerto habilitadas para control, almacén, etc. De la misma forma, es conveniente tener preparado un plan de emergencia en caso de averías, reparaciones no programadas, etc. que no estén recogidas en el programa de mantenimiento rutinario. Es importante mencionar que el plan de mantenimiento preventivo que ha de hacerse debe ser mucho más exhaustivo que los realizados en parque eólicos terrestres. Esto se debe principalmente a las mayores dificultades relacionadas con la accesibilidad al emplazamiento marino.

En este sentido, la meteorología juega un papel primordial, por lo que se deben considerar las ventanas de tiempo con condiciones meteorológicas adecuadas para la ejecución de los trabajos de mantenimiento, estableciendo así un calendario adecuado para realizar las tareas de gestión preventiva y predictiva. Considerando que a partir de una altura de ola superior a 1,5 m resulta complicado llevar a cabo este tipo de tareas, se procederá a realizar un estudio de la serie histórica de datos de altura de ola en los dos emplazamientos, de forma que se determinen los días del año más propicios para llevar a cabo las labores de mantenimiento.

## 10.4 ACCESIBILIDAD

Como ya se habló en apartados anteriores, la accesibilidad en un parque eólico marino tiene un papel protagonista. Existen dos tipos de acceso:

### Aire

El acceso por aire se realiza a través de una “cesta” de fibra situada al final de la góndola. Este tipo de sistemas de acceso tiene una ventana de operación mayor que la de los sistemas de acceso por mar, debido a que el helicóptero no se ve afectado por las olas. Por contrapartida es un sistema de acceso mucho más caro y la capacidad de carga que posee es menor que los accesos por mar, por lo que se está dejando de utilizar.

### Mar

En los dos parques proyectados se tratará de realizar acceso por vía marítima. Este acceso se realizará a través de zonas de atraque y escaleras situadas sobre la pieza de transición de la estructura soporte en cada caso. Será necesario colocar tubos de acero a ambos lados de la escalera como prevención ante posibles caídas y protección contra las ráfagas de viento, que también servirán para mantener la posición relativa de la embarcación mediante la sujeción de la proa. En el tramo superior de la escalera se sustituirán los tubos laterales por una jaula metálica, que aportará una mayor seguridad a la parte final de la subida a la base del aerogenerador. También se colocará una sirga de seguridad a lo largo de toda la escalera, para evitar posibles caídas y ofrecer cierta ayuda. Frecuentemente, se instalan dos sistemas de acceso a 180° para aumentar la accesibilidad a la estructura.



Figura 128 (a y b). Acceso al aerogenerador por vía marítima.

### 10.4.1 Tipos de embarcaciones:

Para el acceso por mar se puede utilizar distintas embarcaciones con diferente estabilidad:

- Barcos de servicio o monohull
- Catamarán (baltec y windcats)
- SWATH

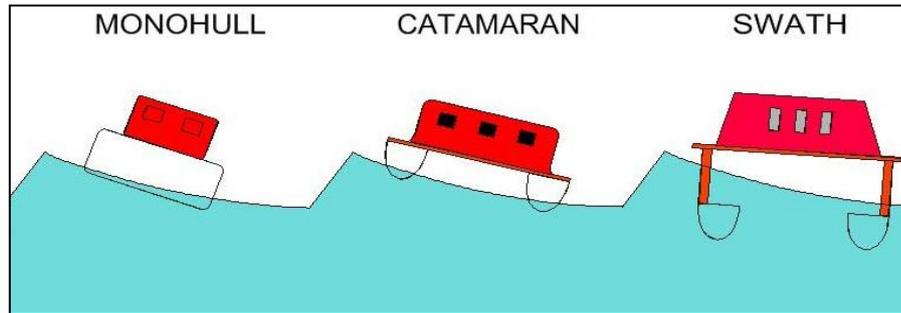


Figura 129. Diferencias de estabilidad entre las embarcaciones de acceso.

Además de las diferencias en cuanto a la estabilidad, también existen diferencias en la capacidad de carga de cada una de las embarcaciones, así como en la velocidad de viento y altura de ola a la que pueden operar. En el siguiente gráfico se muestran las diferentes capacidades de carga para los distintos sistemas de acceso.

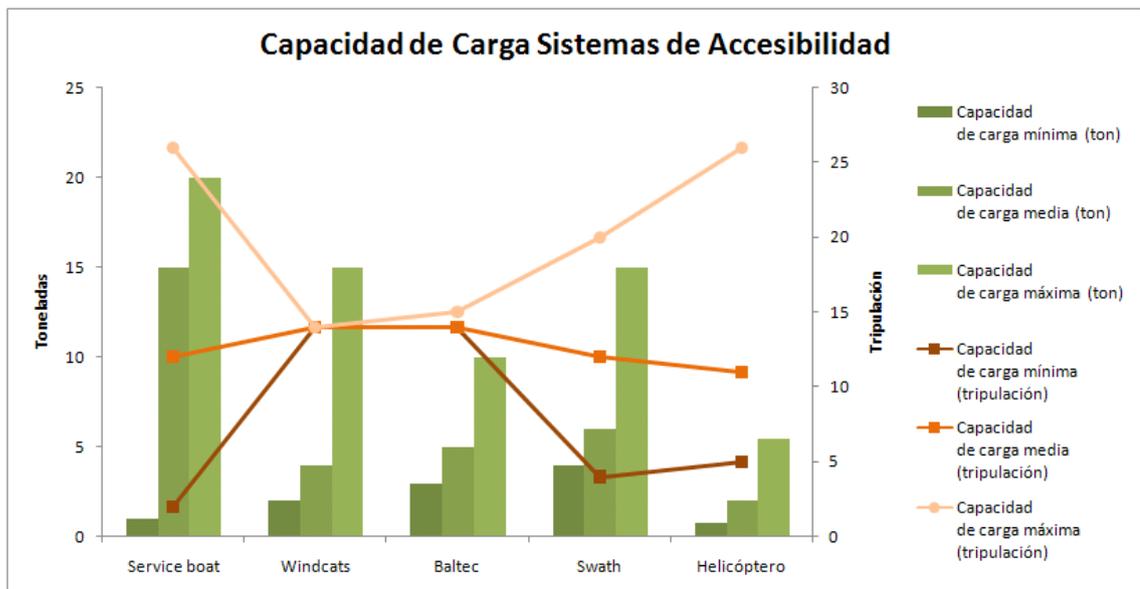


Figura 130. Capacidad de carga para los diferentes sistemas de acceso.

Se puede ver como el barco de servicio es el sistema con mayor amplitud de capacidad de carga, mientras que el resto de sistemas de acceso tiene un intervalo de operación más pequeño.

A continuación se muestran las ventanas de operación para cada barco en función de la velocidad del viento y la altura de ola y las velocidades máximas de viento a las que pueden operar.

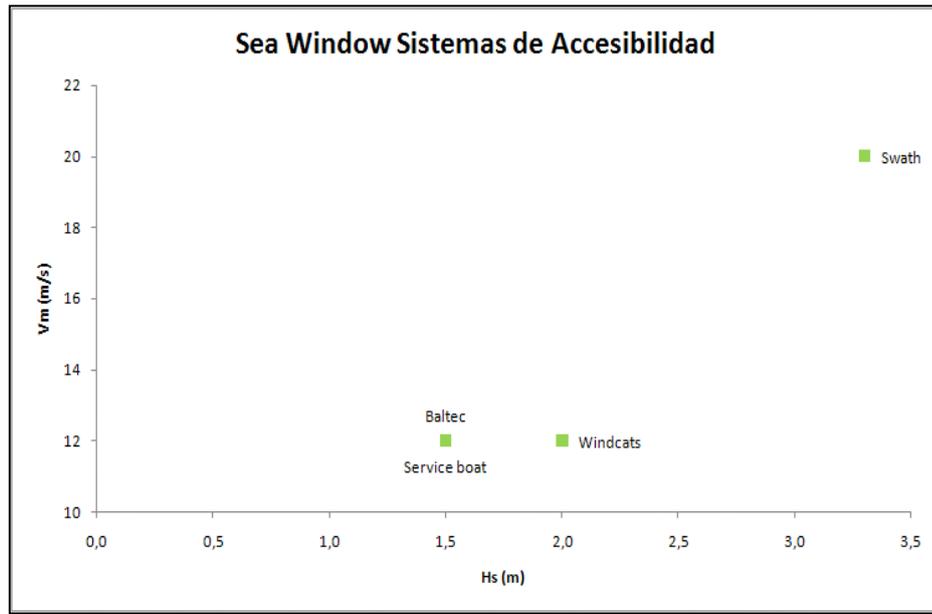


Figura 131. Ventana de operación para diferentes embarcaciones.

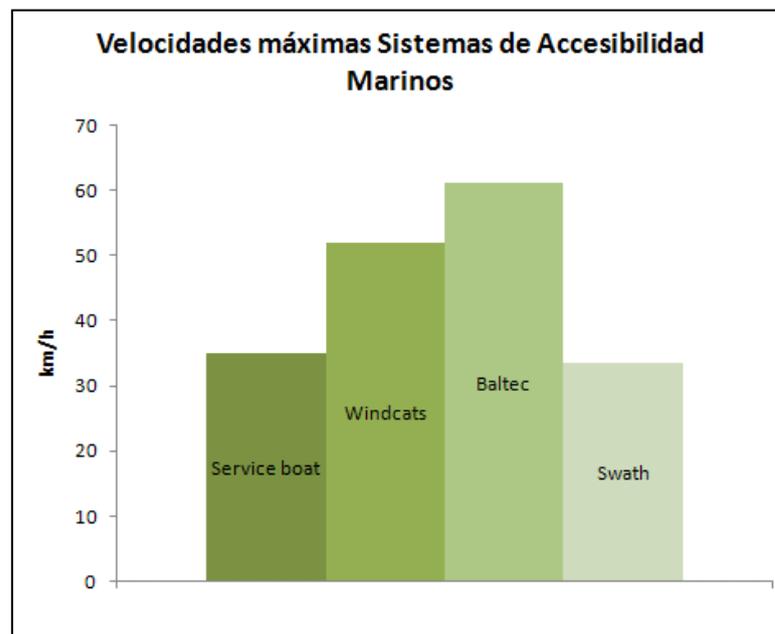


Figura 132. Velocidades máximas para diferentes embarcaciones

Se puede observar como las embarcaciones de tipo catamarán son las que soportan unas velocidades de viento máximas más altas. Sin embargo, el tipo de embarcación que aporta mayor estabilidad y una ventana de operación más amplia es el de tipo swath.

Teniendo en cuenta las características de los entornos en los que nos encontramos, se podría decir que el mantenimiento en la costa de Lübeck podría, al menos en gran parte, llevarse a cabo en barcos de servicio, que resultan más accesibles y más baratos. Sin embargo, para la costa de Cádiz, es probable que se necesiten más embarcaciones de tipo catamarán y swath, que permitan trabajar en condiciones más extremas de oleaje y viento.

#### 10.4.2 Plataformas de acceso

El acceso desde la torre al aerogenerador es especialmente complicado. Existen varios tipos de plataformas de acceso, que se pueden dividir en sistemas que compensan el movimiento de la embarcación y los que no lo hacen. Entre los sistemas compensados destacan:

- Ampelmann
- OAS (Offshore Access System)
- PTS (Personnel Transfer System)
- Caley
- MOTS & SLILAD

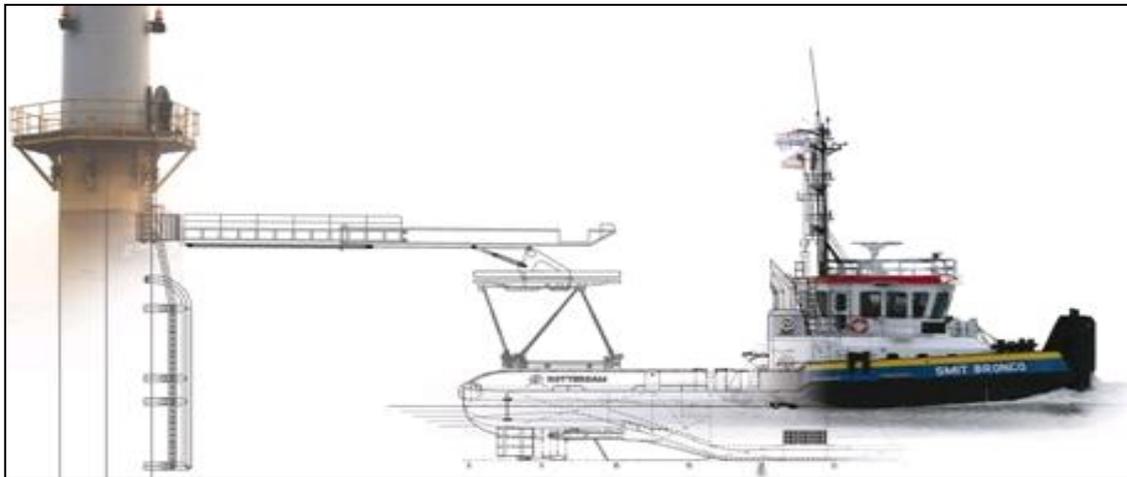


Figura 133. Esquema del sistema Ampelmann.



Figura 134. Plataforma de acceso tipo ampelmann.



Figura 135. Sistema de acceso OAS.

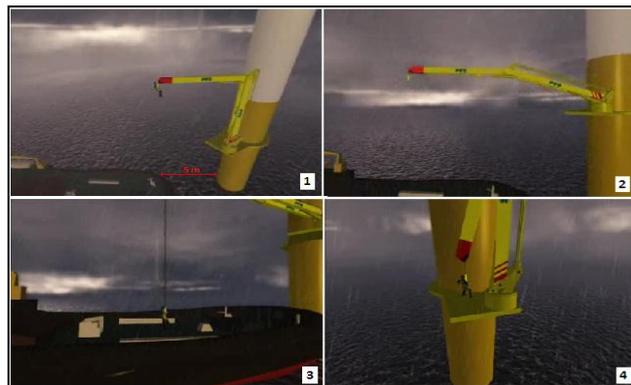


Figura 136. Sistema de acceso PTS.

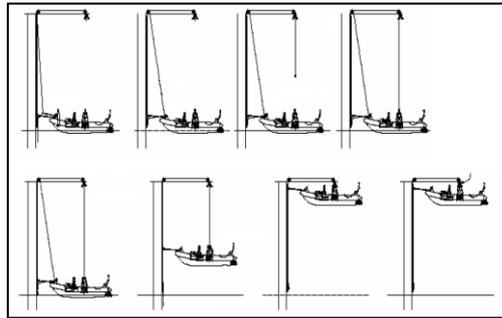


Figura 137. Sistema de acceso Caley.

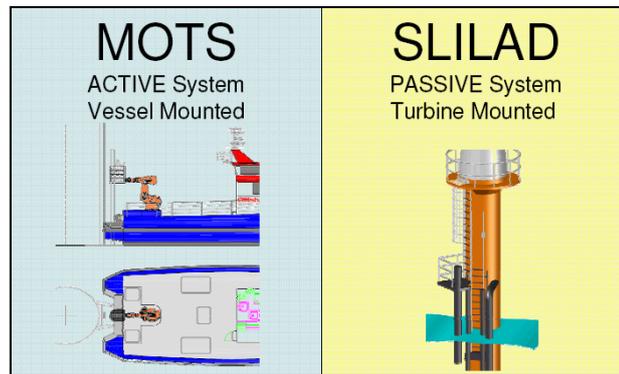


Figura 138. Sistema de acceso Mots & Slilad.

