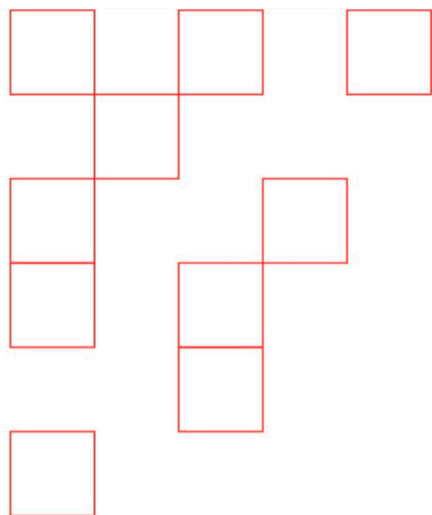




# Universidad Europea CANARIAS



MASTER  
EN  
ENERGIA

## TRABAJO FIN DE MASTER

Parque Eólico y Planta  
Desalinizadora para  
abastecimiento de agua  
potable "JUTSÜIN PALA´A" -  
Anexos

DIC 2023

Autores:

Andrea ÁLVAREZ VIDAL

Giovanny Mauricio BARRERO GONZÁLEZ

Dan IBARRA CAMPOS

Juan Manuel MANZANO SEGURA

Tutor o Tutora:

Dra. Pilar MONTAÑÉS RODRÍGUEZ

Tutor o Tutora:

# **ANEXO I: Estimación del recurso eólico disponible. Estudio de micrositing**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. OBJETO .....	4
1.1.Objetivo general .....	4
1.2.Objetivos específicos.....	4
2. ALCANCE.....	4
3. LOCALIZACIÓN DE LOS AEROGENERADORES .....	5
4. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE MEDICIÓN .....	6
4.1.Función distribución de probabilidad (Weibull).....	7
4.2.Distribución direccional de frecuencia, velocidad, energía e intensidad de turbulencia en forma de gráfico de barras y en tabla de valores.....	8
4.3.Variación horaria de la velocidad del viento.....	11
4.4.Variación mensual de la velocidad del viento .....	12
4.5.Análisis de turbulencia.....	13
5. VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA ALTURA.....	14
6. CONCLUSIONES DE LA CAMPAÑA DE MEDICIÓN .....	15
7. SIMULACIÓN DEL CAMPO DE VIENTOS .....	15
8. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	16
8.1.Energía eléctrica producida libre, bruta y efecto estela para cada aerogenerador.....	16
8.2.Energía eléctrica vertida en la Red .....	17
9. CONCLUSIONES .....	18
10. WEBGRAFÍA .....	20

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas de la ubicación de los aerogeneradores [Autor propio] .....	6
<b>Tabla 2.</b> Resumen día campaña de medición [Autor propio – Windographer] [3] .....	7
<b>Tabla 3.</b> Distribución direccional a un nivel de 150 m [Autor propio] .....	9
<b>Tabla 4.</b> Distribución direccional de la turbulencia [Autor propio] .....	11
<b>Tabla 5.</b> Variación horaria de la velocidad media a altura de 150m (Autor propio [3] .....	12
<b>Tabla 6.</b> Energía eléctrica producida por las turbinas (Autor propio - WAsP) [4] .....	17

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura: 1.</b> Área elegida para el emplazamiento [2] .....	5
<b>Figura: 2.</b> Distribución direccional de frecuencia (Autor propio - Windographer) [3] .....	9
<b>Figura: 3.</b> Distribución direccional de la energía total (Autor propio - Windographer) [3] .	10
<b>Figura: 4.</b> Simulación del campo de (Autor propio - WAsP) [4] .....	16

---

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Distribución Weibull a 150 [Autor propio – Windographer] [3] .....	8
<b>Gráfica 2.</b> Variación horaria de la velocidad media a altura de 150 m (Autor propio .....	11
<b>Gráfica 3.</b> Variación mensual de la velocidad media a altura de 150m. (Autor propio .....	13
<b>Gráfica 4.</b> Turbulencia a altura de 150m (Autor propio - Windographer) [3] .....	13
<b>Gráfica 5.</b> Variación de la velocidad según altura. (Autor propio - Windographer) [3] .....	14

## 1. OBJETO

### 1.1. Objetivo general

El objeto del presente estudio de caracterización del recurso eólico es obtener la viabilidad para un parque eólico offshore ubicado en la costa caribe a 9 km de la costa de Riohacha, Colombia.

### 1.2. Objetivos específicos

- Analizar las condiciones del viento en la zona marina específica donde se planea instalar el parque eólico.
- Medir la velocidad y dirección del viento, evaluar su variabilidad a lo largo del tiempo.
- Estimar la capacidad de generación de energía.
- Identificar posibles desafíos ambientales y técnicos.
- Tomar decisiones informadas para optimizar la producción de energía eólica en esta ubicación costera colombiana.

## 2. ALCANCE

Este estudio considera el recurso eólico existente en un emplazamiento mar adentro a tan solo 9 Km de Riohacha – La Guajira, Costa del Caribe colombiano, que permita la instalación de un parque eólico offshore.

El parque eólico offshore contará con una potencia instalada aproximadamente de 260 MW y altura de buje de 150 metros, con la finalidad de utilizar la tecnología de un aerogenerador que genere mayor producción de energía y sea más favorable para el proyecto. Entre las opciones de aerogenerador destinadas para el proyecto se tienen las siguientes:

- Siemens Gamesa SG 11.0-200 DD de 11 MW de potencia.
- Vestas V164-9.0 MW de 9 MW de potencia.
- General Electric Haliade-X de 13 MW de potencia.

Se determina cuál de estos es el aerogenerador más favorable para la producción de energía de acuerdo con los requerimientos de la zona y del parque eólico.

Se realiza el análisis del recurso eólico del que disponemos en el emplazamiento mediante simulaciones informáticas que nos permitan conocer los resultados de medición de campaña y el potencial eólico

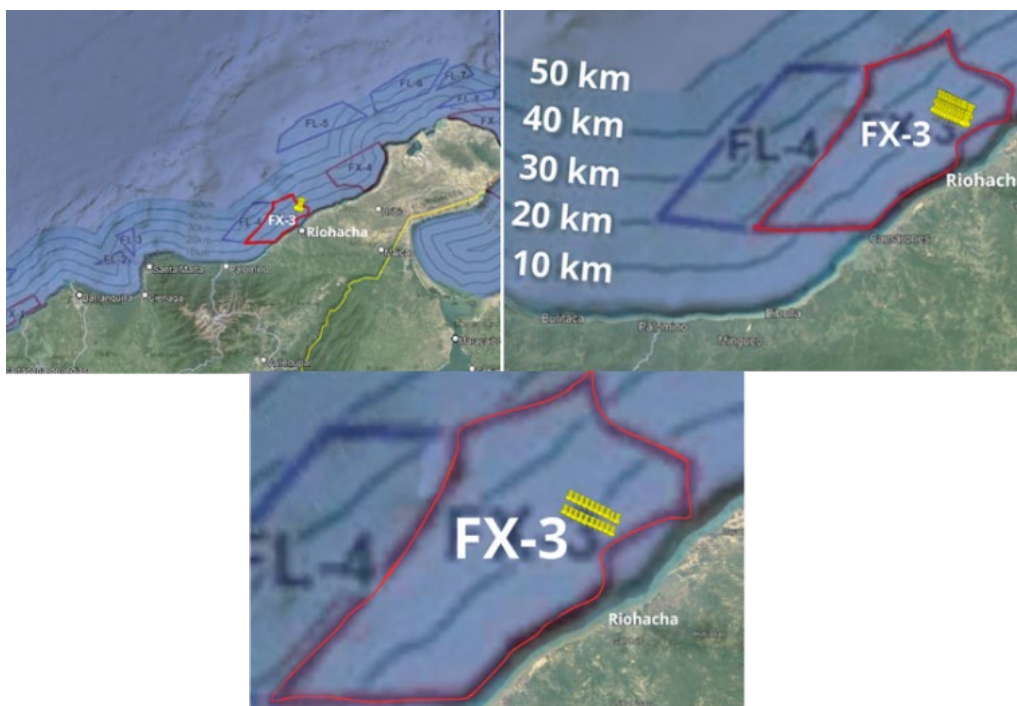
El proyecto se planea en el marco de transición energética en Colombia que contribuya a suplir la deficiencia energética de más del 30% de esta zona caribeña colombiana [1] y se enfocará en un proceso participativo que facilite la evolución del proyecto, contando con el aporte de los diferentes actores presentes en el territorio. El proyecto cuenta con información de partida

suministrada por la Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia [2], como series de datos de viento a largo plazo, batimetría del parque eólico e información disponible de los diferentes aerogeneradores lo que facilita el diseño y la optimización del parque eólico.

### 3. LOCALIZACIÓN DE LOS AEROGENERADORES

Según la Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia [2] se han establecido unas áreas correspondientes para el aprovechamiento de la energía eólica costa afuera en el Mar Caribe, estas áreas cuentan con un estudio previo respecto al impacto ambiental y la disponibilidad del recurso eólico, lo que nos permite establecer una de estas como la determinada para el montaje del proyecto.

De las áreas establecidas tomamos el área nombrada FX-3, Figura 1, en donde se puede realizar la instalación con bases fijas de acuerdo con la batimetría del terreno. Según las necesidades de producción de energía y la tecnología de los aerogeneradores se determinó ubicar 20 aerogeneradores para la ejecución del proyecto en la costa del municipio de Riohacha a aproximadamente 11 kms costa afuera.



**Figura: 1.** Área elegida para el emplazamiento [2]

Se ubican los aerogeneradores con sus respectivas distancias ubicadas hacia el Noreste, para el mayor aprovechamiento del recurso eólico. A continuación, se muestran en la Tabla 1, las coordenadas respectivas de cada aerogenerador que más adelante se utilizarán para la evaluación del potencial eólico en el programa WAsP.