Entre los sistemas no compensados destacan:

- OTS (Offshore Solutions)
- Water Bridge (IHC)
- Selstair (Viking)
- Windlift
- The Frog

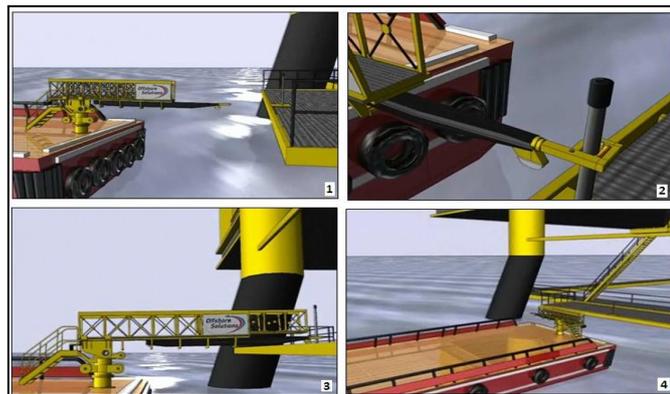


Figura 139. Sistema de acceso OTS.

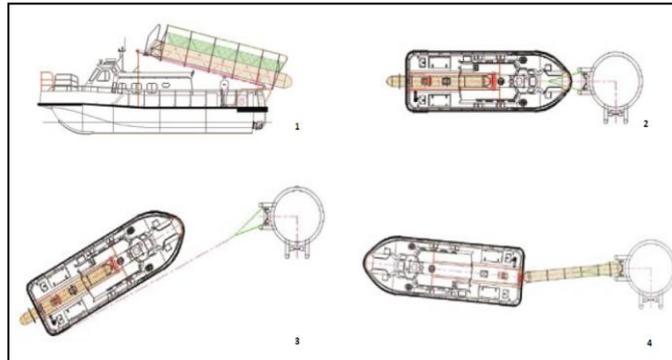


Figura 140. Sistema de acceso water bridge (IHC).

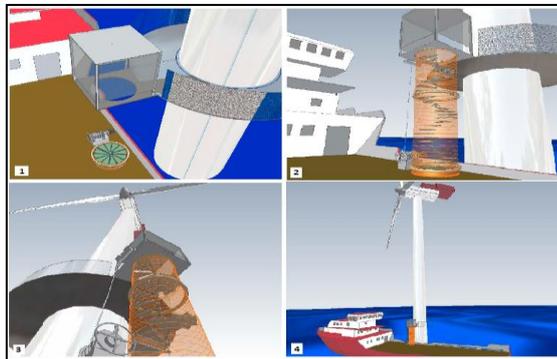


Figura 141. Sistema de acceso Selstair.

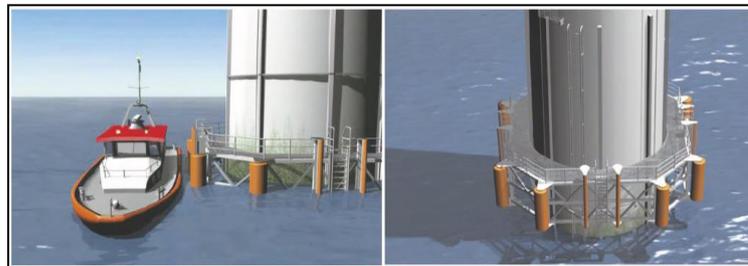


Figura 142. Sistema de acceso Windlift.



Figura 143. Sistema de acceso Frog.

Al igual que ocurría con las embarcaciones, cada tipo de sistema de acceso tiene una ventana de operación en función de la velocidad del viento y la altura máxima de ola.

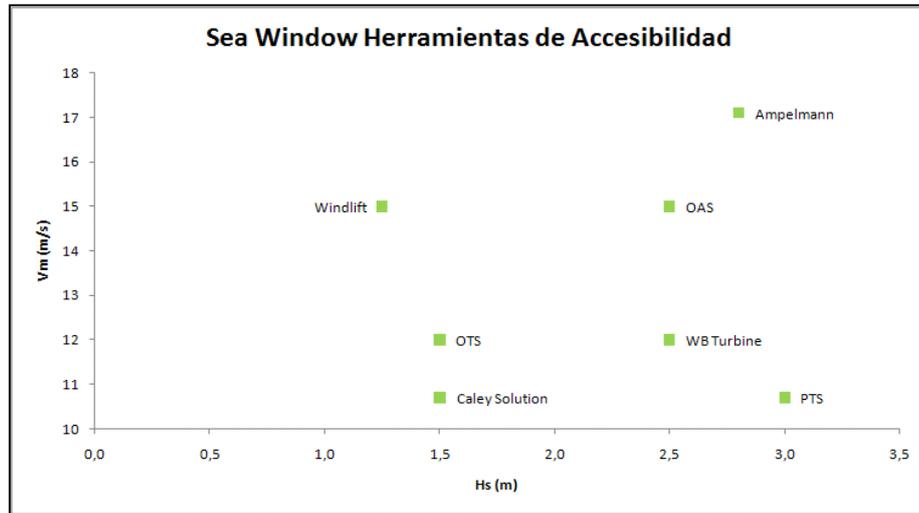


Figura 144. Ventana de operación para los sistemas de accesibilidad

Como se puede ver en el gráfico, el sistema que tiene una ventana de operación más amplia es el del tipo Ampelmann, pudiendo trabajar con hasta una velocidad de más de 17 m/s y una altura de hola de casi 3m.

En el siguiente gráfico se muestra la capacidad de carga para cada uno de los sistemas.

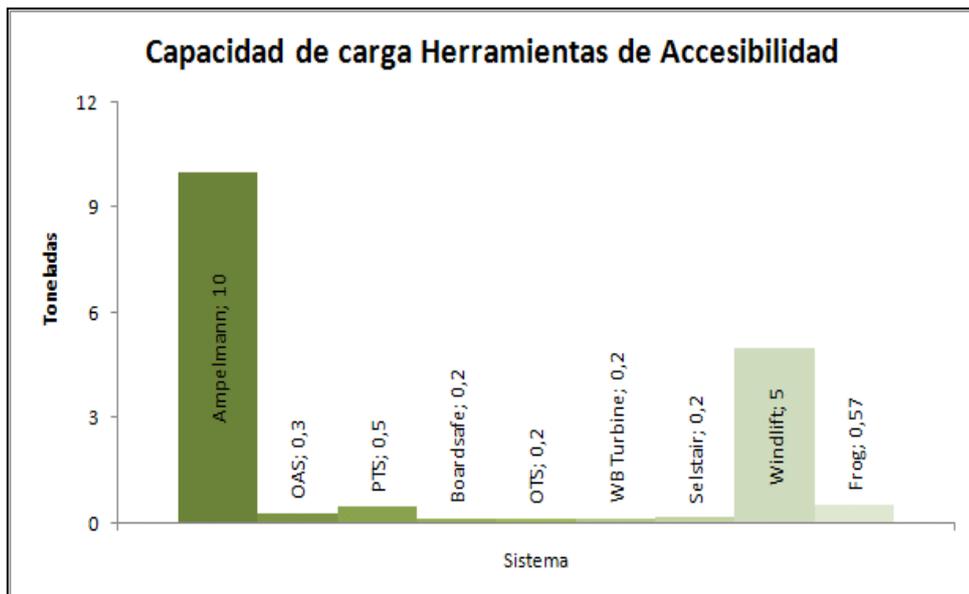


Figura 145. Capacidad de carga para sistemas de acceso

De nuevo se puede ver como el tipo Ampelmann es la mejor alternativa, con una capacidad de carga muy superior a la que presentan el resto de sistemas. Se tratará de realizar el acceso a los dos parques en los que se centra el presente proyecto mediante este tipo de plataforma de acceso.

La prevención de riesgos laborales es un aspecto fundamental del trabajo y la operación en parques eólicos. El trabajo en altura, con máquinas eléctricas y otras características intrínsecas de estas instalaciones hacen que el trabajo en las mismas sea de alto peligro. A todos estos riesgos que ya de por sí tienen los parques eólicos, hay que sumarle también el hecho de que trabajar en el mar entraña aún más dificultades, por lo que la prevención de riesgos laborales cobra todavía más relevancia.

## 11. ANÁLISIS ECONÓMICO

Tras los diversos análisis realizados, sólo nos queda demostrar la viabilidad económica de nuestro parque eólico. Una empresa debe ajustar siempre su cartera de inversión, realizando aquellos proyectos que ayuden a su expansión y desarrollo. Para lograr esto se deben valorar desde una perspectiva económica que indique los valores de rentabilidad.

### 11.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

#### 11.1.1 Valor Actualizado Neto

Es el rendimiento actualizado de los flujos positivos y negativos originados por la inversión. Es decir por todos los rendimientos que esperamos obtener de la misma.

Para una tasa de actualización ( $r$ ) constante, y una inversión a ( $n$ ) años, siendo  $C$  el valor de la inversión y  $F$  los distintos flujos anuales se puede escribir así:

$$VAN = \frac{F_1}{1+r} + \frac{F_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+r)^n} - C$$

Si obtenemos un VAN positivo el análisis nos indicará que el valor actualizado de las entradas y salidas de la inversión proporciona beneficio, expresado por dicho importe a la fecha inicial por encima del que obtendríamos considerando esa inversión a un coste o rendimiento mínimo exigido (coste de oportunidad). Sin embargo, si el VAN resulta negativo, indicará que a esa tasa de actualización se produce una pérdida de la cuantía que exprese el VAN.

Es decir, las inversiones con VAN positivo serían interesantes y aquellas en las que el valor fuera negativo serían rechazables. Además, será útil para clasificar las interesantes en función del mayor o menor valor neto, lo que nos proporcionaría su grado de interés.

### 11.1.2 Tasa Interna de Retorno

Es la tasa de retorno o tipo de rendimiento interno de una inversión; es decir, es aquel tipo de actualización que hace igual a cero el valor del capital.

El VAN nos informa del beneficio absoluto que se va a obtener del proyecto de inversión. Así, entre varias opciones escogeremos aquélla cuyo VAN sea más alto, porque será la que nos proporcionará un beneficio más elevado.

En cambio, el T.I.R. nos informa de la rentabilidad de la inversión, por lo tanto, es un indicador relativo al capital invertido. Al escoger, lo haremos de aquella opción que nos producirá mayor beneficio por euro invertido.

### 11.1.3 Periodo de recuperación

Es el periodo en el que se recupera el costo de la inversión inicial a través de los flujos de caja anuales. Es un parámetro que por sí sólo no tiene mucha utilidad, pero unido al V.A.N. y la T.I.R. refleja otro apunte más sobre la idoneidad de la inversión.

### 11.1.4 Coste medio ponderado del capital (WACC)

Es una **tasa de descuento** que mide el coste de capital entendido éste como una media ponderada entre la proporción de recursos propios y la proporción de recursos ajenos. Explicado de una manera **más sencilla**: es una tasa que mide el coste medio que nos ha costado nuestro activo, atendiendo a como se ha financiado ya sea capital propio o recursos de terceros.

$$WACC = K_e \frac{CAA}{CAA + D} + K_d(1 - T) \frac{D}{CAA + D}$$

Siendo:

$K_e$ =Tasa de costo de oportunidad de los accionistas

CAA= Capital aportado por los accionistas

D= Deuda financiera

$K_d$ =Costo deuda financiera

T= Tasa impositiva para las ganancias

En nuestro caso algunos de estos valores vienen determinados por el Tesoro de los Estados Unidos. El reparto de la financiación se establece en un 70% financiación externa y un 30% recursos propios.

Respecto a las deducciones fiscales, el Gobierno Federal establece un 35%, si bien el Estado de New Jersey tiene en marcha un programa de incentivos, se trata de un fondo que funciona como un mecanismo de certificados verdes con origen en energía eólica marina.

Tomando como referencia el proyecto más conocido offshore en aguas norteamericanas, "Cape Wind", hemos tomado como valor para el interés exigido por la deuda bancaria un 7,5%

## 11.2 DATOS DEL PARQUE

| Localización           | Nueva Jersey |
|------------------------|--------------|
| Número aerogeneradores | 90           |
| Potencia unitaria      | 3.6 MW       |
| Producción anual       | 1160419 GWh  |
| Horas funcionamiento   | 3581         |

Figura 146: Datos de referencia del parque

## 11.3 COSTES

### 11.3.1 Descripción de los costes

Un parque eólico offshore comparte los mismos elementos que un parque puesto en tierra firme, sin embargo la diferencia de situar los aerogeneradores en el océano obliga a una reestructuración sobre el peso de cada parte en el costo total. El coste total del MW instalado puede ser 3 o 4 veces mayor en *offshore* que *onshore*.

¿De qué diferencias hablamos?

#### Cimentaciones

El coste de las cimentaciones por gravedad puede dispararse considerablemente. Ello es debido al precio del transporte de todo el material, por tanto se prefieren estructuras como los mono pilotes que simplifican el proceso. El coste de las cimentaciones es un 30% mayor para este caso.

### Conexión eléctrica

La instalación de los cables, su puesta en el fondo, etc. hablamos de un proceso completamente diferente a lo habitual en la tierra. Se hace necesario de embarcaciones especializadas junto con un cálculo previo mucho más exigente. Además se necesitan de anclajes que eviten el movimiento de estos debido a las corrientes marinas.

El coste de conexión diversos estudios lo sitúan en torno a 250 €/kW, aunque siempre hay que tener en cuenta la longitud del cable y el proceso utilizado.

El precio del cable se incrementa en un 17-34% a comparación con el *onshore*

### La turbina

Las máquinas se diseñan para unas determinadas condiciones de trabajo, en el caso de los emplazamientos marinos estamos hablando de mayores disponibilidades, más horas de funcionamiento y un medio habitualmente más agresivo, las máquinas necesitan de una robustez mayor que garantice su capacidad de trabajo frente a viento y marea. El tratamiento aislante que se le debe dar a estas máquinas implica un sobre coste del 20%

### Planificación

Nos referimos a los estudios previos y de medición del recurso junto a la evaluación de impacto ambiental y el propio análisis de rentabilidad

### Operación y mantenimiento

Un mayor número de horas de recurso implica un mayor esfuerzo de los componentes por lo que los costes asociados a la propia operación del parque se ven aumentados así como el mantenimiento que exige aparte de un personal cualificado, de maquinaria especial para el acceso a las torres, por no mencionar a los equipos submarinos para el mantenimiento de cables y bases de los aerogeneradores.