Ubicación de los aerogeneradores				
	Latitud	Longitud	X	Y
1	11°39'10.01"N	72°55'48.87"O	724940,9	1288977,3
2	11°39'22.58"N	72°56'12.69"O	724938,2	1289346,1
3	11°39'32.53"N	72°56'34.29"O	724269,5	1289648,6
4	11°39'45.13"N	72°56'59.90"O	723509,3	1290042,6
5	11°39'54.81"N	72°57'22.29"O	722810,5	1290314,2
6	11°40'6.14"N	72°57'46.10"O	722080,8	1290677,8
7	11°40'17.82"N	72°58'10.74"O	721351,4	1291010,6
8	11°40'28.90"N	72°58'34.36"O	720622,0	1291343,5
9	11°40'40.03"N	72°58'59.47"O	719862,0	1291706,9
10	11°40'51.38"N	72°59'25.19"O	719072,1	1292039,3
11	11°38'15.85"N	72°56'12.17"O	724953,2	1287286,9
12	11°38'27.18"N	72°56'35.27"O	724253,7	1287650,7
13	11°38'37.13"N	72°56'59.77"O	723524,4	1287952,8
14	11°38'46.06"N	72°57'21.91"O	722855,9	1288224,5
15	11°38'56.38"N	72°57'46.08"O	722096,3	1288526,4
16	11°39'6.28"N	72°58'13.17"O	721276,1	1288827,9
17	11°39'17.50"N	72°58'37.63"O	720546,7	1289160,8
18	11°39'27.73"N	72°59'2.15"O	719787,1	1289462,7
19	11°39'38.54"N	72°59'24.68"O	719118,3	1289796,0
20	11°39'50.42"N	72°59'48.40"O	718388,6	1290159,7

**Tabla 1.** Coordenadas de la ubicación de los aerogeneradores [Autor propio]

#### 4. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE MEDICIÓN

A partir de los datos iniciales del área donde se planea establecer el parque eólico, se realizó una extrapolación a 150 M para obtener los datos necesarios adaptados a los requerimientos, la cual dio como resultado la siguiente campaña de medición, Tabla 2:

- Coordenadas: Huso 18 R: X Utm = 724917,10 Y Utm = 1289363,60
- Fecha inicio campaña de medición: 1 de enero de 2014 a las 12:10
- Fecha finalización campaña de medición: 31 de diciembre de 2017 a las 23:50
- Número de meses con datos válidos: 1460 días.
- Intervalo de registro de los datos eólicos: 10 minutos.
- Disponibilidad de datos para 150 metros de altura: 209.979
- Velocidad media a 150 metros de altura: 10.47 m/s con una frecuencia de 3.2%
- Densidad del aire: 1.150 kg/m<sup>3</sup>
- Weibull k: 1.776

- Weibull A (m/s): 11.922

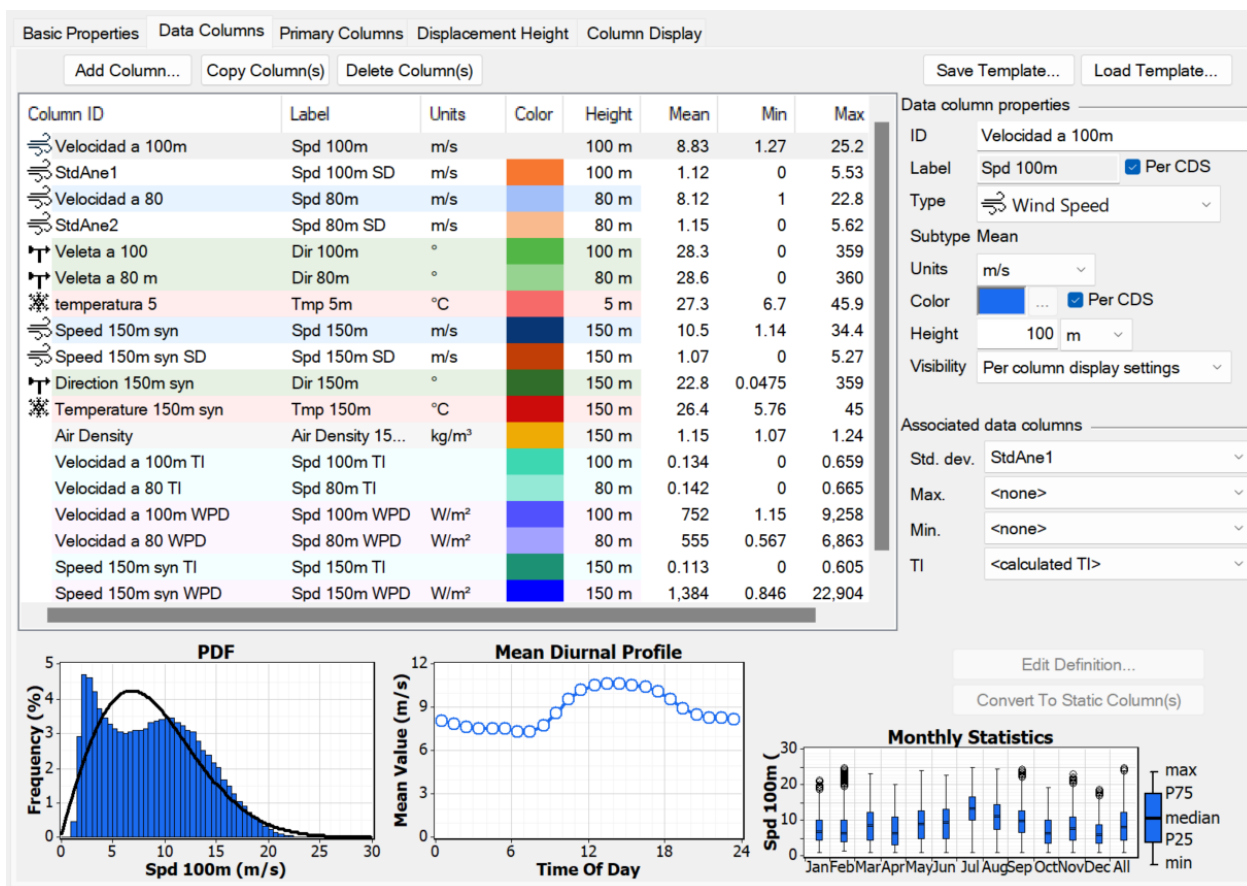
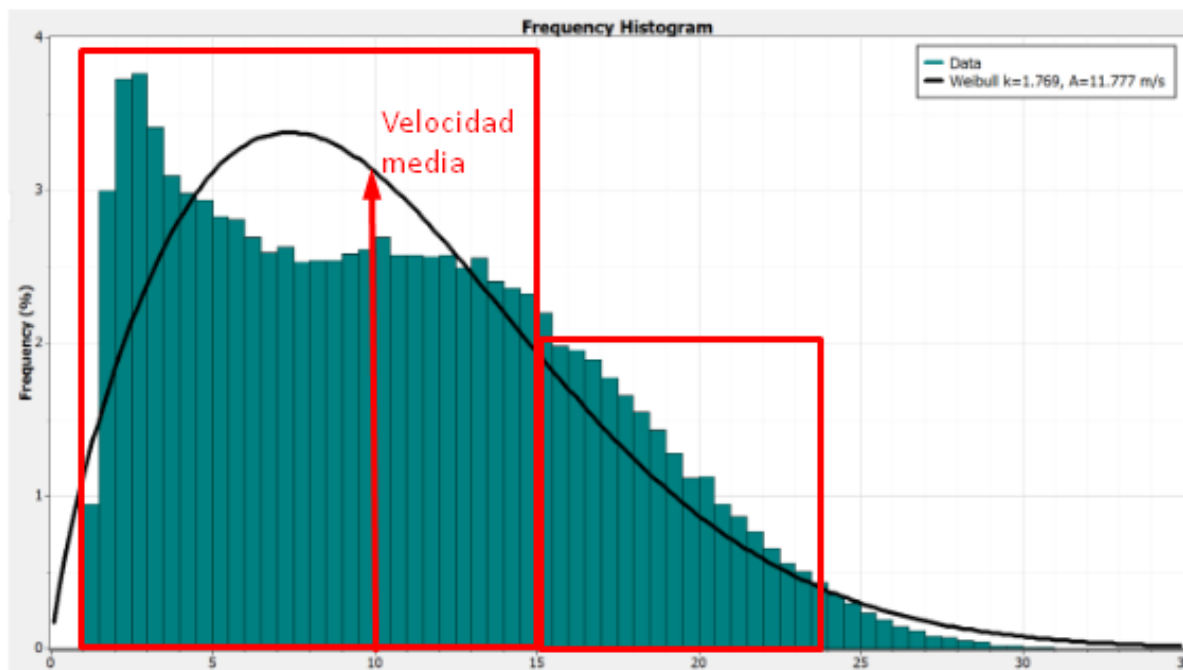


Tabla 2. Resumen día campaña de medición [Autor propio – Windographer] [3]

#### 4.1. Función distribución de probabilidad (Weibull)

En la Gráfica 1, podemos observar la distribución de Weibull para el periodo total de medición correspondiente a 1460 días, con datos extrapolados a 150 metros a partir de la base de datos inicial: En esta distribución se presentan valores de una velocidad media de 10,47 m/s y valores de distribución Weibull de A de 11.922 m/s y K 1.776





**Gráfica 1.** Distribución Weibull a 150 [Autor propio – Windographer] [3]

En la Gráfica 1, se puede observar cómo se encuentra la distribución de viento con los datos recogidos en donde predominan los vientos medios, sin embargo, también hay presencia de vientos fuertes. Los vientos entre 1.5 y 4.0 cuentan con una frecuencia entre 3.0% y 3.7% siendo estos los vientos con las frecuencias más altas. Por su parte, los vientos superiores a 4.0 e inferiores a 15.5 cuentan con frecuencias entre 2.2% y 2.9, lo que muestra una distribución entre las velocidades medias.

La distribución de probabilidad de la velocidad del viento muestra una asimetría, ya que en comparación con la velocidad promedio, es más probable que se produzcan velocidades del viento por debajo de la media. Por lo tanto, la probabilidad de que se registren velocidades del viento superiores a la media es menor. En la mayoría de los meses del año, la velocidad media tiene frecuencias que oscilan entre el 2.1% y el 3.7%.

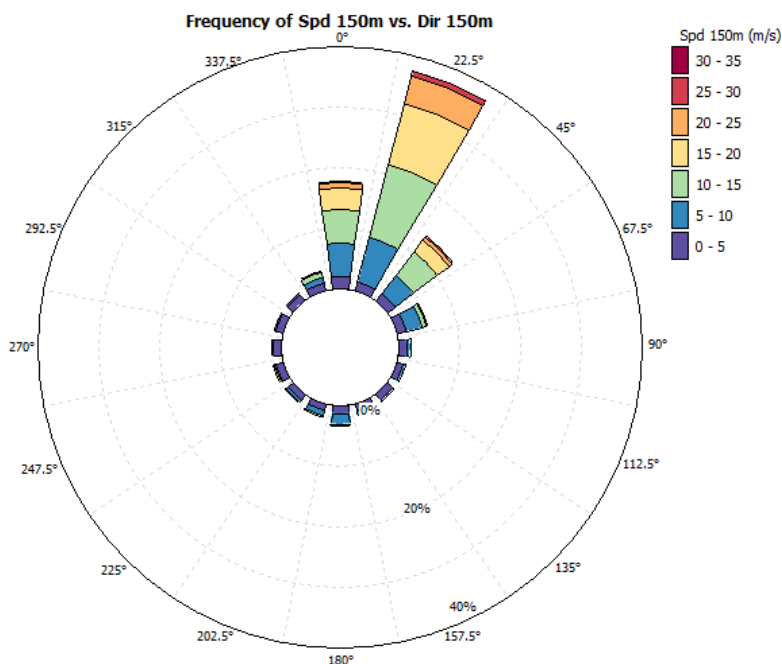
#### 4.2. Distribución direccional de frecuencia, velocidad, energía e intensidad de turbulencia -en forma de gráfico de barras y en tabla de valores

En la Tabla 3, se detallan los valores de distribución direccional relacionados con la frecuencia, la velocidad y la energía total del viento. Estos datos respaldan la tendencia previamente observada en las de rosa de los vientos. En concreto, destacamos que la dirección predominante es NNE con una orientación de 22.5 grados, registrando una velocidad promedio del viento de 14.02(m/s) y una frecuencia del 37.64%. Esto se traduce en una potencia de 2,293.7 (W/m<sup>2</sup>) y representa el 62.36% de la energía total disponible.