En el gráfico, mostramos el reparto de costes en un parque *offshore* y comparamos

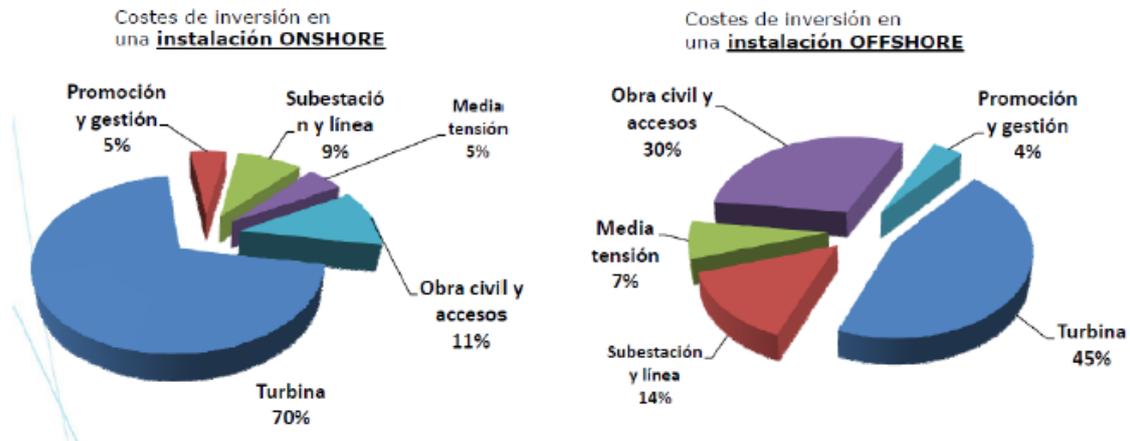


Figura 147. Comparación offshore, onshore (fuente: CC.00)

Este desglose de costes difiere con el que podemos encontrar para parques eólicos en tierra, ya que en estos casos el coste del aerogenerador significa más de un 75% del coste total del proyecto (frente al 51% del parque eólico marino) y la obra civil y las conexiones difícilmente superan el 20% (frente al 40% del offshore).

### 11.3.2 Costes detallados

|                                |        |          |            |
|--------------------------------|--------|----------|------------|
| <b>Cimentación</b>             | 92     | 1680000  | 154560000  |
| <b>Instalación ciment</b>      | 92     | 1330000  | 122360000  |
| <b>Aerogeneradores (MW)</b>    | 324    | 2130000  | 690120000  |
| <b>Instalación aeros</b>       | 90     | 1150000  | 103500000  |
| <b>Subestación</b>             | 1      | 12250000 | 12250000   |
| <b>Cableado inter</b>          | 85,632 | 535000   | 45813120   |
| <b>Instalacion cable inter</b> | 85,632 | 935000   | 80065920   |
| <b>Cableado subesta</b>        | 30     | 1351000  | 40530000   |
| <b>Inst. Cableado subesta</b>  | 30     | 595000   | 17850000   |
| <b>Estudios</b>                |        |          | 12225000   |
| <b>Gestión</b>                 |        |          | 25345000   |
| <b>Seguros</b>                 |        |          | 12500000   |
| <b>O&amp;M</b>                 |        |          | 7450000    |
| <b>Logística</b>               |        |          | 45000000   |
| <b>Desmantelamiento</b>        |        |          | 30321014   |
| <b>CAPEX</b>                   |        |          | 1399890054 |
| <b>OPEX</b>                    |        |          | 69994502,7 |

Figura 148. Costes asociados al proyecto

## 11.4 INGRESOS

La compañía eléctrica pagará un precio fijado por los 3 conceptos (energía, capacidad y certificado de energías renovables (certificados verdes)). El precio no hace distinción entre las partes. El precio del PPA se ajusta en base al tamaño de la instalación, acceso a créditos federales, coste de la deuda y los costes de construcción y operación.

La energía eléctrica generada se vende a un precio establecido y fijado en el contrato de venta de energía. En Estados Unidos la única manera de hacer este acuerdo es a través de un *Power Purchase Agreement* (PPA) firmado entre la compañía eléctrica, en este caso *National Grid*, y la empresa productora.

Pese al nivel de desarrollo del proyecto eólico *Fishermen's Energy* aún no se ha establecido un PPA, la única financiación ha sido su inclusión en el OREC antes comentado. Por ello tomaremos como referencia el PPA firmado entre la compañía eléctrica nacional del Estado de Massachussets y *Cape Wind*, el otro gran proyecto eólico *offshore* estadounidense de referencia.

Para este proyecto se fijó un precio de la energía, refrendado por la Agencia de la Energía de Massachussets de 187 \$/MWh. Este precio se mantendrá durante los primeros 15 años de vidas del proyecto estando sometido a una actualización anual del 3,5%.

Nuestro proyecto, que empezará a funcionar antes de 2016, puede acogerse al protocolo *Investment Tax Credit*, que da la oportunidad de recibir un crédito sobre el 30% de la construcción del parque.

Tras los primeros 15 años debemos realizar una suposición sobre el precio que se recibirá por la energía, actualmente en el Estado de Nueva Jersey se paga la electricidad a 197\$/MWh viendo el alto grado de aceptación de este tipo de tecnologías, el futuro desarrollo de nuevos proyectos en la costa este y la reducción de costes asociados estamos seguros de que se puede considerar como razonable un precio a recibir de 80\$/MWh.

## 11.5 RESULTADOS

A la vista de todo lo expuesto anteriormente y tras los diversos cálculos, que se pueden comprobar en el Anexo correspondiente, podemos decir que este es un proyecto altamente recomendable. Los indicadores que apoyan esta afirmación son los siguientes.

| INDICE                               | VALOR         |
|--------------------------------------|---------------|
| VAN                                  | 263.033.737\$ |
| TIR                                  | 15%           |
| WACC                                 | 9%            |
| Periodo recuperación de la inversión | 7 años        |

Figura 149. Parámetros económicos

Tenemos un VAN positivo que junto con la alta TIR, muy superior al WACC, dan a este proyecto una rentabilidad superior al de otras inversiones. Además sabemos que estamos hablando de un proyecto que cuenta con el apoyo social, evitando conflictos que retrasen o modifiquen estos valores económicos.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

Atlantic Renewable Energy Corporation. “New Jersey Offshore Wind Energy”  
Noviembre 2004. AWS Scientific, Inc.

Gobierno de Nueva Jersey. “New Jersey Energy Master Plan”  
Octubre 2008.

Apuntes del Instituto Superior de Medio Ambiente. “Impacto Ambiental”  
2011

Ceballos, I. “Análisis tecno-económico de parques eólicos offshore”  
2011

Dismukes, David. “Assessment of the Net Economic Benefits of the proposed fishermen’s Atlantic City Windfarm” Febrero 2012.

D.P.U. 12-30. Commonwealth of Massachusetts

Estado de Nueva Jersey. “Assembly, No.2873”  
14 Junio 2010

Estado de Nueva Jersey. “Response to bidders questions”  
2010

Fishermen’s Energy LLC “Conference Chautauqua County Energy”  
23 Octubre 2010

<http://www.windpowermonthly.com/article/1129734/vestas-admits-problems-376-v90-gearboxes>

<http://pdf.directindustry.es/pdf/siemens-wind-power/swt-36-107/102147-295353.html>

# ANEXO I

## Modelo de turbina elegido

A low-angle photograph of a Siemens wind turbine against a blue sky with scattered white clouds. The tower and nacelle are in the foreground, with one blade extending towards the top right. The Siemens logo is in the top left corner. A dark blue banner at the bottom contains the text 'Thoroughly tested, utterly reliable', 'Siemens Wind Turbine SWT-3.6-120', and the website 'www.siemens.com/energy'.

**SIEMENS**

**Thoroughly tested,  
utterly reliable**

Siemens Wind Turbine SWT-3.6-120

[www.siemens.com/energy](http://www.siemens.com/energy)

Answers for energy.



## Global pioneer

In recent times, the world has seen a dramatic increase in the nature and scope of offshore wind power plants. With larger projects heading farther out to sea, the reliability of the wind turbine is paramount.

Given the logistical challenges of offshore projects where even the smallest issue can amplify costs, having technology that works and continues to work under some of the harshest conditions on the planet is crucial.

In the offshore wind industry, Siemens has deservedly earned the reputation for having the most reliable technology, the broadest skill set, the deepest experience, and a name on which the industry can bank.

Siemens is the undisputed market leader when it comes to reliable products for harnessing the power of offshore wind energy. From pioneering the world's first offshore wind power plant at Vindeby (Denmark) in 1991 to the multi-gigawatt wind power plants of tomorrow, products like the SWT-3.6-120 continue to form the basis of a rock-solid technology platform.



## Evolution of the series

Determined to create the right machine for the right application, Siemens has been progressively evolving its wind turbines, creating more powerful generators and larger rotors to give its customers a greater choice of technologies to meet their needs.

With the release of a new 3.6-megawatt wind turbine featuring a 120-meter rotor, Siemens has produced a machine that can generate more power than its predecessor could at similar wind speeds. The SWT-3.6-120 is based on the proven technology of the SWT-3.6-107, which is currently the world's most popular offshore wind turbine.

Basically, the only difference between the two machines' core components is the rotor. The SWT-3.6-120 is equipped with 58.5-meter long rotor blades, giving it a swept area of 11,300 m<sup>2</sup> or the equivalent to nearly two football fields. Tests indicate that the new machine will generate approximately 10 percent more electricity in comparison to similar wind turbines.



## World's most tested wind turbine

To ensure that the SWT-3.6-120 is ready for 20 years of ocean life, Siemens put the wind turbine through one of the most rigorous testing schedules on the market. All major components have been through highly accelerated lifetime tests (HALT testing) to withstand the tests of time.

The test regime included tests on the blade, blade bearing, (including raceway and ring life test), generator platform, canopy, yaw bearing, main bearing, main bearing housing, bed frame, yaw system, hub components, and more.

The SWT-3.6-120 has a rugged, conservative structural design, automatic lubrication systems with ample supplies, climate control of the internal environment, and a simple generator system without slip rings that provides exceptional reliability at long service intervals.

### Superior grid compliance

As more wind power enters the grid, there is a greater onus on turbine manufacturers to meet stringent grid stability requirements. The Siemens NetConverter® system used by the SWT-3.6-120 is designed for maximum flexibility in the turbine's response to voltage and frequency variations, fault ride-through capability, and output adjustment. The advanced wind farm control system provides state-of-the-art fleet management.

### Safety first

Safety is at the heart of all Siemens operations. From production to installation, operation, and service, Siemens strives to set the standard in safety. The fail-to-safe capabilities within a turbine, combined with Siemens' superior lightning protection system, are designed to enhance security for the turbine.

### Advanced operations support

Given the logistical challenges associated with servicing wind farms, Siemens has equipped its turbines with a turbine condition monitoring (TCM) system that reduces the need for on-site servicing.

Continuous monitoring of turbines allows for the discovery of small faults before they become major problems.

The TCM system continuously checks the external and internal condition of the wind turbine. Twenty-four hours a day, seven days a week, precise measurements are taken of vibrations in the gearbox, the generator, and the main shaft bearings. The system instantly detects deviations from normal operating conditions.



Using the knowledge gained from monitoring thousands of turbines over the years, Siemens' experts are exceptionally skilled at analyzing and predicting faults within a turbine.

This allows Siemens to proactively plan the service and maintenance of the turbines, as each fault can be categorized and prioritized based on severity. Siemens can then determine the most appropriate course of action to keep the turbine running at its best.

#### General components

The following is a brief technical description of the main components of the SWT-3.6-120 wind turbine.

#### Rotor

The SWT-3.6-120 rotor is a three-bladed cantilevered construction, mounted upwind of the tower. The power output is controlled by pitch regulation. The rotor speed is variable and is designed to maximize the aerodynamic efficiency.

#### Blades

The B58 blades are made of fiberglass-reinforced epoxy in Siemens' proprietary IntegralBlade® manufacturing process. In this process, the blades are cast in one piece to eliminate weaker areas at glue joints. The blades are mounted on pitch bearings and can be feathered 80 degrees for shutdown purposes. Each blade has its own independent pitching mechanism capable of feathering the blade under

any operating condition. The blade pitch arrangement allows for optimization of the power output throughout the operating range, and the blades are feathered during standstill to minimize wind loads.

#### Rotor hub

The rotor hub is cast in nodular cast iron and is fitted to the main shaft with a flange connection. The hub is sufficiently large to provide a comfortable working environment for two service technicians during maintenance of blade roots and pitch bearings from inside the structure.

#### Main shaft and bearing

The main shaft is forged in alloy steel and is hollow to facilitate the transfer of power and signals to the blade pitching system. The main shaft is supported by two self-aligning, double spherical roller bearings that are shrunk onto the main shaft. The bearings are grease lubricated and feature labyrinth seals.



#### Gearbox

The gearbox is a custom-built, three-stage, planetary-helical design. The first two high-torque stages are of a helical planetary design. The high-speed stage is of a normal helical design and provides the offset of the high-speed shaft that is needed to allow passage of power and control signals to the pitch systems.

The gearbox is shaft-mounted and the main shaft torque is transferred to the gearbox by a shrink-disk connection. The gearbox is supported in the nacelle with flexible rubber bushings.

The gearbox is fitted with an oil conditioning system. All bearings are lubricated with oil fed directly from a large in-line filter and are cleaned by an off-line filter unit.

The gearbox is fitted with sensors for monitoring temperature, oil pressure, and vibration levels.

#### Generator

The generator is a fully-enclosed, asynchronous generator. It has a squirrel-cage rotor without slip-rings. The generator rotor construction and stator winding are designed for high efficiency at partial loads. The generator is protected with thermal switches and analogue temperature measurement sensors.

It is fitted with a separate thermostat-controlled ventilation arrangement. Air is recirculated internally in the generator and heat is transferred through an air-to-air heat exchanger that separates the internal environment in the generator from the ambient air.

#### Mechanical brake

The mechanical brake is fitted to the gearbox high-speed shaft and has two hydraulic calipers.

#### Yaw system

The yaw bearing is an internally geared ball bearing fitted with a hydraulic disc brake. Six electric planetary gear motors drive the yawing.

#### Tower

The SWT-3.6-120 wind turbine is mounted on a tapered, tubular steel tower. The tower has internal ascent and direct access to the yaw system and nacelle. It is equipped with platforms and internal electric lighting.



#### Controller

The wind turbine controller is a microprocessor-based industrial controller. The controller is complete with switchgear and protection devices. It is self-diagnosing and has a keyboard and display for easy readout of status and for adjustment of settings.

The NetConverter® power conversion system allows generator operation at variable speed, frequency, and voltage while supplying power at constant frequency and voltage to the medium-voltage transformer. The power conversion system is a modular arrangement for easy maintenance and is water-cooled.

#### SCADA

The SWT-3.6-120 wind turbine is equipped with the Siemens WebWPS SCADA system. This system offers remote control and a variety of status views and useful reports from a standard Internet Web browser. The status views present information such as electrical and mechanical data, operation and fault status, meteorological data, and grid station data.

#### Turbine condition monitoring

In addition to the Siemens WebWPS SCADA system, the SWT-3.6-120 wind turbine is equipped with the unique Siemens TCM® condition monitoring system. This system monitors the vibration level of the main components and compares the actual vibration spectra with a set of established reference spectra. Result review, detailed analysis, and reprogramming can all be carried out using a standard Web browser.

#### Operation systems

The wind turbine operates automatically. It is self-starting when the wind speed reaches an average of about 3 to 5 m/s (about 10 mph). The output increases approximately linearly with the wind speed until the wind speed reaches 12 to 13 m/s (about 30 mph). At this point, the power is regulated at rated power.

If the average wind speed exceeds the maximum operational limit of 25 m/s (about 56 mph), the wind turbine is shut down by feathering the blades. When the average wind speed drops back below the restart average wind speed, the systems reset automatically.