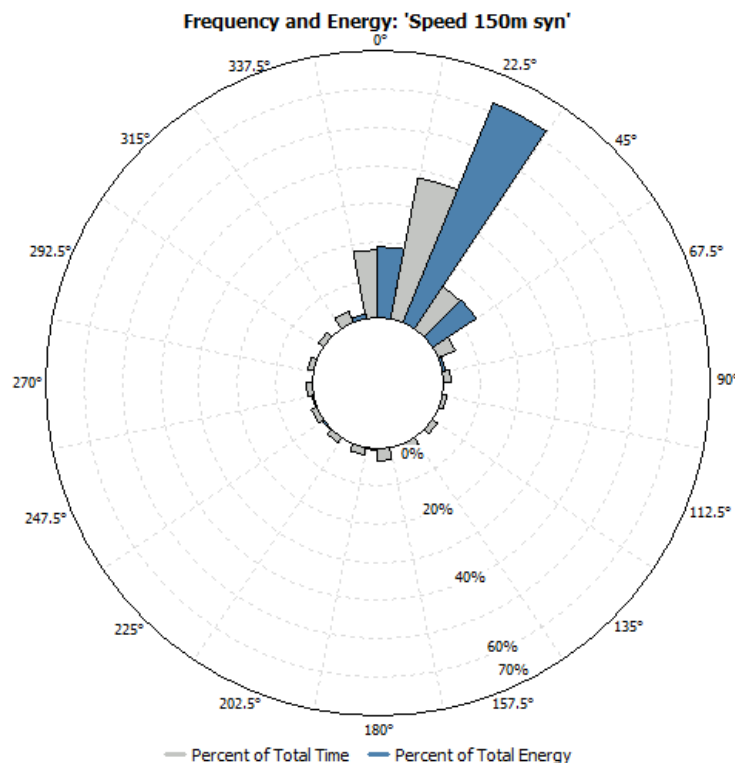
Dirección	Datos validos	Frecuencia (%)	Potencia media (W/M2)	Energía Total (%)	Velocidad media (m/s)
N	37,5	17.86	1,463.5	18.88	11.467
NNE	79,018	37.64	2,293.7	62.36	14.023
NE	28,549	13.60	1,414.8	13.90	11.480
ENE	10,792	5.14	275.0	1.02	6.535
E	4,524	2.15	88.2	0.14	4.403
ESE	3,373	1.61	72.7	0.08	3.832
SE	3,644	1.74	62.8	0.08	3.872
SSE	4,556	2.17	94.3	0.15	4.663
S	7,317	3.49	178.4	0.45	5.731
SSW	4,933	2.35	189.8	0.32	5.439
SW	3,899	1.86	406.7	0.55	5.406
WSW	3,838	1.83	344.3	0.45	4.612
W	3,544	1.69	86.6	0.11	3.189
WNW	3,512	1.67	50.5	0.06	2.939
NW	3,603	1.72	57.4	0.07	3.431
NNW	7,345	3.50	547.8	1.38	7.335
Total	209,947	100.00	1,384.4	100.00	10.479

**Tabla 3.** Distribución direccional a un nivel de 150 m [Autor propio]

La gráfica de barras representada en la Figura 2, resalta claramente que la dirección predominante de los vientos en esta ubicación está orientada hacia el NNE a 22.5 grados, seguida por el N y NE. Estas direcciones de viento muestran velocidades más elevadas, generalmente en el rango de 10 a 20 metros por segundo (m/s), e incluso superando ocasionalmente los 25 a 35 m/s. Sin embargo, se observa una constante tendencia de baja frecuencia y velocidad en las otras direcciones de viento.



**Figura: 2.** Distribución direccional de frecuencia (Autor propio - Windographer) [3]



**Figura: 3.** Distribución direccional de la energía total (Autor propio - Windographer) [3]

De igual manera, la Figura 3, ilustra la distribución direccional de la energía total, destacando que el 62.36% de la energía total se genera en la dirección hacia el NNE, durante el 37.64% del tiempo. Además, se observa que la energía total generada hacia el NE representa un 13.90% durante el 13.60% del tiempo, mientras que, en la dirección hacia el N, se produce un 18.88% de la energía total durante el 17.86% del tiempo.

En contraste, en todas las demás direcciones, la contribución a la energía total es inferior al 5%. Estos datos resaltan la importancia de estas tres direcciones específicas en la generación de energía eólica en esta ubicación, mientras que las demás direcciones tienen un impacto mucho menor. Los datos relativos a la intensidad de la turbulencia, Tabla 4, exhiben una variabilidad significativa en diversos sectores, destacando especialmente en las direcciones de WNW y NW, donde se registran niveles medios de turbulencia de aproximadamente 0.13.

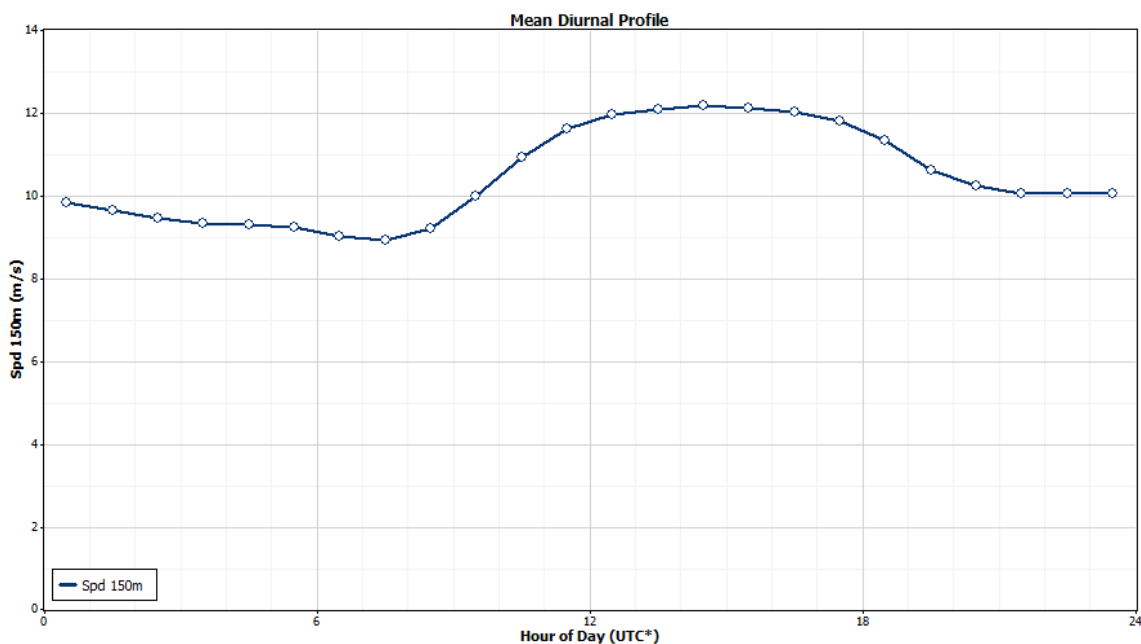
Es importante señalar que estos valores de turbulencia se encuentran dentro de la categoría C, lo que sugiere que se trata de turbulencias con intensidad y frecuencia relativamente baja.

Sector	Punto de sector	Rango del sector	Turbulencia media	Desviación estandar	Intensidad representativa
1	0.0	348.75° - 11.25°	0.1185	0.0450	0.1762
2	22.5	11.25° - 33.75°	0.1026	0.0334	0.1453
3	45.0	33.75° - 56.25°	0.0948	0.0346	0.1390
4	67.5	56.25° - 78.75°	0.1034	0.0440	0.1597
5	90.0	78.75° - 101.25°	0.1347	0.0573	0.2080
6	112.5	101.25° - 123.75°	0.1527	0.0679	0.2395
7	135.0	123.75° - 146.25°	0.1609	0.0698	0.2502
8	157.5	146.25° - 168.75°	0.1300	0.0594	0.2060
9	180.0	168.75° - 191.25°	0.1173	0.0570	0.1903
10	202.5	191.25° - 213.75°	0.1289	0.0697	0.2182
11	225.0	213.75° - 236.25°	0.1319	0.0753	0.2283
12	247.5	236.25° - 258.75°	0.1166	0.0665	0.2017
13	270.0	258.75° - 281.25°	0.1193	0.0727	0.2124
14	292.5	281.25° - 303.75°	0.1307	0.0771	0.2294
15	315.0	303.75° - 326.25°	0.1350	0.0816	0.2394
16	337.5	326.25° - 348.75°	0.1151	0.0667	0.2004

**Tabla 4.** Distribución direccional de la turbulencia [Autor propio]

### 4.3. Variación horaria de la velocidad del viento

En la Gráfica 2 y Tabla 5, se puede identificar que el período entre las 7 y las 8 de la mañana registra la velocidad del viento más baja, con un valor de 8.943 (m/s). A partir de este momento, se observa un aumento porcentual significativo, aproximadamente del 50.7%, hasta alcanzar un valor de 12.194 m/s entre las 2 y las 3 de la tarde.



**Gráfica 2.** Variación horaria de la velocidad media a altura de 150 m (Autor propio - Windographer) [3]

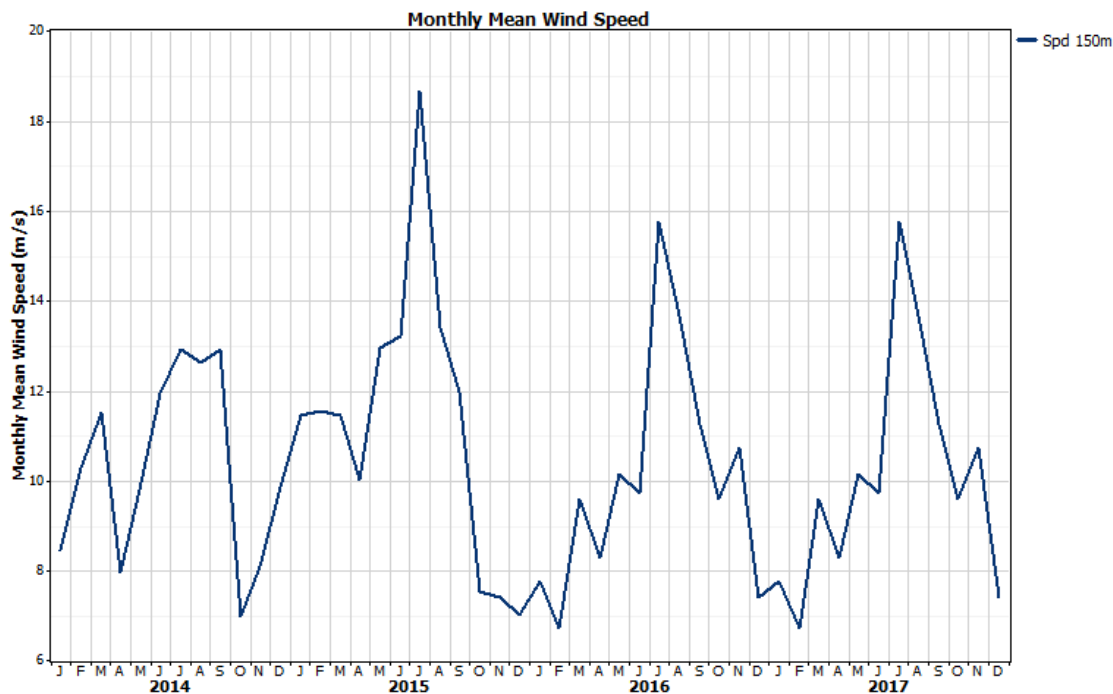
Este incremento en la velocidad del viento a lo largo del día señala un patrón característico en el comportamiento del viento en la ubicación analizada, con un aumento notorio desde la mañana hasta la tarde. Este dato es relevante para comprender la variabilidad diurna de la velocidad del viento y su impacto en la instalación del parque eólico.

Horas	Velocidad (m/s)	Datos
00:00 - 01:00	9.857	8,754
01:00 - 02:00	9.672	8,754
02:00 - 03:00	9.484	8,754
03:00 - 04:00	9.340	8,754
04:00 - 05:00	9.314	8,754
05:00 - 06:00	9.270	8,754
06:00 - 07:00	9.032	8,754
07:00 - 08:00	8.943	8,754
08:00 - 09:00	9.211	8,748
09:00 - 10:00	10.009	8,742
10:00 - 11:00	10.947	8,742
11:00 - 12:00	11.649	8,740
12:00 - 13:00	11.992	8,747
13:00 - 14:00	12.105	8,748
14:00 - 15:00	12.194	8,748
15:00 - 16:00	12.145	8,748
16:00 - 17:00	12.031	8,748
17:00 - 18:00	11.833	8,748
18:00 - 19:00	11.349	8,748
19:00 - 20:00	10.641	8,748
20:00 - 21:00	10.257	8,748
21:00 - 22:00	10.077	8,748
22:00 - 23:00	10.058	8,748
23:00 - 24:00	10.067	8,748
<b>Total</b>	10.478	209,979

**Tabla 5.** Variación horaria de la velocidad media a altura de 150m (Autor propio - Windographer) [3]

#### 4.4. Variación mensual de la velocidad del viento

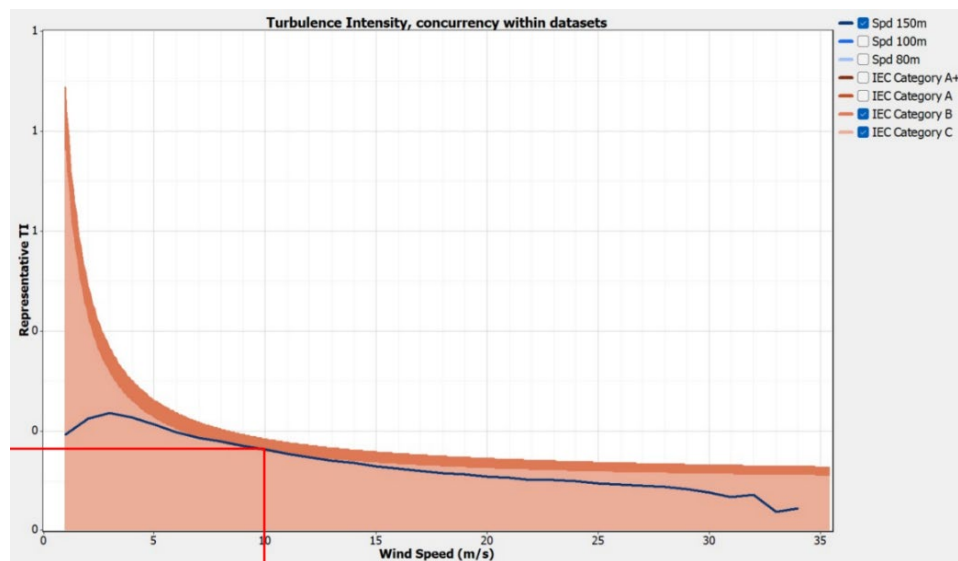
En la Gráfica 3, se puede apreciar una marcada variación a lo largo de los diferentes meses del año en la ubicación específica. marzo y julio destacan como los meses con las velocidades del viento más elevadas, mientras que febrero y diciembre se caracterizan por tener velocidades del viento más bajas. No obstante, al examinar esta variabilidad desde la perspectiva de varios años, se observa que los mismos meses pueden experimentar fluctuaciones sustanciales en distintos años.



**Gráfica 3.** Variación mensual de la velocidad media a altura de 150m. (Autor propio - Windographer) [3]

#### 4.5. Análisis de turbulencia

A continuación, se llevará a cabo un análisis de la turbulencia a una altura de 120 metros siguiendo las pautas de la tercera edición de la norma IEC614001. El objetivo es determinar el tipo de aerogenerador más apropiado para la ubicación seleccionada. Se utilizarán los datos que muestra la Gráfica 4 para examinar la turbulencia obtenida a través de Windographer, las diversas curvas que representan las clases de turbulencia, y se evaluarán los valores correspondientes.



**Gráfica 4.** Turbulencia a altura de 150m (Autor propio - Windographer) [3]

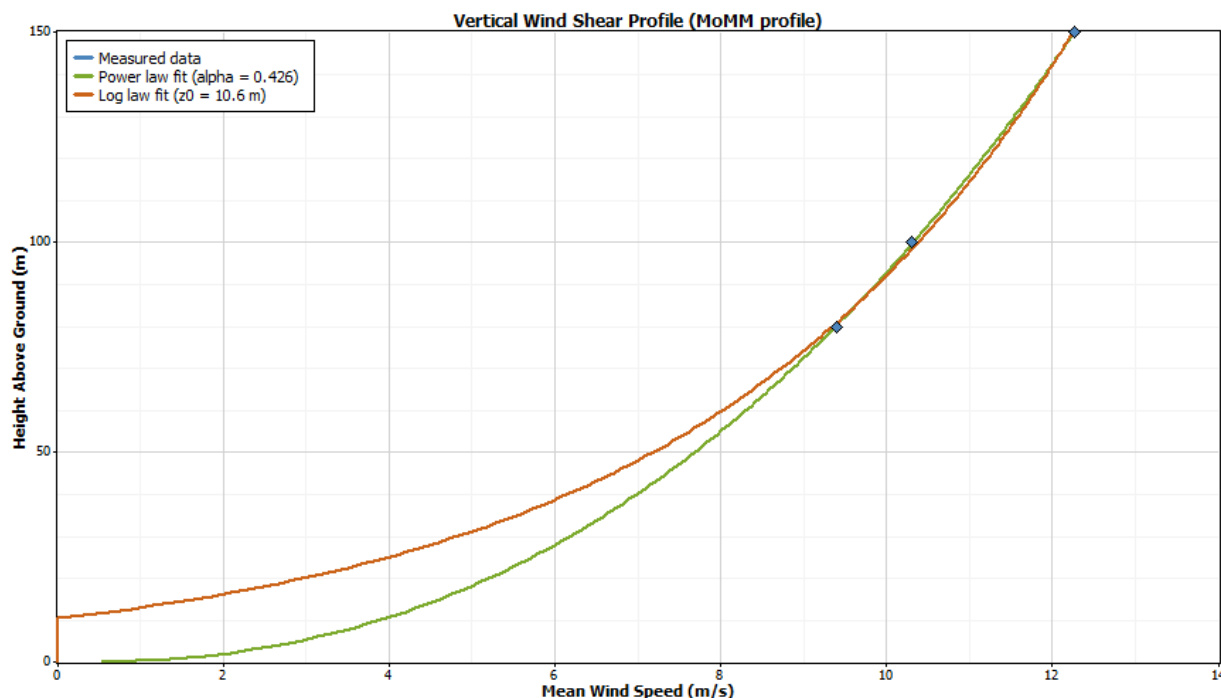
El valor de turbulencia obtenido mediante el uso de Windographer se sitúa en 0.1174, lo que lo clasifica dentro del rango correspondiente a la clase B en términos de turbulencia. Esta clasificación refleja la intensidad de la turbulencia en la ubicación analizada.

## 5. VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA ALTURA

El valor de 10.6 metros obtenido a través de la ley logarítmica representa la altura a la cual se produce un cambio significativo en la velocidad del viento. En otras palabras, se sugiere que a medida que nos desplazamos verticalmente desde la superficie hacia arriba, la velocidad del viento puede aumentar considerablemente durante los primeros 10.6 metros.

Por otro lado, el valor de 0.426 asociado a la ley potencial se refiere al exponente de la ley potencial, que describe cómo la velocidad del viento disminuye con la altura. Un valor de 0.426 indica que, según esta ley, la velocidad del viento disminuye más lentamente con la altura en comparación con una disminución lineal. Esto significa que a medida que nos alejamos de la superficie, la velocidad del viento se reduce, pero a un ritmo más gradual que el de una disminución lineal.

En este contexto, con una velocidad media de 10.47 (m/s), estos valores sugieren que, en promedio, a medida que nos elevamos desde la superficie, la velocidad del viento tiende a mantenerse relativamente constante en los primeros 10.6 metros, lo que concuerda con la idea de una capa superficial influida por la rugosidad del terreno. Luego, a alturas superiores, la velocidad del viento disminuye de acuerdo con la ley potencial, pero lo hace de manera menos pronunciada que si siguiera una disminución lineal, Gráfica 5.



**Gráfica 5.** Variación de la velocidad según altura. (Autor propio - Windographer) [3]

## 6. CONCLUSIONES DE LA CAMPAÑA DE MEDICIÓN

El análisis de varios parámetros relacionados con el viento a través del programa Windographer arroja resultados significativos. La velocidad promedio del viento se estima en 10.47 metros por segundo (m/s), con una predominancia de vientos de baja velocidad. Los parámetros de Weibull,  $A=11.922$  m/s y  $K=1.776$ , indican la distribución de la velocidad del viento, con un énfasis en la velocidad media.

Al observar la rosa de los vientos, se destaca la dirección predominante hacia el NNE, seguida de N y NE. Estas direcciones nos muestran velocidades más altas y una tendencia consistente a lo largo del tiempo, lo que es beneficioso, ya que no será necesario ajustar constantemente la orientación de los aerogeneradores para capturar el viento predominante. Esto también sugiere una eficiencia constante en la generación de energía eólica.