**Nacelle arrangement**

- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| 1. Spinner       | 9. Brake disc     |
| 2. Blade         | 10. Coupling      |
| 3. Pitch bearing | 11. Generator     |
| 4. Rotor hub     | 12. Yaw gear      |
| 5. Main bearing  | 13. Tower         |
| 6. Main shaft    | 14. Yaw ring      |
| 7. Gearbox       | 15. Generator fan |
| 8. Service crane | 16. Canopy        |

## Technical specifications

**Rotor**

|                     |                                      |
|---------------------|--------------------------------------|
| Type                | 3-bladed, horizontal axis            |
| Position            | Upwind                               |
| Diameter            | 120 m                                |
| Swept area          | 11,300 m <sup>2</sup>                |
| Nominal rotor speed | 5–13 rpm                             |
| Power regulation    | Pitch regulation with variable speed |
| Rotor tilt          | 6 degrees                            |

**Blades**

|                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| Type                | B58                      |
| Blade length        | 58.5 m                   |
| Root chord          | 4.2 m                    |
| Aerodynamic profile | NACA63.xxx, FFAxxx       |
| Material            | GRE                      |
| Surface gloss       | Semi-matte, < 30/ISO2813 |
| Surface color       | Light grey, RAL 7035     |

**Aerodynamic brake**

|            |                    |
|------------|--------------------|
| Type       | Full span pitching |
| Activation | Active, hydraulic  |

**Load-supporting parts**

|                   |                           |
|-------------------|---------------------------|
| Hub               | Nodular cast iron         |
| Main bearings     | Spherical roller bearings |
| Main shaft        | Alloy steel               |
| Nacelle bed plate | Cast iron                 |

**Transmission system**

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| Coupling hub – shaft      | Flange                    |
| Coupling shaft – gearbox  | Shrink disc               |
| Gearbox type              | 3-stage planetary/helical |
| Gearbox ratio             | 1:119                     |
| Gearbox lubrication       | Forced lubrication        |
| Oil volume                | Approx. 750 l             |
| Gearbox cooling           | Separate oil cooler       |
| Gearbox designation       | PZAB 3540                 |
| Gearbox manufacturer      | Winergy AG                |
| Coupling gear – generator | Double-flexible coupling  |

**Mechanical brake**

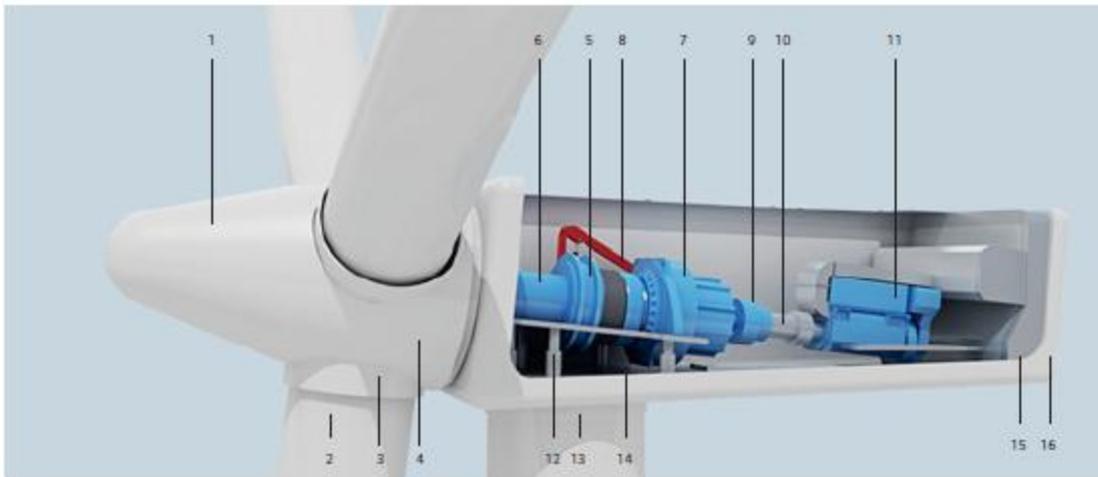
|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| Type               | Hydraulic disc brake |
| Position           | High-speed shaft     |
| Number of calipers | 2                    |

**Generator**

|                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| Type             | Asynchronous              |
| Nominal power    | 3,600 kW                  |
| Protection       | IP 54                     |
| Cooling          | Integrated heat exchanger |
| Insulation class | F                         |

**Canopy**

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| Type          | Totally enclosed           |
| Material      | Steel/aluminium            |
| Surface gloss | Semi-gloss, 30–50, ISO2813 |
| Color         | Light grey, RAL 7035       |


**Yaw system**

|             |                                 |
|-------------|---------------------------------|
| Type        | Active                          |
| Yaw bearing | Internally-gearred ball bearing |
| Yaw drive   | Six electric gear motors        |
| Yaw brake   | Active friction brake           |

**Controller**

|                        |                |
|------------------------|----------------|
| Type                   | Microprocessor |
| SCADA system           | WebWPS         |
| Controller designation | WTC 3          |

**Tower**

|                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| Type                 | Cylindrical and/or tapered tubular |
| Hub height           | 90 m or site-specific              |
| Corrosion protection | Painted                            |
| Surface gloss        | Semi-gloss, 30–50, ISO-2813        |
| Color                | Light grey, RAL 7035               |

**Operational data**

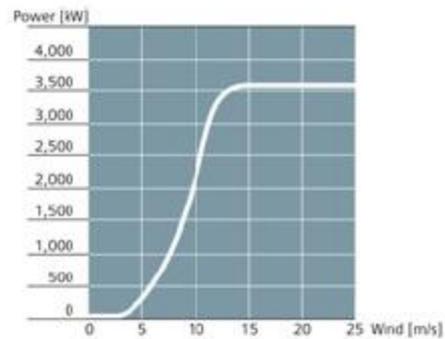
|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| Cut-in wind speed  | 3–5 m/s              |
| Nominal power at   | 12–13 m/s            |
| Cut-out wind speed | 25 m/s               |
| Maximum 3 s gust   | 70 m/s (IEC version) |

**Weights (approximately)**

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| Rotor                     | 100,000 kg    |
| Nacelle                   | 125,000 kg    |
| Tower for 90 m hub height | Site-specific |

**Sales power curve**

The power curve data are valid for standard conditions of 15° Celsius air temperature, 1,013 mBar air pressure, and 1.225 kg/m<sup>3</sup> air density, clean rotor blades, and horizontal, undisturbed airflow.



Published by and copyright © 2011:  
Siemens AG  
Energy Sector  
Freyeslebenstrasse 1  
91058 Erlangen, Germany

Siemens Wind Power A/S  
Borupvej 16  
7330 Brande, Denmark  
[www.siemens.com/wind](http://www.siemens.com/wind)

For more information, please contact  
our Customer Support Center.  
Phone: +49 180 524 70 00  
Fax: +49 180 524 24 71  
(Charges depending on provider)  
E-mail: [support.energy@siemens.com](mailto:support.energy@siemens.com)

Renewable Energy Division  
Order No. E50001-W310-A169-X-4A00  
Printed in Germany  
Dispo 34804, c4bs No. 7491  
fb 3675 BR WS 03113.

Printed on elementary chlorine-free bleached  
paper.

All rights reserved.

Trademarks mentioned in this document are  
the property of Siemens AG, its affiliates, or their  
respective owners.

Subject to change without prior notice.

The information in this document contains  
general descriptions of the technical options  
available, which may not apply in all cases.

The required technical options should therefore  
be specified in the contract.

## ANEXO II

### Modelo de Boya LIDAR

## SEAWATCH Wind LiDAR Buoy



### Technical Specifications

#### General

|             |  |
|-------------|--|
| Material    | Polyethylene, Aluminium, Stainless Steel                               |
| Flash light | LED based, 3-4 nautical miles range<br>IALA recommended characteristic |
| Positioning | GPS (Inmarsat-C, Iridium, Standalone Receiver)                         |

#### Buoy Dimensions

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| Weight (approx)           | 1200 kg |
| Overall height            | 6.1 m   |
| Diameter                  | 2.8 m   |
| Net buoyancy              | 2500 kg |
| Mast height (above water) | 3.5 m   |

#### Power Supply

|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Solar panels (optional)           | 180 W         |
| Lead-acid battery bank (optional) | Up to 248 Ah  |
| Lithium battery bank              | Up to 9792 Ah |

#### Processing

|  |
|--|
| 512 MB data storage                        |
| Real-time operating system (Linux)         |
| Large number of serial and analogue inputs |
| Flexible data acquisition software         |

#### Data Communication

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| Short range | GSM / GPRS                       |
|             | UHF / VHF radio (two-way)        |
| Long range  | Inmarsat-C and Iridium (two-way) |
|             | ARGOS (one-way)                  |

#### Wind Profiler - ZephIR 300 CW LiDAR

|   |                   |
|---|-------------------|
| Measurement height (configurable)       | 10 m – 300 m      |
| Probe length at 10 m                    | 0.07 m            |
| Probe length at 100 m                   | 7.7 m             |
| Number of simultaneous heights measured | Up to 10          |
| Sampling rate                           | 50Hz              |
| Average period (configurable)           | 1 second upwards  |
| Scanning cone angle                     | 30°               |
| Wind speed accuracy                     | < 0.5%            |
| Wind speed range                        | < 1 m/s to 70 m/s |
| Wind direction accuracy                 | < 0.5°            |

Various additional sensors are available on request, including but not limited to:

#### Oceanographic Sensors

|                         |
|-------------------------|
| Current velocity        |
| Current direction       |
| Water temperature       |
| Conductivity / Salinity |
| Current profile         |
| CTD profile             |

#### Meteorological Sensors

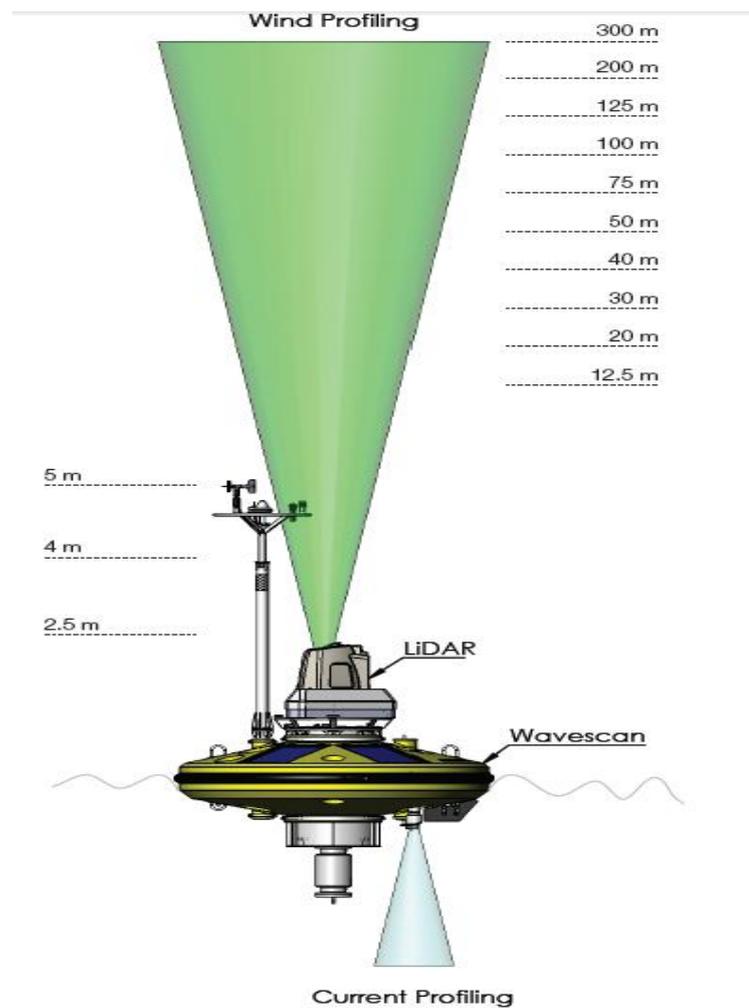
|                      |
|----------------------|
| Wind speed/direction |
| Air pressure         |
| Air temperature      |
| Humidity             |
| Precipitation        |
| Solar radiation      |

#### Directional Wave Data Sensor

| Parameter  | Range          | Accuracy      |
|--|----------------|---------------|
| Heave, Surge, Sway   | ± 25m (adjust) | < 10 cm       |
| Direction  | 0 - 360°       | 0.3°          |
| Wave period  | 2 - 30 sec     | < 2% of value |
| Full wave directional analysis on-board based on spectral analysis and user-friendly configuration tools |                |               |

#### Water Quality Sensors

|                   |
|-------------------|
| Dissolved oxygen  |
| Light attenuation |
| Chlorophyll-a     |
| Hydrocarbon       |
| Turbidity         |



## ANEXO III

### Análisis WAsP

'Turbine cluster 1' wind farm

Produced on 28/06/2013 at 11:11:29 by licenced user: Student licence, EOI-Escuela de Negocios, Spain using WASP version: 10.00.0214.

Summary results

| Parameter       | Total    | Average | Minimum | Maximum |
|-----------------|----------|---------|---------|---------|
| Net AEP [GWh]   | 1160.419 | 12.894  | 12.574  | 13.584  |
| Gross AEP [GWh] | 1249.930 | 13.888  | 13.888  | 13.888  |
| Wake loss [%]   | 7.16     | -       | -       | -       |