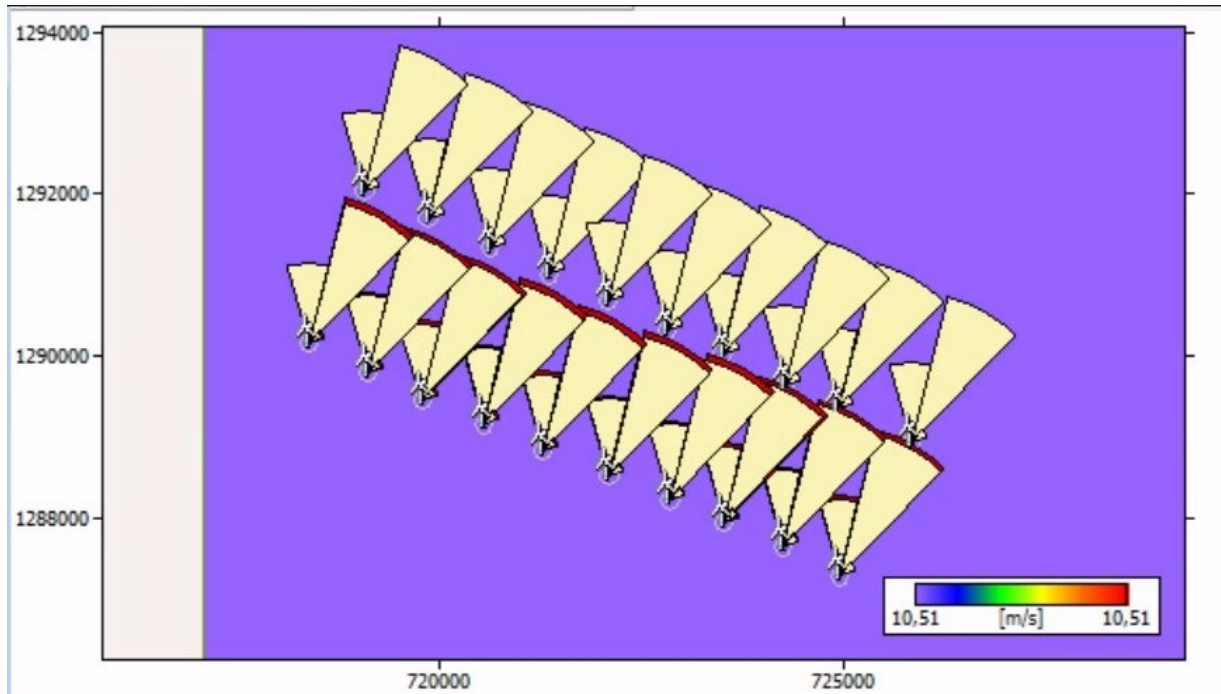
El análisis de la generación de energía a lo largo del año muestra que diciembre es el mes con menor producción de energía, mientras que julio registra la producción más alta. Además, al examinar la variación horaria de los datos de viento, se nota que las velocidades más altas se experimentan entre las 13:00 y las 16:00 horas, mientras que las más bajas ocurren entre las 5:00 y las 8:00 de la mañana. En cuanto a la variación mensual, marzo y julio se destacan como los meses con velocidades más altas, mientras que febrero y diciembre presentan velocidades más bajas.

Por último, el análisis de la turbulencia mediante el programa Windographer y el diagrama de Weibull indica que la ubicación es adecuada para aerogeneradores de clase C, con un valor de turbulencia de 0.1101.

## 7. SIMULACIÓN DEL CAMPO DE VIENTOS

A continuación, se muestra en la Figura 4, las curvas isoventas generadas mediante la simulación de los patrones de viento en la ubicación utilizando el software WAsP. Estas curvas ilustran cómo varía la velocidad del viento y la densidad de potencia en relación con los obstáculos presentes en el emplazamiento, los cuales han sido detalladamente especificados en el programa de simulación. Estas representaciones gráficas proporcionan información valiosa sobre la distribución del viento en el sitio, ayudando a comprender la influencia de los obstáculos en la eficiencia y el rendimiento de los generadores eólicos.





**Figura: 4.** Simulación del campo de (Autor propio - WAsP) [4]

Se puede observar que debido a que es un parque eólico ubicado a nivel del mar y que todas las turbinas se encuentran a la misma altura, se reporta la misma velocidad media en la zona. Adicionalmente, se presenta el efecto estela, en donde se evidencia que la distancia entre los aerogeneradores no representa valores altos de pérdidas por este efecto.

## 8. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Finalmente, se realizará una estimación de la energía total generada en la alternativa elegida, abarcando tanto la energía bruta como la neta y considerando el efecto estela. Además, se llevará a cabo el cálculo de las pérdidas eléctricas, así como la cantidad de la energía vertida a la red.

### 8.1. Energía eléctrica producida libre, bruta y efecto estela para cada aerogenerador

Para calcular la energía total generada por la alternativa de aerogenerador elegido Haliade X 13 MW, se emplea el programa WAsP. En la Tabla 6 se presentan los resultados correspondientes de cada turbina, destacando la energía bruta obtenida, la energía neta y las pérdidas por el efecto estela.

	Velocidad media (m/s)	Velocidad media (estela reducida) (m/s)	Densidad del aire (kg/m <sup>3</sup> )	Producción bruta anual de energía (GWh)	Producción neta anual de energía (GWh)	Perdida de estela (%)	Factor de capacidad (%)
Turbina 1	10,51	10,48	1,131	60,535	60,354	0,30	54,0
Turbina 2	10,51	10,45	1,131	60,535	60,154	0,63	53,8
Turbina 3	10,51	10,44	1,131	60,535	60,072	0,77	53,7
Turbina 4	10,51	10,44	1,131	60,535	60,071	0,77	53,7
Turbina 5	10,51	10,44	1,131	60,535	60,051	0,80	53,7
Turbina 6	10,51	10,44	1,131	60,535	60,083	0,75	53,8
Turbina 7	10,51	10,44	1,131	60,535	60,078	0,76	53,8
Turbina 8	10,51	10,44	1,131	60,535	60,081	0,75	53,8
Turbina 9	10,51	10,45	1,131	60,535	60,116	0,69	53,8
Turbina 10	10,51	10,46	1,131	60,535	60,179	0,59	53,8
Turbina 11	10,51	10,26	1,131	60,535	58,579	3,23	52,4
Turbina 12	10,51	10,22	1,131	60,535	58,236	3,80	52,1
Turbina 13	10,51	10,17	1,131	60,535	57,778	4,55	51,7
Turbina 14	10,51	10,17	1,131	60,535	57,803	4,51	51,7
Turbina 15	10,51	10,16	1,131	60,535	57,710	4,67	51,6
Turbina 16	10,51	10,18	1,131	60,535	57,868	4,41	51,8
Turbina 17	10,51	10,18	1,131	60,535	57,870	4,40	51,8
Turbina 18	10,51	10,19	1,131	60,535	57,977	4,23	51,9
Turbina 19	10,51	10,21	1,131	60,535	58,180	3,89	52,1
Turbina 20	10,51	10,28	1,131	60,535	58,715	3,01	52,5

**Tabla 6.** Energía eléctrica producida por las turbinas (Autor propio - WAsP) [4]

## 8.2. Energía eléctrica vertida en la Red

Por último, una vez obtenidas las pérdidas y la producción de energía bruta y neta, se procede a calcular la energía vertida en la red, el factor de capacidad y las horas equivalentes.

Se establece como escenario de pérdidas previsto los siguientes valores.

- 97% para pérdidas en la instalación eléctrica
- 95% para las pérdidas por incumplimiento de la curva de potencia y por operación y mantenimiento.
- Energía vertida en la red: 1,034.71 GWh/año
- Horas equivalentes: 3.979 horas
- Factor de capacidad: 45.4%

La cantidad total de energía vertida a la red anualmente por el Parque Eólico se estima en 1,034.14 GWh. Esta estimación se basa en el funcionamiento de los aerogeneradores durante 3,979 horas equivalentes a plena carga, con un rendimiento productivo del 100% y un factor de capacidad del 45.4%.

---

## 9. CONCLUSIONES

El análisis detallado realizado a través del programa Windographer revela información crucial sobre el comportamiento del viento en la ubicación del parque eólico. La velocidad promedio del viento de 10.47 m/s, junto con los parámetros de Weibull, sugiere una distribución que destaca la consistencia de velocidades medias, indicando un entorno propicio para la generación de energía eólica. La dirección predominante del viento hacia el NNE, N y NE añade un elemento de estabilidad y eficiencia al parque, ya que no se requerirá un ajuste constante de la orientación de los aerogeneradores para aprovechar el viento predominante.

El análisis temporal de la generación de energía a lo largo del año resalta la variabilidad estacional, siendo diciembre el mes con menor producción y julio con la producción más alta. Además, la variación horaria y mensual muestra patrones consistentes, con velocidades más altas experimentadas durante ciertas horas del día y meses específicos. Este conocimiento temporal es esencial para la gestión eficiente de la generación de energía y la planificación estratégica.

Por su parte, la evaluación de la turbulencia con un valor de 0.1101 indica que la ubicación de vientos clase C, confirmando la idoneidad del emplazamiento para la instalación de turbinas eólicas. En conjunto, estos resultados respaldan la viabilidad y eficacia del parque eólico en la generación de energía sostenible, proporcionando información valiosa para su diseño, operación y mantenimiento óptimos.

A partir de los datos de viento obtenidos por el programa Windographer se revela información crucial sobre el rendimiento y eficiencia del parque eólico. Las curvas isoventas obtenidas mediante la simulación con el software WAsP proporcionan una representación visual de la variación de la velocidad del viento y la densidad de potencia, teniendo en cuenta los obstáculos presentes en la ubicación. Es importante destacar que, al tratarse de un parque offshore a nivel del mar y con turbinas a la misma altura, se observa una velocidad media constante en la zona, minimizando las variaciones significativas.

En cuanto a la estimación de la energía eléctrica, se utiliza el programa WASP para calcular la energía bruta, neta y las pérdidas por efecto estela para cada aerogenerador Haliade X 13 MW. Los resultados muestran la producción eléctrica esperada de cada turbina, resaltando la importancia de considerar tanto la energía bruta, como la neta, así como las pérdidas específicas por el efecto estela.

El escenario de pérdidas eléctricas aborda diversas eventualidades, como pérdidas en la instalación eléctrica, incumplimiento de la curva de potencia, indisponibilidad de aerogeneradores y contaminación ambiental. Las cifras obtenidas a través de simulaciones con el software WAsP se incorporan en la tabla, destacando la relevancia de estos factores en el rendimiento general del parque eólico.

Finalmente, el cálculo de la energía eléctrica vertida en la red refleja una cifra anual de 1,034.14 GWh, considerando las pérdidas previstas y el factor de capacidad del 45.4%. Este dato es esencial para comprender la contribución efectiva del parque eólico a la red eléctrica, mostrando su capacidad para abastecer a miles de hogares y su impacto significativo en la generación de energía renovable.

## 10. WEBGRAFÍA

- [1] DANE, «La información del DANE en la toma de decisiones de los departamentos, La Guajira.,» 2020. [En línea]. Available: <http://surl.li/nvcqj>. [Último acceso: 14 Septiembre 2023].
- [2] World Bank Grupo y The Renewables Consulting Group, Grupo ERM., «Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia.,» 2019. [En línea]. Available: <http://surl.li/nvcre>. [Último acceso: 14 septiembre 2023 ].
- [3] Mistaya Engeneering INC, «Windographer (Versión 5.0).,» UL Digital solution., 2005. [En línea].
- [4] DTU Wind and Energy Systems, «WAsP.,» [En línea]. Available: <https://www.wasp.dk/>.