Site results

| Site | Location<br>[m]      | Turbine     | Elevation<br>[m a.s.l.] | Height<br>[m a.g.l.] | Net AEP<br>[GWh] | Wake loss<br>[%] |
|------|----------------------|-------------|-------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| 1    | (545900.4,4344000.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 13.584           | 2.19             |
| 2    | (546465.4,4343435.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 13.315           | 4.13             |
| 3    | (547030.4,4342870.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 13.233           | 4.71             |
| 4    | (547595.4,4342305.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 13.222           | 4.79             |
| 5    | (548160.4,4341740.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 13.333           | 4.0              |
| 6    | (546465.4,4344565.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 13.303           | 4.21             |
| 7    | (547030.4,4344000.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 12.962           | 6.67             |
| 8    | (547595.4,4343435.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 12.836           | 7.57             |
| 9    | (548160.4,4342870.0) | SWT-3.6-107 | 0                       | 80                   | 12.820           | 7.69             |

|    |                      |             |   |    |        |      |
|----|----------------------|-------------|---|----|--------|------|
| 10 | (548725.4,4342305.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.007 | 6.35 |
| 11 | (547030.4,4345130.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.195 | 4.99 |
| 12 | (547595.4,4344565.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.811 | 7.75 |
| 13 | (548160.4,4344000.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.683 | 8.68 |
| 14 | (548725.4,4343435.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.671 | 8.76 |
| 15 | (549290.4,4342870.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.906 | 7.07 |
| 16 | (547595.4,4345695.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.139 | 5.39 |
| 17 | (548160.4,4345130.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.736 | 8.3  |
| 18 | (548725.4,4344565.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.604 | 9.25 |
| 19 | (549290.4,4344000.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.596 | 9.3  |
| 20 | (549855.4,4343435.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.858 | 7.42 |
| 21 | (548160.4,4346260.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.121 | 5.52 |
| 22 | (548725.4,4345695.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.716 | 8.44 |
| 23 | (549290.4,4345130.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.583 | 9.4  |
| 24 | (549855.4,4344565.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.579 | 9.43 |
| 25 | (550420.4,4344000.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.844 | 7.52 |
| 26 | (548725.4,4346825.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.115 | 5.57 |
| 27 | (549290.4,4346260.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.709 | 8.49 |
| 28 | (549855.4,4345695.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.577 | 9.44 |
| 29 | (550420.4,4345130.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.574 | 9.46 |
| 30 | (550985.4,4344565.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.841 | 7.54 |
| 31 | (549290.4,4347390.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.124 | 5.5  |
| 32 | (549855.4,4346825.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.729 | 8.35 |

|    |                      |             |   |    |        |      |
|----|----------------------|-------------|---|----|--------|------|
| 33 | (550420.4,4346260.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.599 | 9.28 |
| 34 | (550985.4,4345695.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.598 | 9.29 |
| 35 | (551550.4,4345130.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.858 | 7.42 |
| 36 | (549855.4,4347955.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.150 | 5.31 |
| 37 | (550420.4,4347390.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.782 | 7.97 |
| 38 | (550985.4,4346825.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.657 | 8.87 |
| 39 | (551550.4,4346260.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.657 | 8.87 |
| 40 | (552115.4,4345695.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.899 | 7.12 |
| 41 | (550420.4,4348520.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.260 | 4.52 |
| 42 | (550985.4,4347955.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.944 | 6.8  |
| 43 | (551550.4,4347390.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.856 | 7.43 |
| 44 | (552115.4,4346825.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.859 | 7.41 |
| 45 | (552680.4,4346260.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.076 | 5.85 |
| 46 | (553245.4,4351345.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.472 | 3.0  |
| 47 | (553810.4,4350780.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.192 | 5.01 |
| 48 | (554375.4,4350215.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.114 | 5.58 |
| 49 | (554940.4,4349650.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.106 | 5.63 |
| 50 | (555505.4,4349085.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.235 | 4.7  |
| 51 | (553810.4,4351910.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.248 | 4.61 |
| 52 | (554375.4,4351345.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.913 | 7.02 |
| 53 | (554940.4,4350780.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.785 | 7.94 |
| 54 | (555505.4,4350215.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.777 | 8.0  |
| 55 | (556070.4,4349650.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.960 | 6.69 |

|    |                      |             |   |    |        |      |
|----|----------------------|-------------|---|----|--------|------|
| 56 | (554375.4,4352475.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.170 | 5.17 |
| 57 | (554940.4,4351910.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.789 | 7.92 |
| 58 | (555505.4,4351345.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.658 | 8.86 |
| 59 | (556070.4,4350780.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.651 | 8.91 |
| 60 | (556635.4,4350215.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.886 | 7.22 |
| 61 | (554940.4,4353040.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.129 | 5.46 |
| 62 | (555505.4,4352475.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.726 | 8.37 |
| 63 | (556070.4,4351910.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.595 | 9.31 |
| 64 | (556635.4,4351345.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.588 | 9.36 |
| 65 | (557200.4,4350780.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.850 | 7.47 |
| 66 | (555505.4,4353605.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.116 | 5.56 |
| 67 | (556070.4,4353040.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.711 | 8.47 |
| 68 | (556635.4,4352475.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.579 | 9.43 |
| 69 | (557200.4,4351910.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.575 | 9.45 |
| 70 | (557765.4,4351345.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.840 | 7.55 |
| 71 | (556070.4,4354170.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.114 | 5.58 |
| 72 | (556635.4,4353605.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.708 | 8.5  |
| 73 | (557200.4,4353040.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.577 | 9.44 |
| 74 | (557765.4,4352475.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.574 | 9.46 |
| 75 | (558330.4,4351910.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.842 | 7.54 |
| 76 | (556635.4,4354735.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.129 | 5.47 |
| 77 | (557200.4,4354170.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.735 | 8.31 |
| 78 | (557765.4,4353605.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.607 | 9.22 |

|    |                      |             |   |    |        |      |
|----|----------------------|-------------|---|----|--------|------|
| 79 | (558330.4,4353040.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.606 | 9.23 |
| 80 | (558895.4,4352475.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.866 | 7.36 |
| 81 | (557200.4,4355300.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.168 | 5.19 |
| 82 | (557765.4,4354735.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.798 | 7.85 |
| 83 | (558330.4,4354170.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.676 | 8.73 |
| 84 | (558895.4,4353605.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.676 | 8.72 |
| 85 | (559460.4,4353040.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.923 | 6.95 |
| 86 | (557765.4,4355865.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.300 | 4.24 |
| 87 | (558330.4,4355300.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.992 | 6.45 |
| 88 | (558895.4,4354735.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.906 | 7.07 |
| 89 | (559460.4,4354170.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 12.912 | 7.03 |
| 90 | (560025.4,4353605.0) | SWT-3.6-107 | 0 | 80 | 13.127 | 5.48 |

## Site wind climates

| Site | Location             | Height     | A     | k    | U     | E                   | RIX | dRIX |
|------|----------------------|------------|-------|------|-------|---------------------|-----|------|
|      | [m]                  | [m a.g.l.] | [m/s] |      | [m/s] | [W/m <sup>2</sup> ] | [%] | [%]  |
| 1    | (545900.4,4344000.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 2    | (546465.4,4343435.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 3    | (547030.4,4342870.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 4    | (547595.4,4342305.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 5    | (548160.4,4341740.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 6    | (546465.4,4344565.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 7    | (547030.4,4344000.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 8    | (547595.4,4343435.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 9    | (548160.4,4342870.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 10   | (548725.4,4342305.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 11   | (547030.4,4345130.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 12   | (547595.4,4344565.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 13   | (548160.4,4344000.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 14   | (548725.4,4343435.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 15   | (549290.4,4342870.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 16   | (547595.4,4345695.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 17   | (548160.4,4345130.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 18   | (548725.4,4344565.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |
| 19   | (549290.4,4344000.0) | 80         | 9.5   | 2.07 | 8.46  | 684                 | 0.0 | 0.0  |

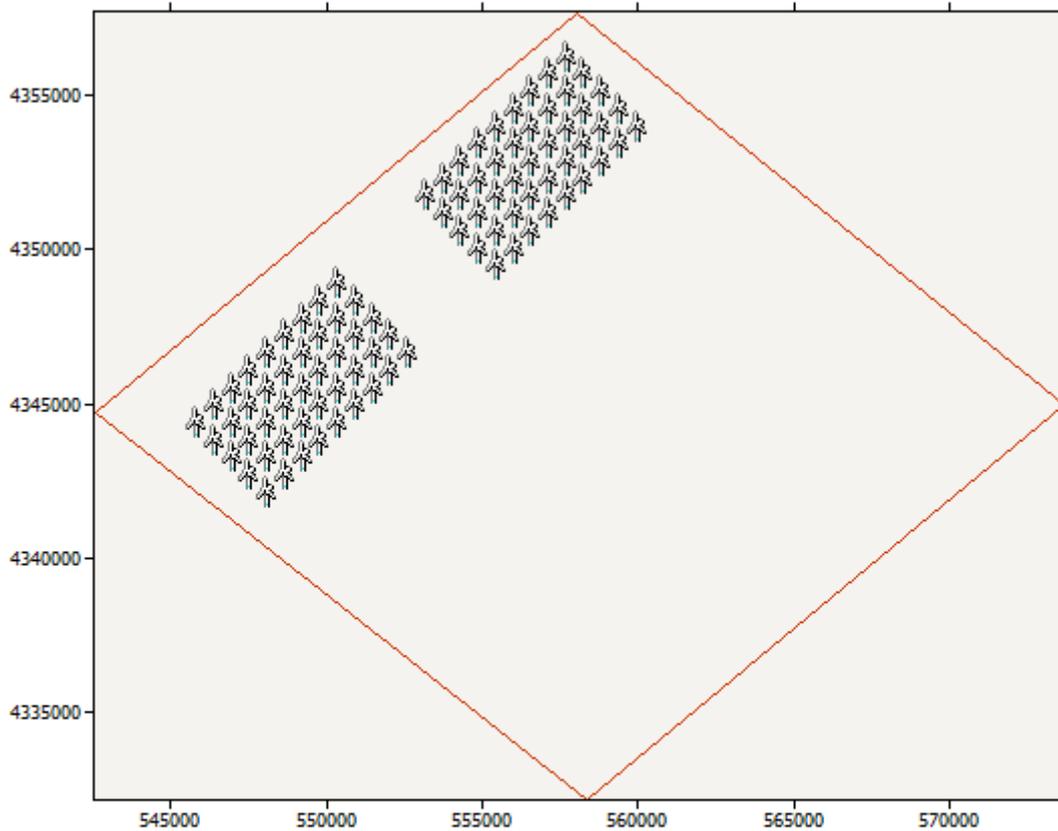
|    |                      |    |     |      |      |     |     |     |
|----|----------------------|----|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 20 | (549855.4,4343435.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 21 | (548160.4,4346260.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 22 | (548725.4,4345695.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 23 | (549290.4,4345130.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 24 | (549855.4,4344565.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 25 | (550420.4,4344000.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 26 | (548725.4,4346825.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 27 | (549290.4,4346260.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 28 | (549855.4,4345695.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 29 | (550420.4,4345130.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 30 | (550985.4,4344565.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 31 | (549290.4,4347390.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 32 | (549855.4,4346825.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 33 | (550420.4,4346260.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 34 | (550985.4,4345695.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 35 | (551550.4,4345130.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 36 | (549855.4,4347955.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 37 | (550420.4,4347390.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 38 | (550985.4,4346825.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 39 | (551550.4,4346260.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 40 | (552115.4,4345695.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 41 | (550420.4,4348520.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 42 | (550985.4,4347955.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |

|    |                      |    |     |      |      |     |     |     |
|----|----------------------|----|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 43 | (551550.4,4347390.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 44 | (552115.4,4346825.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 45 | (552680.4,4346260.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 46 | (553245.4,4351345.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 47 | (553810.4,4350780.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 48 | (554375.4,4350215.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 49 | (554940.4,4349650.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 50 | (555505.4,4349085.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 51 | (553810.4,4351910.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 52 | (554375.4,4351345.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 53 | (554940.4,4350780.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 54 | (555505.4,4350215.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 55 | (556070.4,4349650.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 56 | (554375.4,4352475.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 57 | (554940.4,4351910.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 58 | (555505.4,4351345.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 59 | (556070.4,4350780.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 60 | (556635.4,4350215.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 61 | (554940.4,4353040.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 62 | (555505.4,4352475.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 63 | (556070.4,4351910.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 64 | (556635.4,4351345.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 65 | (557200.4,4350780.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |

|    |                      |    |     |      |      |     |     |     |
|----|----------------------|----|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 66 | (555505.4,4353605.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 67 | (556070.4,4353040.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 68 | (556635.4,4352475.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 69 | (557200.4,4351910.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 70 | (557765.4,4351345.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 71 | (556070.4,4354170.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 72 | (556635.4,4353605.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 73 | (557200.4,4353040.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 74 | (557765.4,4352475.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 75 | (558330.4,4351910.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 76 | (556635.4,4354735.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 77 | (557200.4,4354170.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 78 | (557765.4,4353605.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 79 | (558330.4,4353040.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 80 | (558895.4,4352475.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 81 | (557200.4,4355300.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 82 | (557765.4,4354735.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 83 | (558330.4,4354170.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 84 | (558895.4,4353605.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 85 | (559460.4,4353040.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 86 | (557765.4,4355865.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 87 | (558330.4,4355300.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 88 | (558895.4,4354735.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |

|    |                      |    |     |      |      |     |     |     |
|----|----------------------|----|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 89 | (559460.4,4354170.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |
| 90 | (560025.4,4353605.0) | 80 | 9.5 | 2.07 | 8.46 | 684 | 0.0 | 0.0 |

The wind farm lies in a map called 'ATLANTIC CITY'.



The wind farm is in a project called 'Project 1'

A wind atlas called 'Wind atlas 1' was used to calculate the predicted wind climates

Calculation of annual output for 'Turbine cluster 1'

Decay constants: 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075

Sector 1 (0°)

| Turbine | A [m/s] | k    | Freq. [%] | U [m/s] | MWh (free) | MWh (park) | Eff. [%] |
|---------|---------|------|-----------|---------|------------|------------|----------|
| 1       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 1014.300   | 100.0    |
| 2       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 945.652    | 93.23    |
| 3       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 924.618    | 91.16    |
| 4       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 911.829    | 89.9     |
| 5       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 907.162    | 89.44    |
| 6       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 1014.300   | 100.0    |
| 7       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 945.652    | 93.23    |
| 8       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 924.618    | 91.16    |
| 9       | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 911.829    | 89.9     |
| 10      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 907.162    | 89.44    |
| 11      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 1014.300   | 100.0    |
| 12      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 945.652    | 93.23    |
| 13      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 924.618    | 91.16    |
| 14      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 911.829    | 89.9     |
| 15      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 907.421    | 89.46    |
| 16      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 1014.300   | 100.0    |
| 17      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 945.652    | 93.23    |
| 18      | 9.3     | 2.07 | 7.67      | 8.20    | 1014.300   | 924.618    | 91.16    |

|    |     |      |      |      |          |          |       |
|----|-----|------|------|------|----------|----------|-------|
| 19 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 911.829  | 89.9  |
| 20 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 908.009  | 89.52 |
| 21 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 22 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 23 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.618  | 91.16 |
| 24 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 912.781  | 89.99 |
| 25 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 909.470  | 89.66 |
| 26 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 27 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 28 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.653  | 91.16 |
| 29 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 914.978  | 90.21 |
| 30 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 912.781  | 89.99 |
| 31 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 32 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 33 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 931.308  | 91.82 |
| 34 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.653  | 91.16 |
| 35 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 923.905  | 91.09 |
| 36 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 37 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 950.290  | 93.69 |
| 38 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 39 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 40 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 941.657  | 92.84 |
| 41 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |

|    |     |      |      |      |          |          |       |
|----|-----|------|------|------|----------|----------|-------|
| 42 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 43 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 44 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1009.812 | 99.56 |
| 45 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1004.430 | 99.03 |
| 46 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 47 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 48 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.618  | 91.16 |
| 49 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 911.829  | 89.9  |
| 50 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 907.162  | 89.44 |
| 51 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 52 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 53 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.618  | 91.16 |
| 54 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 911.829  | 89.9  |
| 55 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 907.162  | 89.44 |
| 56 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 57 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 58 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.618  | 91.16 |
| 59 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 911.829  | 89.9  |
| 60 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 907.421  | 89.46 |
| 61 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 62 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 63 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.618  | 91.16 |
| 64 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 911.829  | 89.9  |

|    |     |      |      |      |          |          |       |
|----|-----|------|------|------|----------|----------|-------|
| 65 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 908.009  | 89.52 |
| 66 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 67 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 68 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.618  | 91.16 |
| 69 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 912.781  | 89.99 |
| 70 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 909.470  | 89.66 |
| 71 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 72 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 73 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.653  | 91.16 |
| 74 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 914.978  | 90.21 |
| 75 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 912.781  | 89.99 |
| 76 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 77 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 78 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 931.308  | 91.82 |
| 79 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.653  | 91.16 |
| 80 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 924.618  | 91.16 |
| 81 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 82 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 950.290  | 93.69 |
| 83 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 84 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 85 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 945.652  | 93.23 |
| 86 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |
| 87 | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300 | 1014.300 | 100.0 |

|                |     |      |      |      |           |           |       |
|----------------|-----|------|------|------|-----------|-----------|-------|
| 88             | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300  | 1014.300  | 100.0 |
| 89             | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300  | 1014.300  | 100.0 |
| 90             | 9.3 | 2.07 | 7.67 | 8.20 | 1014.300  | 1014.300  | 100.0 |
| Sector 1 total | -   | -    | -    | -    | 91287.044 | 85677.162 | 93.85 |