## **ANEXO II. Descripción de la subestación**

## INDICE DE CONTENIDO

1.	DEFINICIÓN DE LA ARQUITECTURA DE LA SUBESTACIÓN.....	23
1.1.	Transformadores Elevadores y Reducción de Tensión .....	23
1.2.	Interruptores y Conectores de Alta Tensión .....	23
1.3.	Sistemas de Protección y Control .....	23
1.4.	Centro de Control y Monitoreo (SCADA).....	23
1.5.	Equipos Auxiliares y de Servicios .....	23
1.6.	Refugio de Emergencia .....	23
1.7.	Celdas de Media Tensión .....	24
2.	CRITERIOS DE DISEÑO ADOPTADOS.....	24
3.	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CORTE .....	24
3.1.	Auto válvulas .....	24
3.2.	Interruptores .....	24
3.3.	Seccionadores .....	25
3.4.	Transformadores de Intensidad .....	25
3.5.	Transformadores de Tensión .....	25
4.	DESCRIPCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	25
5.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES Y TELECONTROL .....	25
6.	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE CORRIENTE CONTINUA.....	26
7.	DESCRIPCIÓN DE CONDUCTORES .....	27
8.	DEFINICIÓN DE LA RED DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN.....	27

## 1. DEFINICIÓN DE LA ARQUITECTURA DE LA SUBESTACIÓN

### 1.1. Transformadores Elevadores y Reducción de Tensión

La subestación incorpora transformadores elevadores que incrementan la tensión de la electricidad generada por los aerogeneradores para facilitar su eficiente transmisión a través de la red eléctrica. También pueden existir transformadores de reducción de tensión para ajustar la electricidad a niveles seguros antes de su distribución local.

### 1.2. Interruptores y Conectores de Alta Tensión

Se emplean interruptores y conectores de alta tensión para supervisar y controlar el flujo de electricidad, facilitando la conexión de la subestación con la red de transmisión eléctrica.

### 1.3. Sistemas de Protección y Control

Dispositivos de protección, como relés y sistemas de control, aseguran la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico. Supervisan el funcionamiento de los equipos, detectan posibles fallos y toman medidas para prevenir daños.

### 1.4. Centro de Control y Monitoreo (SCADA)

Se implementa un sistema SCADA para monitorear y gestionar de forma remota todas las operaciones de la subestación. Este centro de control proporciona información en tiempo real sobre el rendimiento de los aerogeneradores y otros dispositivos.

### 1.5. Equipos Auxiliares y de Servicios

Incluye transformadores para servicios auxiliares, sistemas de iluminación, ventilación y otros equipos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento de la subestación.

### 1.6. Refugio de Emergencia

Este refugio es una medida de seguridad, con la cual cuentan las subestaciones, están equipadas con los insumos necesarios para cubrir eventualidades de primeros auxilios y herramientas de rescate.



### 1.7. Celdas de Media Tensión

Las celdas de media tensión cumplen con el papel al realizar la conexión de los aerogeneradores, lo cual facilita la distribución interna de la energía producida. Además, posibilitan la gestión correcta de la electricidad, optimizando el rendimiento global del parque eólico.

## 2. CRITERIOS DE DISEÑO ADOPTADOS

En el proceso de diseño y desarrollo del parque eólico es importante el poder optimizar el aprovechamiento de la energía eólica. Esto se logra al elegir aerogeneradores avanzados y al realizar una disposición óptima en el parque. La seguridad y la confiabilidad son aspectos fundamentales, reflejados en la implementación de sistemas de protección y control para garantizar una operación segura del sistema. Otros criterios cruciales incluyen la integración eficaz con la red eléctrica, la adaptabilidad a las condiciones climáticas locales y un enfoque hacia la sostenibilidad ambiental. Además, se busca la facilidad de mantenimiento mediante un diseño accesible, mientras que el monitoreo remoto y la conformidad con las normativas son elementos esenciales. La eficiencia en costos y la capacidad de adaptación a cambios aseguran la viabilidad económica a largo plazo y la flexibilidad del parque eólico ante condiciones cambiantes.

En resumen, los criterios de diseño abarcan desde la eficiencia en la captura de energía hasta la consideración de aspectos ambientales sostenibles, priorizando la seguridad, la integración efectiva y la capacidad de adaptación del parque eólico.

## 3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CORTE

### 3.1. Auto válvulas

Las auto válvulas son dispositivos que regulan automáticamente el flujo de fluidos, en este contexto, el flujo de corriente eléctrica. En el sistema eléctrico del parque eólico, las auto válvulas se usan como interruptores automáticos que se activan o desactivan automáticamente en respuesta a ciertas condiciones, como sobrecargas o fallas en el sistema. Estos dispositivos contribuyen a la seguridad y eficiencia del sistema eléctrico al gestionar la circulación de corriente de manera controlada.

### 3.2. Interruptores

Los interruptores son componentes clave en un sistema eléctrico que permiten abrir o cerrar un circuito eléctrico. Estos dispositivos son esenciales para la conexión y desconexión manual de secciones específicas del sistema. Para este parque, los interruptores se utilizan para controlar el flujo de energía en diferentes partes del sistema, facilitando el mantenimiento y asegurando un funcionamiento seguro.

### 3.3. Seccionadores

Los seccionadores son dispositivos que permiten aislar secciones específicas de un circuito eléctrico. Estos componentes son fundamentales para el mantenimiento seguro del sistema, ya que proporcionan una forma de desconectar secciones de la red eléctrica para realizar reparaciones o inspecciones. Los seccionadores garantizan la seguridad durante las operaciones de mantenimiento.

### 3.4. Transformadores de Intensidad

Los transformadores de intensidad, también conocidos como transformadores de corriente, son dispositivos que convierten la corriente eléctrica de un nivel a otro. Con estos, se busca medir la electricidad de manera segura, puesto que, disminuyen la intensidad previa a transportarla hacia los dispositivos de medición.

### 3.5. Transformadores de Tensión

Los transformadores de tensión son dispositivos que ajustan los niveles de voltaje en un sistema eléctrico. Estos transformadores son esenciales para medir de manera segura la tensión, ya que reducen el nivel de voltaje antes de que la corriente llegue a los dispositivos de medición.

## 4. DESCRIPCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Su función principal es ajustar los niveles de voltaje para la transmisión eficiente de electricidad a través de la red eléctrica. El transformador de potencia desempeña un papel crucial al elevar la tensión generada por los aerogeneradores antes de la transmisión a larga distancia y, posteriormente, reducir la tensión a niveles seguros para la distribución local.

El transformador de potencia consta de dos bobinas, conocidas como primario y secundario, que están acopladas magnéticamente. La relación entre el número de espiras en estas bobinas determina la proporción de transformación, y, por ende, cómo se ajustan los niveles de voltaje. Su diseño robusto y su capacidad para manejar grandes cantidades de energía lo convierten en un componente esencial para la eficiencia y la seguridad en la transmisión de la energía eléctrica generada por los aerogeneradores en un parque eólico. Es un transformador de potencia total de 3 niveles, 4Q, VSI-NPC, diseño sin fusibles, el cual soporta un rango de potencia del generador de hasta 15 megavatios y cuenta con un sistema de enfriamiento con refrigeración líquida con unidad de refrigeración de circuito cerrado.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES Y TELECONTROL

El sistema de telecomunicaciones y telecontroles es una infraestructura crucial, encargada de facilitar la comunicación y el control remoto de diversos componentes del parque. Se compone

de una red de dispositivos diseñados para el cruce de información en tiempo real entre la central de control, los aerogeneradores y otros elementos del parque.

Es necesario el uso de redes de fibra óptica, enlaces por microondas y otros medios de transmisión para asegurar una conectividad confiable que permita el tránsito de la información de manera inmediata, para tener la información precisa del rendimiento de los aerogeneradores, el estado del sistema y la infraestructura. Además, la funcionalidad de telecontrol implica la operabilidad y supervisión de los dispositivos del parque; por lo tanto a través de estos sistemas se puede iniciar o detener aerogeneradores, ajustar configuraciones operativas y realizar diagnósticos a distancia.

## 6. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE CORRIENTE CONTINUA

Los equipos de corriente continua (CC) desempeñan un papel crucial en la generación, transformación y transmisión eficiente de la energía producida por los aerogeneradores. A continuación, se describe cómo algunos de estos equipos específicos contribuyen al funcionamiento del parque:

- **Rectificadores**

Son los encargados de transformar la corriente alterna (CA) generada por los aerogeneradores en corriente continua (CC)

- **Convertidores DC-DC**

Estos equipos permiten adaptar el voltaje de la corriente continua y ajustan el nivel de voltaje de la corriente continua.

- **Inversores**

Transforman la corriente continua generada por los aerogeneradores en corriente alterna, permitiendo su conexión a la red eléctrica.

- **Baterías**

Actúan como sistemas de almacenamiento, permitiendo almacenar el exceso de energía generada durante períodos de viento abundante para su uso posterior cuando las condiciones de generación son menos favorables.

- **Interruptores y Disyuntores de Corriente Continua**

Aseguran la operación segura del sistema, permitiendo el control y la protección de los circuitos de corriente continua.

- **Reguladores de Voltaje**

Garantizan que la corriente continua mantenga niveles de voltaje estables, optimizando así la eficiencia del sistema.

## 7. DESCRIPCIÓN DE CONDUCTORES

Los conductores son los cables a través de los cuales se pone en funcionamiento el parque eólico, se transmite la energía producida y se controlan los equipos correspondientes.

Los cables de alimentación de media tensión conectan los generadores de los aerogeneradores con el sistema de distribución, mientras que los cables de fibra óptica permiten la comunicación y el control. Los cables internos en los aerogeneradores llevan la electricidad desde los generadores hasta el sistema de control interno. En parques eólicos offshore, se utilizan cables submarinos para llevar la energía desde los aerogeneradores marinos hasta la subestación en tierra. Los cables de puesta a tierra garantizan la seguridad, y los cables de control y señalización facilitan la transmisión de señales de control y monitoreo. Además, los cables de interconexión en subestaciones facilitan la conexión eficiente de los diferentes elementos de la infraestructura eléctrica del parque.

## 8. DEFINICIÓN DE LA RED DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN

La red de puesta a tierra es un sistema de conexiones eléctricas diseñado para proporcionar una vía segura y eficiente para la descarga de corriente eléctrica hacia la tierra. Su objetivo principal es garantizar la seguridad de la instalación al disipar la corriente no deseada que pueda surgir debido a fallas en el sistema o eventos como descargas atmosféricas. Esta red está compuesta por electrodos, conductores y conexiones que permiten una disipación controlada de la corriente hacia el suelo, reduciendo el riesgo de daños en la infraestructura y garantizando la seguridad de las personas que trabajan en o alrededor de la subestación. Además, la puesta a tierra contribuye a mantener el equipo eléctrico en un potencial de voltaje seguro, evitando la acumulación peligrosa de cargas eléctricas.