## Sector 2 (30°)

| <i>Turbine</i> | <i>A [m/s]</i> | <i>k</i> | <i>Freq. [%]</i> | <i>U [m/s]</i> | <i>MWh<br/>(free)</i> | <i>MWh<br/>(park)</i> | <i>Eff. [%]</i> |
|----------------|----------------|----------|------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| 1              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 759.766               | 93.4            |
| 2              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 721.030               | 88.64           |
| 3              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 715.987               | 88.02           |
| 4              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 714.280               | 87.81           |
| 5              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 713.698               | 87.74           |
| 6              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 759.941               | 93.42           |
| 7              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 721.377               | 88.68           |
| 8              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 716.548               | 88.09           |
| 9              | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 715.000               | 87.9            |
| 10             | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 714.537               | 87.84           |
| 11             | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 760.220               | 93.46           |
| 12             | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 721.887               | 88.74           |
| 13             | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 717.404               | 88.19           |
| 14             | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 716.126               | 88.03           |
| 15             | 9.1            | 1.83     | 6.40             | 8.08           | 813.458               | 715.764               | 87.99           |

|    |     |      |      |      |         |         |       |
|----|-----|------|------|------|---------|---------|-------|
| 16 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 760.699 | 93.51 |
| 17 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 722.766 | 88.85 |
| 18 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 719.214 | 88.41 |
| 19 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 718.318 | 88.3  |
| 20 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 717.877 | 88.25 |
| 21 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 761.563 | 93.62 |
| 22 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 725.136 | 89.14 |
| 23 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 722.331 | 88.8  |
| 24 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 721.472 | 88.69 |
| 25 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 720.865 | 88.62 |
| 26 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 763.068 | 93.81 |
| 27 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 728.672 | 89.58 |
| 28 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 727.673 | 89.45 |
| 29 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 726.580 | 89.32 |
| 30 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 725.667 | 89.21 |
| 31 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 765.894 | 94.15 |
| 32 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 743.757 | 91.43 |
| 33 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 739.820 | 90.95 |
| 34 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 737.677 | 90.68 |
| 35 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 736.372 | 90.52 |
| 36 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 772.528 | 94.97 |
| 37 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 770.442 | 94.71 |
| 38 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 762.495 | 93.74 |

|    |     |      |      |      |         |         |       |
|----|-----|------|------|------|---------|---------|-------|
| 39 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 756.629 | 93.01 |
| 40 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 754.523 | 92.76 |
| 41 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 805.073 | 98.97 |
| 42 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 793.002 | 97.49 |
| 43 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 784.544 | 96.45 |
| 44 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 778.691 | 95.73 |
| 45 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 776.963 | 95.51 |
| 46 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 759.865 | 93.41 |
| 47 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 721.203 | 88.66 |
| 48 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 716.327 | 88.06 |
| 49 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 714.824 | 87.87 |
| 50 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 714.459 | 87.83 |
| 51 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 760.078 | 93.44 |
| 52 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 721.643 | 88.71 |
| 53 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 717.025 | 88.15 |
| 54 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 715.746 | 87.99 |
| 55 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 715.573 | 87.97 |
| 56 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 760.415 | 93.48 |
| 57 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 722.298 | 88.79 |
| 58 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 718.096 | 88.28 |
| 59 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 717.200 | 88.17 |
| 60 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 717.200 | 88.17 |
| 61 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 761.011 | 93.55 |

|    |     |      |      |      |         |         |       |
|----|-----|------|------|------|---------|---------|-------|
| 62 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 723.434 | 88.93 |
| 63 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 720.354 | 88.55 |
| 64 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 720.027 | 88.51 |
| 65 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 720.027 | 88.51 |
| 66 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 762.023 | 93.68 |
| 67 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 726.158 | 89.27 |
| 68 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 724.055 | 89.01 |
| 69 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 724.055 | 89.01 |
| 70 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 724.055 | 89.01 |
| 71 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 763.767 | 93.89 |
| 72 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 730.228 | 89.77 |
| 73 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 730.228 | 89.77 |
| 74 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 730.228 | 89.77 |
| 75 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 730.228 | 89.77 |
| 76 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 767.033 | 94.29 |
| 77 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 746.138 | 91.72 |
| 78 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 746.138 | 91.72 |
| 79 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 746.138 | 91.72 |
| 80 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 746.138 | 91.72 |
| 81 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 774.877 | 95.26 |
| 82 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 774.877 | 95.26 |
| 83 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 774.877 | 95.26 |
| 84 | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458 | 774.877 | 95.26 |

|              |     |      |      |      |           |           |       |
|--------------|-----|------|------|------|-----------|-----------|-------|
| 85           | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458   | 774.877   | 95.26 |
| 86           | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458   | 813.458   | 100.0 |
| 87           | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458   | 813.458   | 100.0 |
| 88           | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458   | 813.458   | 100.0 |
| 89           | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458   | 813.458   | 100.0 |
| 90           | 9.1 | 1.83 | 6.40 | 8.08 | 813.458   | 813.458   | 100.0 |
| Sector total | 2   | -    | -    | -    | 73211.175 | 66898.956 | 91.38 |

## Anexo IV

### Cableado

Debido a que el agua estará rodeando el cable, se elegirá un cable con aislamiento sólido. Un aislamiento de este tipo evita el riesgo de entrada de agua dentro del cable mientras se realizan las operaciones de tendido de los cables.

La elección del conductor empleado debe seguir los criterios de economía y fiabilidad. Mientras el aluminio es más barato, el cobre tiene mejores propiedades mecánicas. El diámetro del conductor depende del número de turbinas que se deban conectar, pero este punto será justificado en los posteriores apartados.

Entre los aerogeneradores normalmente se utilizan tensiones de entre 30-33 kV; son los valores típicos empleados en los transformadores que se necesita instalar en la base de los mismos. La razón por la que se utilizan estos valores y no otros es por la sencilla razón que utilizar mayores voltajes a la salida de los mismos exigiría un espacio para su colocación mucho mayor y la disposición no podría encajar en las torres.

Normalmente los cables empleados para la evacuación de la energía a tierra son tripolares, tres conductores unidos en el mismo cable. De esta manera, es más fácil y rápido tenderlo desde el barco, ya que no hay que tender tres cables por separado. El cable se tiende por el mar hasta la subestación offshore (enterrado a 1 metro aproximadamente ó sobre el lecho marino) y de ahí, de la misma manera, hasta la zona de la costa donde el cable se vuelve a sacar a tierra.

En el parque en cuestión, tendremos un tramo a 30kV, otro a 132kV y por último el tramo final, que será subterráneo, a 400 kV. La determinación de la sección del cable, debe satisfacer los siguientes criterios simultáneamente:

-Intensidad máxima admisible en servicio permanente. La temperatura del conductor del cable, trabajando a plena carga y en régimen permanente, no debe superar nunca la temperatura máxima admisible asignada de los materiales que se utilizan para el aislamiento del cable. En nuestro caso, por haber elegido un cable XLPE esta temperatura corresponde con un valor de 90°C.

-Intensidad máxima admisible en cortocircuito durante un tiempo dado:

La temperatura del conductor del cable, que puede alcanzar en cortocircuito, durante un intervalo de tiempo pequeño (de menos de 5segundos) no debe superar nunca la temperatura máxima admisible asignada de los materiales que se utilizan para el aislamiento del cable. En nuestro caso, por haber elegido un cable XLPE esta temperatura corresponde con un valor de 250°C.

-Caída de tensión:

La circulación de corriente a través de los conductores, ocasiona una pérdida transportada por el cable, y una caída de tensión entre las tensiones de los extremos. Este criterio suele ser determinante cuando las líneas son de larga longitud.

Las intensidades máximas en servicio permanente o en cortocircuito dependen de la temperatura máxima que pueda soportar el material aislante del cable. Las temperaturas máximas admisibles para aislantes de tipo seco son las siguientes:

TIPO DE AISLAMIENTO SECO SERVICIO PERMANENTE CORTOCIRCUITO ( $t \leq 5s$ )

Polietileno reticulado (XLPE) 90oC 250°C

Etileno Propileno (EPR) 90oC 250°C

Policloruro de vinilo (PVC) 70oC 160°C

Cables aislados con aislamiento seco; temperatura máxima, en °C,

Las propiedades del aislamiento XLPE y EPR hacen que éstos sean los más apropiados para instalaciones submarinas. Las razones principales se deben a sus excelentes propiedades eléctricas y mecánicas. Las ventajas que presentan frente a aislamiento en aceite, son que los aislamientos XLPE y EPR son dieléctricos sólidos y por esta razón no requieren mantenimiento ni supervisión de los niveles de aceite.

Generalmente no están provistos de con una funda de plomo. Por ello son más ligeros, lo que ayuda a su tendido permitiendo mayores longitudes. El aislamiento empleado para este tipo de solicitaciones (parques eólicos marinos) es XLPE, y por ello, con el que vamos a diseñar la red eléctrica de conexión.

Condiciones de contorno: Un solo cable tripolar sumergido o una terna de cables unipolares con pantalla metálica de 95mm<sup>2</sup>, conductor de cobre, profundidad de 1m, temperatura del terreno de 20°C y una resistividad de 0.4 k.m/W por estar.

**TRAMO 30 kV: RED INTERNA DEL PARQUE:**

La red interna del parque es la encargada de conectar eléctricamente los aerogeneradores entre sí y llevar la energía producida por éstos al embarrado del parque. Se deberá diseñar sus interconexiones de manera que logre el mejor compromiso entre la fiabilidad del sistema y la economía de la ejecución.

Todos los aerogeneradores tienen un transformador que eleva la tensión a 30 kV, por ello, de cada uno de ellos sale un tramo de cable de 30 kV que se va uniendo con el siguiente de su misma fila.

Intensidad máxima admisible en el servicio permanente.

La corriente admisible máxima en amperios de la tabla 2 está calculada de acuerdo a IEC 60287 con las siguientes condiciones:

- Un cable tripolar o tres unipolares
- Temperatura del suelo 20° C
- Profundidad L 1.0 m
- Distancia entre los ejes del cable en formación “flat” 70 mm + De
- Resistividad térmica del suelo 1.0 Km/W

| Sección<br>conductor<br>en mm <sup>2</sup> | Conductor Al. |      | Conductor Cu. |      |
|--|---------------|------|---------------|------|
|  | 65°C          | 90°C | 65°C          | 90°C |
| 16   | 74            | 89   | 96            | 115  |
| 25   | 95            | 115  | 120           | 145  |
| 35   | 115           | 135  | 145           | 175  |
| 50   | 135           | 160  | 175           | 210  |
| 70   | 165           | 195  | 210           | 250  |
| 95   | 195           | 230  | 250           | 300  |
| 120  | 220           | 265  | 285           | 340  |
| 150  | 245           | 295  | 315           | 380  |
| 185  | 280           | 335  | 355           | 430  |
| 240  | 320           | 385  | 410           | 495  |
| 300  | 365           | 435  | 460           | 555  |
| 400  | 410           | 490  | 515           | 625  |
| 500  | 465           | 560  | 580           | 700  |
| 630  | 525           | 635  | 640           | 785  |
| 800  | 585           | 715  | 705           | 865  |
| 1000                                       | 645           | 785  | 755           | 935  |

Intensidad máxima admisible, en amperios para cables tripolares enterrados hasta 220kV

A estos valores de intensidad habrá que aplicarles los factores correspondientes que vienen expresados a continuación y que nos darán la intensidad real soportada:

| Temperatura conductor °C | Temperatura del suelo °C |      |    |      |      |      |      |      |
|--------------------------|--------------------------|------|----|------|------|------|------|------|
|                          | 10                       | 15   | 20 | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   |
| 90                       | 1.07                     | 1.04 | 1  | 0.96 | 0.93 | 0.89 | 0.84 | 0.8  |
| 65                       | 1.11                     | 1.05 | 1  | 0.94 | 0.88 | 0.82 | 0.74 | 0.66 |

Corrección por la temperatura del suelo

| Profundidad(m) | Factor |
|----------------|--------|
| 0.5            | 1.1    |
| 0.7            | 1.05   |
| 0.9            | 1.01   |
| 1              | 1      |
| 1.2            | 0.98   |
| 1.5            | 0.95   |

Corrección por profundidad

| Resistividad térmica(k.m/W) | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1 | 1.2  | 1.5  | 2    | 2.5  | 3    |
|-----------------------------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|
| Factor                      | 1.25 | 1.21 | 1.14 | 1 | 0.93 | 0.84 | 0.74 | 0.67 | 0.61 |

6MW (20% de permanencia)

30 kV

$\text{Cos}(\alpha) = 0.85$

La intensidad que debe soportar el cable:

$I = 543.4\text{A}$  (cogiendo filas de 4 aerogeneradores)

$I = 679.2\text{A}$  (cogiendo filas de 5 aerogeneradores)

Por lo tanto, aplicando los factores correspondientes (sombreados en las tablas).

$I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \text{Cos}(\alpha))$

Caída de tensión:

Para realizar la comprobación de la caída de tensión de las líneas, se utilizarán, los valores de la resistencia óhmica (R) y de la reactancia (X), en C.A. a 50 Hz, en las condiciones de servicio, que serán facilitados por el fabricante. La caída de tensión de la línea para el caso de C.A. trifásica, se puede calcular por varios métodos.

La longitud de cableado entre aerogeneradores no es un problema en cuanto a caída de tensión se refiere, por ello no necesita evaluarse según este criterio.