## **ANEXO III: Estudio de impacto ambiental**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE PUNTUACIÓN .....	31
2.	INVENTARIO .....	33
2.1	Zonas sensibles.....	33
2.2	Áreas protegidas.....	34
2.3	Ecosistema marino. ....	35
2.4	Fauna marina.....	37
2.5	Medio económico.....	40
3	VALORACIÓN .....	41
3.5	Fase de construcción.....	42
3.6	Fase de funcionamiento.....	43
3.7	Fase de desmantelamiento.....	44
4	MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS.....	45
5	PLAN DE VIGILANCIA.....	46
6.	WEBGRAFÍA .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación de la magnitud y la importancia mediante el Método de Leopold.....	31
<b>Figura 2.</b> Mapa de zonificación de ecosistemas generales marinos en la zona del emplazamiento de nuestro parque eólico.....	36

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cálculo de la importancia mediante el Método De Leopold.....	32
<b>Tabla 2.</b> Normalización para los valores obtenidos al calcular la importancia de un impacto ....	32
<b>Tabla 3.</b> Especies en estado de amenaza. ....	40

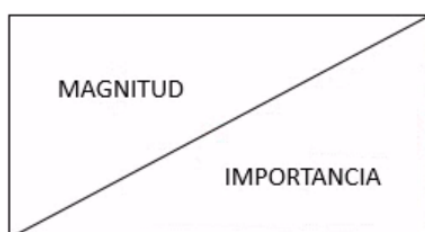
---

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Composición y riqueza de las especies marina predominante en cada ecosistema a estudio. ....	<b>Error! Marcador no definido.</b>
<b>Gráfica 2.</b> Número de especies por grupo taxonómico en categoría de amenaza presentes en los ecosistemas. ....	38
<b>Gráfica 3.</b> Número de especies por categoría de amenaza presente en los ecosistemas. ....	38

## 1. METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE PUNTUACIÓN

Para cuantificar el impacto existente en los factores abióticos y los bióticos de la zona, se realizará una evaluación de los impactos producidos mediante el uso de la matriz de Leopold. La matriz de Leopold es un método cualitativo capaz de evaluar los posibles impactos ambientales producidos por un proyecto en un ecosistema determinado. Mediante el método de Leopold, o matriz de causa y efecto, se determinará la magnitud y la importancia del impacto en el medio ya que, todos los impactos no producen el mismo efecto. La magnitud y la importancia se representará de la misma manera que la Figura 1 indicada a continuación.



**Figura 5.** Representación de la magnitud y la importancia mediante el Método de Leopold. [1]

La magnitud se encargará de medir el grado, escala o extensión del impacto, en función del medio que le rodee. Podrá ser positiva o negativa, y con un valor entre 1 y 10; siendo 10 el máximo impacto y 1 el mínimo. Por otro lado, la importancia medirá lo trascendente que será el impacto, en una escala del 1 al 10, siendo: 10 la importancia máxima y 1 la mínima. Para determinar el cálculo de la importancia se aplicará la Ecuación 1 descrita a continuación. [1]

$$IMPORTANCIA = \pm(3I + 2EX + MO + PE + RV + AC + EF + PR + RC)$$

Ecuación 1

El valor de cada incógnita será determinado mediante la tabla 1.

VALORACIÓN DEL IMPACTO			
SIGNO		REVERSIBILIDAD (RV)	
Impacto beneficioso	+	Corto plazo	1
		Medio plazo	2
Impacto perjudicial	-	Largo plazo	3
		Irreversible	4
INTENSIDAD (I)		ACUMULACIÓN (AC)	
Baja	1	Simple	1
Media	2	Acumulativo	3
Alta	4		
Muy alta	6	Sinérgico	6



Total	10		
EXTENSIÓN (EX)		EFECTO (EF)	
Puntual	1	Directo	3
Parcial	2	Indirecto secundario	1
Extenso	4		
Total	6	Indirecto terciario	1
Crítica	+6		
MOMENTO (MO)		PERIODICIDAD (PR)	
Largo plazo	1	Discontinuo	1
Medio plazo	2	Periódico	2
Inmediato	4	Continuo	4
Crítico	+4		
PERSISTENCIA (PE)		RECUPERABILIDAD (RC)	
Fugaz	1	Recuperable inmediata	1
Temporal	2	Recuperable a medio plazo	2
		Mitigable	4
Permanente	4	Recuperable a largo plazo	6
		Irrecuperable	8

**Tabla 7.** Cálculo de la importancia mediante el Método De Leopold. [1]

Tras determinar el valor que posee la importancia de un impacto determinado será necesario proceder a una normalización. Para ello, se establecerá entre el valor mínimo que puede poseer la importancia del impacto y el máximo impacto una normalización. Se proponen como valores de normalización los establecidos en la 2 en función de los resultado previstos y obtenidos mediante el método de Leopold.

<b>NORMALIZACIÓN</b>		
<b>VALOR OBTENIDO</b>	<b>VALOR NORMALIZADO</b>	<b>TIPO DE IMPACTO</b>
<b>&lt; 25</b>	1-3	Compatible
<b>25-36</b>	4-6	Moderado
<b>37-50</b>	7-8	Severo
<b>&gt; 50</b>	9-10	Crítico

**Tabla 8.** Normalización para los valores obtenidos al calcular la importancia de un impacto. [Autor propio]

Para la evaluación del impacto mediante la matriz de Leopold, se determinarán las posibles acciones que habrá impactaran en el medio en función de la etapa en la que se encuentre el proyecto. Las posibles acciones que producirán los impactos más importantes serán:

- **Fase de construcción**

Consumo de recursos, generación de residuos, alteración en el terreno, contaminación de aguas y aire, generación de ruido.

- **Fase de funcionamiento**

Consumo de energía, consumo de recursos, generación de ruido, depuración de aguas, generación de residuos.

- **Fase de desmantelamiento**

Generación de residuos, generación de ruido, empleo, contaminación del aire.

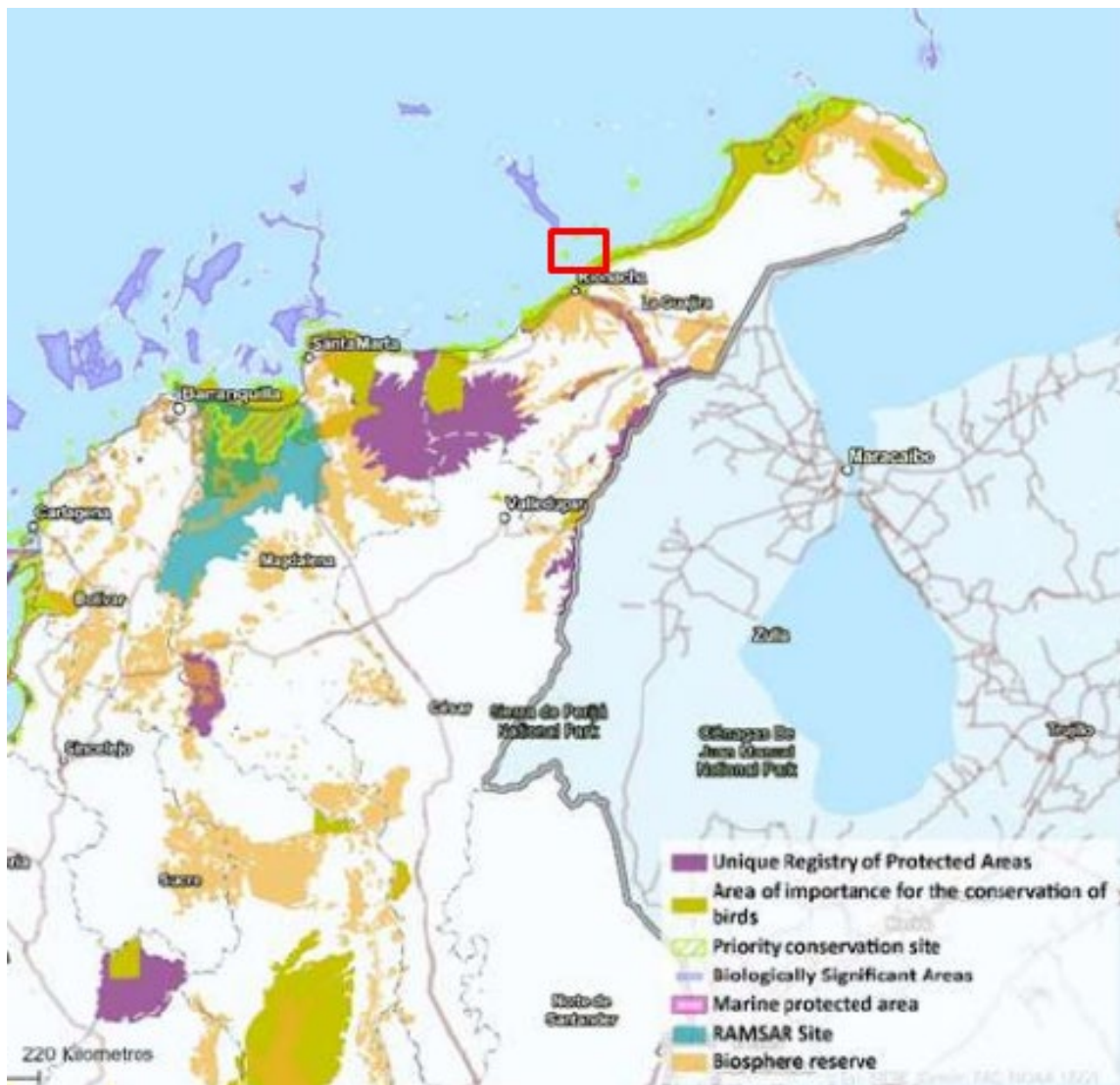
## 2. INVENTARIO

Los factores bióticos son todos los seres vivos que habitan en un ecosistema determinado, el cual se compone de fauna y flora. Mediante la elaboración del presente punto, se analizarán ambos componentes en la ubicación del proyecto. Las costas del Caribe Colombiano albergan una gran riqueza en ecosistemas marinos que van desde grandes arrecifes de coral hasta grandes extensiones de manglares, y una gran diversidad marina siendo el paso migratorio y hábitat de grandes grupos de mamíferos marinos como los delfines, cachalotes y ballenas azules. El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) recoge dos grupos o zonas, zona sensible o pública, y zona protegida o privada las cuales veremos a continuación.

### 2.1 Zonas sensibles

Existen zonas sensibles o con una protección diferente a las que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) de gran interés turístico que lo conforman las grandes praderas de manglares, los arrecifes de corales entre otros, junto con las áreas de interés científico y las áreas consideradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO-MAB. Uno de los complejos de humedales costeros cercanos a La Guajira Colombiana, la Reserva de Biosfera RAMSAR Ciénaga Grande, fue identificado como hábitat de una gran variedad de aves acuáticas y una gran comunidad de aves terrestres asociado a las praderas de matorral seco costero en la zona.