Procedo por tanto al cálculo de la caída de tensión (limitado a 2%) de la línea submarina que va desde el último aerogenerador a la subestación en mar.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot L(R \cos(\varphi) + X \sin(\varphi))$$

Sabiendo que:  $P = U \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot \cos(\varphi)$ , la expresión se puede expresar de la siguiente forma:

$$\Delta U = (P \cdot L / U) \cdot (R + X \tan \varphi)$$

$$\Delta U\% = (U \cdot (P \cdot L) / U^2) \cdot (R + X \tan \varphi)$$

Donde:

$\Delta U$ : Caída de tensión en voltios (V)

$\Delta U\%$ : Caída de tensión en %

P: Potencia transportada por el cable en vatios (W)

L: Longitud del cable en kilómetros (km)

U: Tensión trifásica en voltios (V)

R: Resistencia por unidad de longitud ( $\Omega/\text{km}$ )

X: Reactancia a 60Hz por unidad de longitud ( $\Omega/\text{km}$ )

$\tan \varphi$ : Tangente del ángulo que forman la corriente y la tensión

A la vista de los resultados se puede concluir que, la caída de tensión no limita, puesto que para una sección de 300mm<sup>2</sup> la caída que existe en todos los tramos que van a la subestación transformadora en el mar no supera el 4% impuesto (3,76%)

Las características eléctricas y mecánicas para este cable, vienen tabuladas en la siguiente figura:

| Cross-section of conductor   | Diameter of conductor | Insulation thickness | Diameter over insulation | Cross-section of screen | Outer diameter of cable | Cable weight (Al-conductor) | Cable weight (Cu-conductor) | Capacitance | Charging current per phase at 50 Hz | Inductance |
|--|-----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|------------|
| mm <sup>2</sup>  | mm                    | mm                   | mm                       | mm <sup>2</sup>         | mm                      | kg/m                        | kg/m                        | μF/km       | A/km                                | mH/km      |
| <b>Three core cables nominal voltage 30 kV (U<sub>m</sub> = 36 kV)</b> |                       |                      |                          |                         |                         |                             |                             |             |                                     |            |
| 25   | 5.8                   | 8                    | 23.4                     | 10                      | 59                      | 2.7                         | 3.2                         | 0.12        | 0.7                                 | 0.48       |
| 35   | 7                     | 8                    | 24.6                     | 16                      | 62                      | 3.0                         | 3.6                         | 0.13        | 0.7                                 | 0.45       |
| 50   | 8                     | 8                    | 25.6                     | 16                      | 64                      | 3.3                         | 4.3                         | 0.14        | 0.8                                 | 0.43       |
| 70   | 9.6                   | 8                    | 27.2                     | 16                      | 68                      | 3.7                         | 5.0                         | 0.16        | 0.9                                 | 0.40       |
| 95   | 11.2                  | 8                    | 28.8                     | 25                      | 71                      | 4.3                         | 6.1                         | 0.17        | 0.9                                 | 0.38       |
| 120  | 12.8                  | 8                    | 30.2                     | 25                      | 75                      | 4.7                         | 7.0                         | 0.18        | 1.0                                 | 0.37       |
| 150  | 14.2                  | 8                    | 31.8                     | 35                      | 78                      | 5.4                         | 8.2                         | 0.20        | 1.1                                 | 0.36       |
| 185  | 15.9                  | 8                    | 33.4                     | 35                      | 82                      | 6.1                         | 9.5                         | 0.21        | 1.2                                 | 0.34       |
| 240  | 18                    | 8                    | 35.7                     | 35                      | 87                      | 7.1                         | 11.6                        | 0.23        | 1.3                                 | 0.33       |
| 300  | 20.5                  | 8                    | 38.0                     | 35                      | 93                      | 7.2                         | 13.0                        | 0.25        | 1.4                                 | 0.32       |

| <b>IEC</b>            |              |                         |  |               |
|-----------------------|--------------|-------------------------|--|---------------|
| <b>Cross section</b>  |              | <b>Diameter approx.</b> | <b>Maximum d.c. resistance at 20°C, ohm/km</b> |               |
| <b>mm<sup>2</sup></b> | <b>kcmil</b> | <b>mm</b>               | <b>aluminium</b>                               | <b>copper</b> |
| 25                    | 49           | 5.8                     | 1.20   | 0.727         |
| 35                    | 69           | 7.0                     | 0.868  | 0.524         |
| 50                    | 99           | 8.0                     | 0.641  | 0.387         |
| 70                    | 138          | 9.6                     | 0.443  | 0.268         |
| 95                    | 187          | 11.2                    | 0.320  | 0.193         |
| 120                   | 237          | 12.8                    | 0.253  | 0.153         |
| 150                   | 296          | 14.2                    | 0.206  | 0.124         |
| 185                   | 365          | 15.9                    | 0.164  | 0.0991        |
| 240                   | 474          | 18.0                    | 0.125  | 0.0754        |
| 300                   | 592          | 20.5                    | 0.100  | 0.0601        |
| 400                   | 789          | 23.1                    | 0.0778   | 0.0470        |
| 500                   | 987          | 26.4                    | 0.0605   | 0.0366        |
| 630                   | 1243         | 30.2                    | 0.0469   | 0.0283        |
| 800                   | 1579         | 33.9                    | 0.0367   | 0.0221        |

TRAMO 132 kV-SUBMARINO:

Para este caso utilizaremos cables unipolares. El cálculo de la sección es análogo al caso anterior.

Intensidad máxima admisible en el servicio permanente:

La corriente admisible máxima en amperios de la tabla 10 está calculada de acuerdo a IEC 60287 con las siguientes condiciones:

- Un cable tripolar o tres unipolares
- Temperatura del suelo 20° C
- Profundidad L 1.0 m
- Distancia entre los ejes del cable en formación “flat” 70 mm + De
- Resistividad térmica del suelo 1.0 Km/W

| Sección<br>conductor<br>mm <sup>2</sup> | Formación flat |      |           |      | Formación trefoil |      |           |      |
|---|----------------|------|-----------|------|-------------------|------|-----------|------|
|   | Crossbonded    |      | both ends |      | crossbonded       |      | both ends |      |
|   | 65°C           | 90°C | 65°C      | 90°C | 65°C              | 90°C | 65°C      | 90°C |
| <b>300</b>                              | 530            | 640  | 440       | 535  | 505               | 610  | 480       | 580  |
| <b>400</b>                              | 600            | 720  | 485       | 595  | 575               | 690  | 540       | 650  |
| <b>500</b>                              | 685            | 825  | 530       | 650  | 655               | 785  | 600       | 730  |
| <b>630</b>                              | 780            | 940  | 570       | 705  | 740               | 890  | 660       | 810  |
| <b>800</b>                              | 870            | 1055 | 610       | 755  | 825               | 995  | 720       | 885  |
| <b>1000</b>                             | 960            | 1165 | 645       | 800  | 900               | 1095 | 770       | 950  |
| <b>1200</b>                             | 1115           | 1345 | 690       | 860  | 1060              | 1280 | 855       | 1055 |
| <b>1400</b>                             | 1205           | 1455 | 715       | 890  | 1145              | 1385 | 895       | 1110 |
| <b>1600</b>                             | 1280           | 1550 | 735       | 920  | 1215              | 1470 | 930       | 1155 |
| <b>2000</b>                             | 1410           | 1705 | 765       | 955  | 1320              | 1605 | 980       | 1220 |
| <b>2500</b>                             | 1540           | 1875 | 795       | 1000 | 1445              | 1755 | 1025      | 1285 |
| <b>3000</b>                             | 1640           | 1995 | 820       | 1025 | 1530              | 1865 | 1055      | 1330 |

Al ser unipolares, además de los factores empleados en el caso de 30 kV habrá que aplicar también los siguientes:

| Conductor(mm <sup>2</sup> ) |      | Copper screen(mm <sup>2</sup> ) |      |      |    |      |      |      |
|-----------------------------|------|---------------------------------|------|------|----|------|------|------|
| Al                          | Cu   | 25                              | 35   | 50   | 95 | 150  | 240  | 300  |
| 300                         |      | 1.02                            | 1.02 | 1.01 | 1  | 0.99 | 0.98 | 0.97 |
| 500                         | 300  | 1.03                            | 1.03 | 1.02 | 1  | 0.98 | 0.96 | 0.96 |
| 800                         | 500  | 1.05                            | 1.04 | 1.03 | 1  | 0.97 | 0.94 | 0.94 |
| 1200                        | 630  | 1.06                            | 1.05 | 1.04 | 1  | 0.97 | 0.93 | 0.92 |
| 2000                        | 800  | 1.07                            | 1.06 | 1.04 | 1  | 0.96 | 0.92 | 0.91 |
|                             | 1200 | 1.12                            | 1.1  | 1.07 | 1  | 0.94 | 0.89 | 0.88 |
|                             | 2000 | 1.16                            | 1.13 | 1.09 | 1  | 0.93 | 0.87 | 0.86 |
|                             | 3000 | 1.17                            | 1.14 | 1.1  | 1  | 0.93 | 0.87 | 0.85 |

El tendido eléctrico submarino que va desde la subestación en mar hasta la costa lo he duplicado, es decir, existen dos líneas submarinas que llevarán cada una de ellas 120MW (la mitad de la capacidad del parque eólico offshore total).

De esta manera consigo cableado con diámetros menores y también se adquiere más seguridad en la explotación, ya que por ejemplo, en caso de estar haciendo el mantenimiento de uno de los dos trafos de la subestación tengo disponible el otro

#### DATOS ESPECÍFICOS

| DATOS                     |            |       |
|---------------------------|------------|-------|
| Potencia aero             | 3,6        | MW    |
| Tensión                   | 0,03       | MV    |
| cos $\varphi$             | 0,9        |       |
| sen $\varphi$             | 0,43588989 |       |
| Temperatura del terreno   | 12,6       | °C    |
| Temperatura del conductor | 105        | °C    |
| Resistencia terreno       | 1,5        | k.m/W |
| Separación cables         | 0,2        | m     |
| Profundidad enterrado     | 1,5        | m     |

|         | Aerogeneradores | Tramo            | L (m)    | l corregida | l max (A) | S (mm2 Al) | R máx (Ω/km) | X a 60 Hz (microF/km) | AU (V) | %     | P (W) Cableado | %     | Denominac |
|---------|-----------------|------------------|----------|-------------|-----------|------------|--------------|-----------------------|--------|-------|----------------|-------|-----------|
| Línea 1 | 1               | A01-A06          | 799,03   | 61,584      | 76,98     | 120        | 0,321        | 0,125                 | 0,037  | 0,122 | 2918,268       | 0,009 | A-01      |
|         | 6               | A06-A11          | 799,03   | 123,168     | 153,96    | 185        | 0,209        | 0,117                 | 0,051  | 0,170 | 7600,224       | 0,023 | A-06      |
|         | 11              | A11-A16          | 799,03   | 184,752     | 230,94    | 185        | 0,209        | 0,117                 | 0,076  | 0,255 | 17100,505      | 0,053 | A-11      |
|         | 16              | A16-A21          | 799,03   | 246,336     | 307,92    | 240        | 0,161        | 0,105                 | 0,081  | 0,271 | 23418,873      | 0,072 | A-16      |
|         | 21              | A21-A26          | 799,03   | 307,92      | 384,9     | 240        | 0,161        | 0,105                 | 0,102  | 0,339 | 36591,989      | 0,113 | A-21      |
|         | 26              | A26-A31          | 799,03   | 369,504     | 461,88    | 300        | 0,128        | 0,109                 | 0,104  | 0,347 | 41892,145      | 0,129 | A-26      |
|         | 31              | A31-A36          | 799,03   | 431,088     | 538,86    | 400        | 0,102        | 0,106                 | 0,103  | 0,343 | 45437,704      | 0,140 | A-31      |
|         | 36              | A36-A41          | 799,03   | 492,672     | 615,84    | 500        | 0,084        | 0,102                 | 0,102  | 0,341 | 48874,169      | 0,151 | A-36      |
|         | 41              | A41-SET          | 3769,02  | 554,256     | 692,82    | 630        | 0,07         | 0,095                 | 0,472  | 1,574 | 243146,792     | 0,750 | A-41      |
|         |                 | Transformador L1 |          |             |           |            |              |                       |        |       | 3,761          |       | 1,441     |
|         | TOTAL L1        |                  | 10161,26 |             |           |            |              |                       |        |       |                |       |           |
| Línea 2 | 2               | A02-A07          | 799,03   | 61,584      | 76,98     | 120        | 0,321        | 0,125                 | 0,037  | 0,122 | 2918,268       | 0,009 | A-02      |
|         | 7               | A07-A12          | 799,03   | 123,168     | 153,96    | 185        | 0,209        | 0,117                 | 0,051  | 0,170 | 7600,224       | 0,023 | A-07      |
|         | 12              | A12-A17          | 799,03   | 184,752     | 230,94    | 185        | 0,209        | 0,117                 | 0,076  | 0,255 | 17100,505      | 0,053 | A-12      |
|         | 17              | A17-A22          | 799,03   | 246,336     | 307,92    | 240        | 0,161        | 0,105                 | 0,081  | 0,271 | 23418,873      | 0,072 | A-17      |
|         | 22              | A22-A27          | 799,03   | 307,92      | 384,9     | 240        | 0,161        | 0,105                 | 0,102  | 0,339 | 36591,989      | 0,113 | A-22      |
|         | 27              | A27-A32          | 799,03   | 369,504     | 461,88    | 300        | 0,128        | 0,109                 | 0,104  | 0,347 | 41892,145      | 0,129 | A-27      |
|         | 32              | A32-A37          | 799,03   | 431,088     | 538,86    | 400        | 0,102        | 0,106                 | 0,103  | 0,343 | 45437,704      | 0,140 | A-32      |
|         | 37              | A37-A42          | 799,03   | 492,672     | 615,84    | 500        | 0,084        | 0,102                 | 0,102  | 0,341 | 48874,169      | 0,151 | A-37      |
|         | 42              | A42-SET          | 2969,99  | 554,256     | 692,82    | 630        | 0,07         | 0,095                 | 0,472  | 1,574 | 191599,816     | 0,591 | A-42      |
|         |                 | Transformador L2 |          |             |           |            |              |                       |        |       | 3,761          |       | 1,282     |
|         | TOTAL L2        |                  | 9362,23  |             |           |            |              |                       |        |       |                |       |           |
| Línea 3 | 3               | A03-A08          | 799,03   | 61,584      | 76,98     | 120        | 0,321        | 0,125                 | 0,037  | 0,122 | 2918,268       | 0,009 | A-03      |
|         | 8               | A08-A13          | 799,03   | 123,168     | 153,96    | 185        | 0,209        | 0,117                 | 0,051  | 0,170 | 7600,224       | 0,023 | A-08      |
|         | 13              | A13-A18          | 799,03   | 184,752     | 230,94    | 185        | 0,209        | 0,117                 | 0,076  | 0,255 | 17100,505      | 0,053 | A-13      |
|         | 18              | A18-A23          | 799,03   | 246,336     | 307,92    | 240        | 0,161        | 0,105                 | 0,081  | 0,271 | 23418,873      | 0,072 | A-18      |
|         | 23              | A23-A28          | 799,03   | 307,92      | 384,9     | 240        | 0,161        | 0,105                 | 0,102  | 0,339 | 36591,989      | 0,113 | A-23      |
|         | 28              | A28-A33          | 799,03   | 369,504     | 461,88    | 300        | 0,128        | 0,109                 | 0,104  | 0,347 | 41892,145      | 0,129 | A-28      |
|         | 33              | A33-A38          | 799,03   | 431,088     | 538,86    | 400        | 0,102        | 0,106                 | 0,103  | 0,343 | 45437,704      | 0,140 | A-33      |
|         | 38              | A38-A43          | 799,03   | 492,672     | 615,84    | 500        | 0,084        | 0,102                 | 0,102  | 0,341 | 48874,169      | 0,151 | A-38      |
|         | 43              | A43-SET          | 2170,96  | 554,256     | 692,82    | 630        | 0,07         | 0,095                 | 0,472  | 1,574 | 140052,841     | 0,432 | A-43      |
|         |                 | Transformador L3 |          |             |           |            |              |                       |        |       | 3,761          |       | 1,123     |
|         | TOTAL L3        |                  | 8563,2   |             |           |            |              |                       |        |       |                |       |           |
| Línea 4 | 4               | A04-A09          | 799,03   | 61,584      | 76,98     | 120        | 0,321        | 0,125                 | 0,037  | 0,122 | 2918,268       | 0,009 | A-04      |
|         | 9               | A09-A14          | 799,03   | 123,168     | 153,96    | 185        | 0,209        | 0,117                 | 0,051  | 0,170 | 7600,224       | 0,023 | A-09      |
|         | 14              | A14-A19          | 799,03   | 184,752     | 230,94    | 185        | 0,209        | 0,117                 | 0,076  | 0,255 | 17100,505      | 0,053 | A-14      |
|         | 19              | A19-A24          | 799,03   | 246,336     | 307,92    | 240        | 0,161        | 0,105                 | 0,081  | 0,271 | 23418,873      | 0,072 | A-19      |
|         | 24              | A24-A29          | 799,03   | 307,92      | 384,9     | 240        | 0,161        | 0,105                 | 0,102  | 0,339 | 36591,989      | 0,113 | A-24      |
|         | 29              | A29-A34          | 799,03   | 369,504     | 461,88    | 300        | 0,128        | 0,109                 | 0,104  | 0,347 | 41892,145      | 0,129 | A-29      |
|         | 34              | A34-A39          | 799,03   | 431,088     | 538,86    | 400        | 0,102        | 0,106                 | 0,103  | 0,343 | 45437,704      | 0,140 | A-34      |
|         | 39              | A39-A44          | 799,03   | 492,672     | 615,84    | 500        | 0,084        | 0,102                 | 0,102  | 0,341 | 48874,169      | 0,151 | A-39      |
|         | 44              | A44-SET          | 1371,93  | 554,256     | 692,82    | 630        | 0,07         | 0,095                 | 0,472  | 1,574 | 88505,866      | 0,273 | A-44      |
|         |                 | Transformador L4 |          |             |           |            |              |                       |        |       | 3,761          |       | 0,964     |
|         | TOTAL L4        |                  | 7764,17  |             |           |            |              |                       |        |       |                |       |           |

|         |                  |          |          |         |        |     |       |       |       |       |            |       |      |
|---------|------------------|----------|----------|---------|--------|-----|-------|-------|-------|-------|------------|-------|------|
| Línea 5 | 5                | A05-A10  | 799,03   | 61,584  | 76,98  | 120 | 0,321 | 0,125 | 0,037 | 0,122 | 2918,268   | 0,009 | A-5  |
|         | 10               | A10-A15  | 799,03   | 123,168 | 153,96 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,051 | 0,170 | 7600,224   | 0,023 | A-10 |
|         | 15               | A15-A20  | 799,03   | 184,752 | 230,94 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,076 | 0,255 | 17100,505  | 0,053 | A-15 |
|         | 20               | A20-A25  | 799,03   | 246,336 | 307,92 | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,081 | 0,271 | 23418,873  | 0,072 | A-20 |
|         | 25               | A25-A30  | 799,03   | 307,92  | 384,9  | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,102 | 0,339 | 36591,989  | 0,113 | A-25 |
|         | 30               | A30-A35  | 799,03   | 369,504 | 461,88 | 300 | 0,128 | 0,109 | 0,104 | 0,347 | 41892,145  | 0,129 | A-30 |
|         | 35               | A35-A40  | 799,03   | 431,088 | 538,86 | 400 | 0,102 | 0,106 | 0,103 | 0,343 | 45437,704  | 0,140 | A-35 |
|         | 40               | A40-A45  | 799,03   | 492,672 | 615,84 | 500 | 0,084 | 0,102 | 0,102 | 0,341 | 48874,169  | 0,151 | A-40 |
|         | 45               | A45-SET  | 572,9    | 554,256 | 692,82 | 630 | 0,07  | 0,095 | 0,472 | 1,574 | 36958,890  | 0,114 | A-45 |
|         | Transformador L5 |          |          |         |        |     |       |       |       | 3,761 |            | 0,805 |      |
|         | TOTAL L5         |          | 6965,14  |         |        |     |       |       |       |       |            |       |      |
| Línea 6 | 46               | A46-A51  | 799,03   | 61,584  | 76,98  | 120 | 0,321 | 0,125 | 0,037 | 0,122 | 2918,268   | 0,009 | A-46 |
|         | 51               | A51-A56  | 799,03   | 123,168 | 153,96 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,051 | 0,170 | 7600,224   | 0,023 | A-51 |
|         | 56               | A56-A61  | 799,03   | 184,752 | 230,94 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,076 | 0,255 | 17100,505  | 0,053 | A-56 |
|         | 61               | A61-A66  | 799,03   | 246,336 | 307,92 | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,081 | 0,271 | 23418,873  | 0,072 | A-61 |
|         | 66               | A66-A71  | 799,03   | 307,92  | 384,9  | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,102 | 0,339 | 36591,989  | 0,113 | A-66 |
|         | 71               | A71-A76  | 799,03   | 369,504 | 461,88 | 300 | 0,128 | 0,109 | 0,104 | 0,347 | 41892,145  | 0,129 | A-71 |
|         | 76               | A76-A81  | 799,03   | 431,088 | 538,86 | 400 | 0,102 | 0,106 | 0,103 | 0,343 | 45437,704  | 0,140 | A-76 |
|         | 81               | A81-A86  | 799,03   | 492,672 | 615,84 | 500 | 0,084 | 0,102 | 0,102 | 0,341 | 48874,169  | 0,151 | A-81 |
|         | 86               | A86-SET  | 3769,02  | 554,256 | 692,82 | 630 | 0,07  | 0,095 | 0,472 | 1,574 | 243146,792 | 0,750 | A-86 |
|         | Transformador L6 |          |          |         |        |     |       |       |       | 3,761 |            | 1,441 |      |
|         | TOTAL L6         |          | 10161,26 |         |        |     |       |       |       |       |            |       |      |
| Línea 7 | 47               | A47-A52  | 799,03   | 61,584  | 76,98  | 120 | 0,321 | 0,125 | 0,037 | 0,122 | 2918,268   | 0,009 | A-47 |
|         | 52               | A52-A57  | 799,03   | 123,168 | 153,96 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,051 | 0,170 | 7600,224   | 0,023 | A-52 |
|         | 57               | A57-A62  | 799,03   | 184,752 | 230,94 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,076 | 0,255 | 17100,505  | 0,053 | A-57 |
|         | 62               | A62-A67  | 799,03   | 246,336 | 307,92 | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,081 | 0,271 | 23418,873  | 0,072 | A-62 |
|         | 67               | A67-A72  | 799,03   | 307,92  | 384,9  | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,102 | 0,339 | 36591,989  | 0,113 | A-67 |
|         | 72               | A72-A77  | 799,03   | 369,504 | 461,88 | 300 | 0,128 | 0,109 | 0,104 | 0,347 | 41892,145  | 0,129 | A-72 |
|         | 77               | A77-A82  | 799,03   | 431,088 | 538,86 | 400 | 0,102 | 0,106 | 0,103 | 0,343 | 45437,704  | 0,140 | A-77 |
|         | 82               | A82-A87  | 799,03   | 492,672 | 615,84 | 500 | 0,084 | 0,102 | 0,102 | 0,341 | 48874,169  | 0,151 | A-82 |
|         | 87               | A87-SET  | 2969,99  | 554,256 | 692,82 | 630 | 0,07  | 0,095 | 0,472 | 1,574 | 191599,816 | 0,591 | A-87 |
|         | Transformador L7 |          |          |         |        |     |       |       |       | 3,761 |            | 1,282 |      |
|         | TOTAL L7         |          | 9362,23  |         |        |     |       |       |       |       |            |       |      |
| Línea 8 | 48               | A48-A53  | 799,03   | 61,584  | 76,98  | 120 | 0,321 | 0,125 | 0,037 | 0,122 | 2918,268   | 0,009 | A-48 |
|         | 53               | A53-A58  | 799,03   | 123,168 | 153,96 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,051 | 0,170 | 7600,224   | 0,023 | A-53 |
|         | 58               | A58-A63  | 799,03   | 184,752 | 230,94 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,076 | 0,255 | 17100,505  | 0,053 | A-58 |
|         | 63               | A-63-A68 | 799,03   | 246,336 | 307,92 | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,081 | 0,271 | 23418,873  | 0,072 | A-63 |
|         | 68               | A68-A73  | 799,03   | 307,92  | 384,9  | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,102 | 0,339 | 36591,989  | 0,113 | A-68 |
|         | 73               | A73-A78  | 799,03   | 369,504 | 461,88 | 300 | 0,128 | 0,109 | 0,104 | 0,347 | 41892,145  | 0,129 | A-73 |
|         | 78               | A78-A83  | 799,03   | 431,088 | 538,86 | 400 | 0,102 | 0,106 | 0,103 | 0,343 | 45437,704  | 0,140 | A-78 |
|         | 83               | A83-A88  | 799,03   | 492,672 | 615,84 | 500 | 0,084 | 0,102 | 0,102 | 0,341 | 48874,169  | 0,151 | A-83 |
|         | 88               | A88-SET  | 2170,96  | 554,256 | 692,82 | 630 | 0,07  | 0,095 | 0,472 | 1,574 | 140052,841 | 0,432 | A-88 |
|         | Transformador L8 |          |          |         |        |     |       |       |       | 3,761 |            | 1,123 |      |
|         | TOTAL L8         |          | 8563,2   |         |        |     |       |       |       |       |            |       |      |

|          |                   |          |         |         |        |     |       |       |       |       |             |       |      |
|----------|-------------------|----------|---------|---------|--------|-----|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|------|
| Línea 9  | 49                | A49-A54  | 799,03  | 61,584  | 76,98  | 120 | 0,321 | 0,125 | 0,037 | 0,122 | 2918,268    | 0,009 | A-49 |
|          | 54                | A54-A59  | 799,03  | 123,168 | 153,96 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,051 | 0,170 | 7600,224    | 0,023 | A-54 |
|          | 59                | A59-A64  | 799,03  | 184,752 | 230,94 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,076 | 0,255 | 17100,505   | 0,053 | A-59 |
|          | 64                | A64-A69  | 799,03  | 246,336 | 307,92 | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,081 | 0,271 | 23418,873   | 0,072 | A-64 |
|          | 69                | A69-A74  | 799,03  | 307,92  | 384,9  | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,102 | 0,339 | 36591,989   | 0,113 | A-69 |
|          | 74                | A74-A79  | 799,03  | 369,504 | 461,88 | 300 | 0,128 | 0,109 | 0,104 | 0,347 | 41892,145   | 0,129 | A-74 |
|          | 79                | A79-A84  | 799,03  | 431,088 | 538,86 | 400 | 0,102 | 0,106 | 0,103 | 0,343 | 45437,704   | 0,140 | A-79 |
|          | 84                | A84-A89  | 799,03  | 492,672 | 615,84 | 500 | 0,084 | 0,102 | 0,102 | 0,341 | 48874,169   | 0,151 | A-84 |
|          | 89                | A89-SET  | 1371,93 | 554,256 | 692,82 | 630 | 0,07  | 0,095 | 0,472 | 1,574 | 88505,866   | 0,273 | A-89 |
|          | Transformador L9  |          |         |         |        |     |       |       |       | 3,761 |             | 0,964 |      |
|          | TOTAL L9          |          | 7764,17 |         |        |     |       |       |       |       |             |       |      |
| Línea 10 | 50                | A50-A55  | 799,03  | 61,584  | 76,98  | 120 | 0,321 | 0,125 | 0,037 | 0,122 | 2918,268    | 0,009 | A-50 |
|          | 55                | A55-A60  | 799,03  | 123,168 | 153,96 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,051 | 0,170 | 7600,224    | 0,023 | A-55 |
|          | 60                | A60-A65  | 799,03  | 184,752 | 230,94 | 185 | 0,209 | 0,117 | 0,076 | 0,255 | 17100,505   | 0,053 | A-60 |
|          | 65                | A65-A70  | 799,03  | 246,336 | 307,92 | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,081 | 0,271 | 23418,873   | 0,072 | A-65 |
|          | 70                | A70-A75  | 799,03  | 307,92  | 384,9  | 240 | 0,161 | 0,105 | 0,102 | 0,339 | 36591,989   | 0,113 | A-70 |
|          | 75                | A75-A80  | 799,03  | 369,504 | 461,88 | 300 | 0,128 | 0,109 | 0,104 | 0,347 | 41892,145   | 0,129 | A-75 |
|          | 80                | A80-A85  | 799,03  | 431,088 | 538,86 | 400 | 0,102 | 0,106 | 0,103 | 0,343 | 45437,704   | 0,140 | A-80 |
|          | 85                | A85-A90  | 799,03  | 492,672 | 615,84 | 500 | 0,084 | 0,102 | 0,102 | 0,341 | 48874,169   | 0,151 | A-85 |
|          | 90                | A90-SET  | 572,9   | 554,256 | 692,82 | 630 | 0,07  | 0,095 | 0,472 | 1,574 | 36958,890   | 0,114 | A-90 |
|          | Transformador L10 |          |         |         |        |     |       |       |       | 3,761 |             | 0,805 |      |
|          | TOTAL L10         |          | 6965,14 |         |        |     |       |       |       |       |             |       |      |
| Línea 11 |                   | SET-SET2 | 2x15000 | 629,83  | 787,29 | 800 | 0,063 | 0,084 | 0,422 | 0,320 | 1124604,325 | 3,471 |      |

## Anexo IV

# Cálculos económicos

| Año              |             | 2014       | 2015       | 2016       | 2017       | 2018       | 2019       | 2020       |
|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                  |             | 0          | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          |
| Precio venta     |             | 189        | 191,65     | 194,33     | 197,05     | 199,81     | 202,61     | 205,44     |
| Energía          |             | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 |
| INGRESO          |             | 212739615  | 215717970  | 218738021  | 221800354  | 224905559  | 228054237  | 231246996  |
| CAPEX            | 1399890054  |            |            |            |            |            |            |            |
| Opex             |             | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 |
| Alquiler         |             | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      |
| Desmantelamiento |             |            |            |            |            |            |            |            |
| Flujo caja       | -1399890054 | 209915835  | 212894190  | 215914241  | 218976574  | 222081779  | 225230456  | 228423216  |

| 2021       | 2022       | 2023       | 2024       | 2025       | 2026       | 2027       | 2028       | 2029       |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13         | 14         | 15         |
| 208,32     | 211,23     | 214,19     | 217,19     | 220,23     | 223,31     | 226,44     | 229,61     | 232,83     |
| 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 |
| 234484454  | 237767236  | 241095977  | 244471321  | 247893920  | 251364435  | 254883537  | 258451906  | 262070233  |
|            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 |
| 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      |
|            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 231660674  | 234943456  | 238272197  | 241647541  | 245070140  | 248540654  | 252059756  | 255628126  | 259246453  |

| 2030       | 2031       | 2032       | 2033       | 2034       | 2035       | 2036       | 2037       | 2038       | 2039       |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 16         | 17         | 18         | 19         | 20         | 21         | 22         | 23         | 24         | 25         |
| 80         | 80         | 80         | 80         | 80         | 80         | 80         | 80         | 80         | 80         |
| 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 | 1125606,43 |
| 90048514,4 | 90048514,4 | 90048514,4 | 90048514,4 | 90048514,4 | 90048514,4 | 90048514,4 | 90048514,4 | 90048514,4 | 90048514,4 |
|            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 | 2799780,11 |
| 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      | 24000      |
|            |            |            |            |            |            |            |            |            | 30321014   |
| 87224734,3 | 87224734,3 | 87224734,3 | 87224734,3 | 87224734,3 | 87224734,3 | 87224734,3 | 87224734,3 | 87224734,3 | 56903720,3 |