Las áreas de coral más importantes y extensas de la costa se encuentran en el Golfo del Darién y uno de los sistemas de arrecife más grandes del Atlántico ubicado en el Archipiélago de San Andrés. Los ecosistemas de manglares de la costa Colombiana, se encuentran entre los más productivos del mundo albergando una gran variedad de vida marina ayudando a la sostenibilidad pesquera de la zona. Algunas de las especies marinas que habitan en la zona son muy sensibles al ruido y vibraciones que puede provocar la fase de construcción de una parque eólico, los mamíferos marinos en especial son altamente sensible a este ruido submarino llegando incluso alterar su rutina diaria de búsqueda de alimento, aumentando sus niveles de estrés reduciendo así su esperanza de vida.



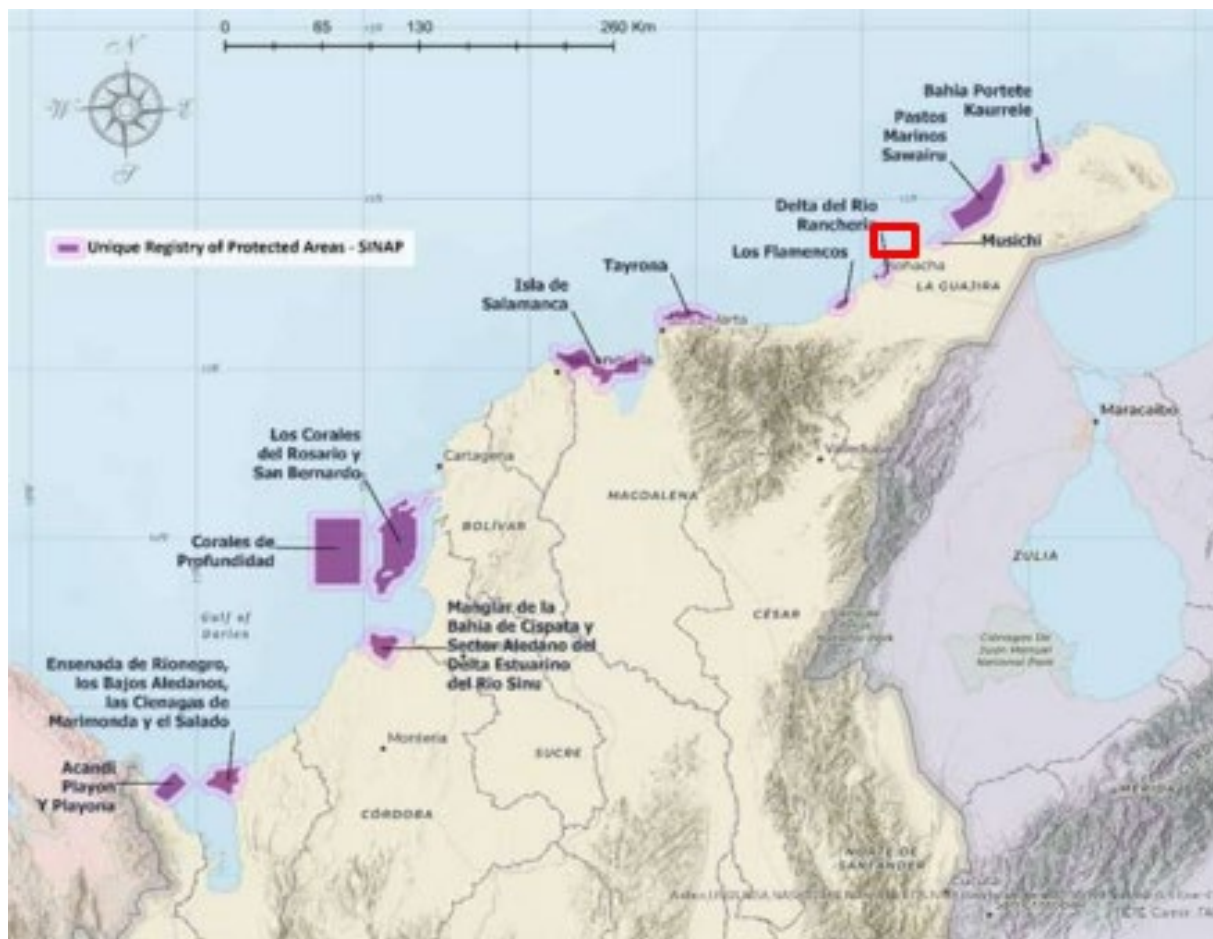
**Figura 2.** Zonas sensibles que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) [2]

## 2.2 Áreas protegidas

Con una extensión de unas 434 hectáreas aproximadamente, las zonas de áreas se consideran restringidas para el desarrollo de proyectos eólicos off-shore, en el cual se identifican las siguientes zonas: Parque Nacional Bahía Portete Kaurrele, Distrito regional de manejo integrado de pastos marinos (Sawairu), Distrito regional de gestión integrada Musichi, Distrito regional de gestión integrada delta del Río Ranchería, Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos, Parque Nacional Tayrona, Monumento Natural Isla de Salamanca, Parque Nacional de Los Corales del Rosario y San Bernardo y el Parque Nacional Corales de Profundidad.

La instalación de un proyecto eólico off-shore en la zona puede modificar el lecho marino aumentando los sedimentos marinos en suspensión, disminuyendo así la calidad del agua y

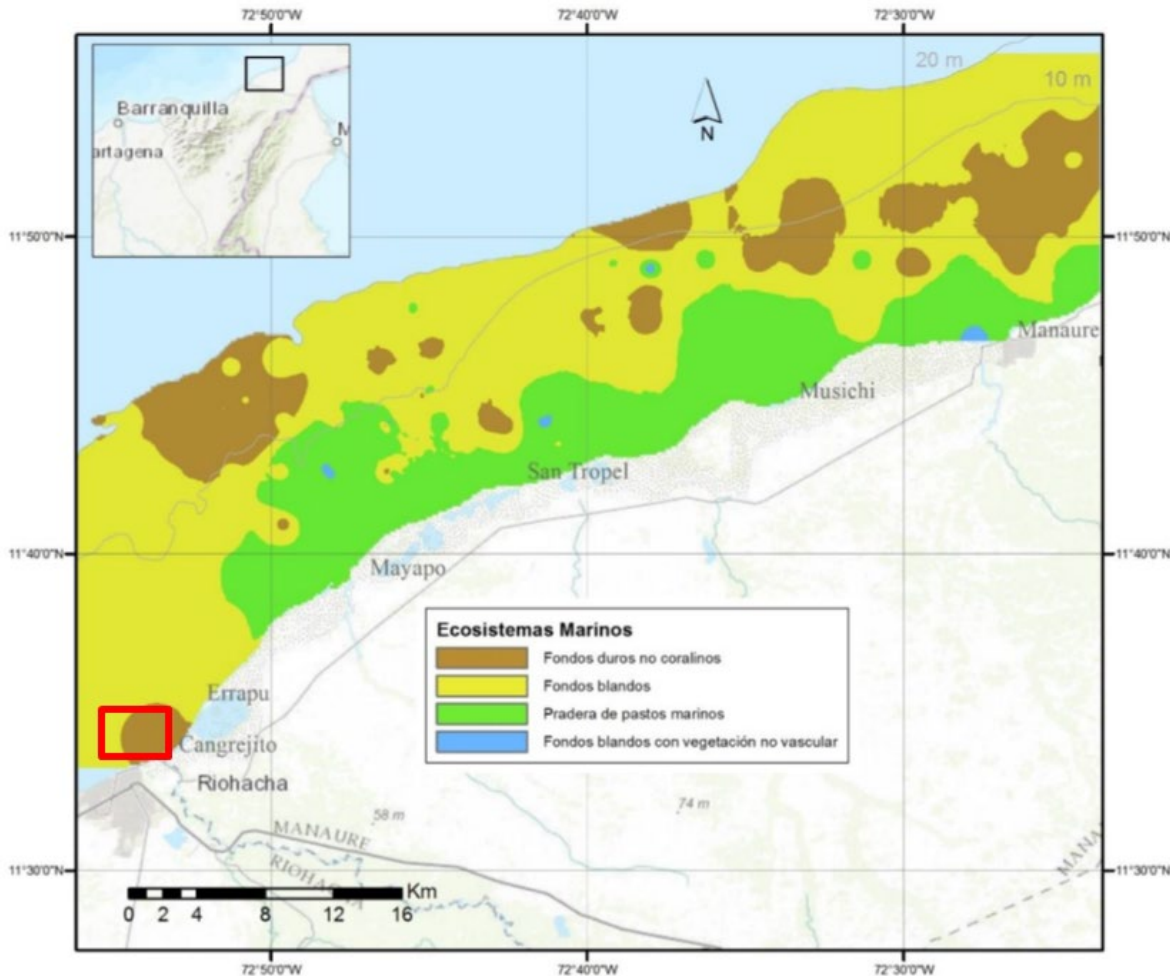
afectando así a todas las especies marinas, tanto fauna como flora, que cohabitan en el propio fondo marino. Los aerogeneradores alteran el paso diario de las diferentes aves que salen en busca de comida y vuelven tiempo después a sus refugios. Por lo tanto, a la hora de la planificación de proyectos de este tipo, se debería de tener en consideración que la ubicación no se próxima a lugares de alto valor de biodiversidad y teniendo muy en cuenta las zonas de áreas protegidas.



**Figura 3.** Áreas protegidas cercanas al área del proyecto. [2]

## 2.3 Ecosistema marino

En el área de estudio de la ubicación seleccionada para la planta potabilizadora y parque eólico, en el sector de la Guajira, a lo largo de las costas de Riohacha, se identifican cuatro ecosistemas generales según su tipología y clasificación de ecosistemas marinos y costeros de Colombia: ecosistemas generales de fondos blandos, praderas de pastos marinos, fondos duros no coralinos y fondos blandos con vegetación no vascular, como representa la Figura 3.



**Figura 4.** Mapa de zonificación de ecosistemas generales marinos en la zona del emplazamiento de nuestro parque eólico. [2]

- **Fondos duros no coralinos**

El ecosistema general de fondos duros no coralinos son ambientes con características muy particulares compuestos, predominantemente, por un sustrato rocoso consolidado y estable formando llanuras y afloramientos de terrazas, permitiendo el desarrollo de comunidades de organismos sésiles que presentan adaptaciones para sostenerse como octocorales, esponjas y anélidos. Sobre estos fondos rocosos se establecen macroalgas, algas incrustantes y algas rojas calcáreas que tapizan las rocas.

- **Fondos blandos**

El ecosistema general de fondos blandos está compuesto por un tipo de sustrato sedimentario no consolidado predominantemente arenoso que permite el desarrollo de organismos bentónicos como octocorales y macroalgas, formando extensas llanuras entre los ecosistemas de fondos duros no coralinos y las praderas de pastos marinos. Los fondos blandos se encuentran formados por depósitos de arenas, limos, arcillas y restos orgánicos, que constituyen un sustrato inestable



que condicionan la permanencia, distribución y composición de las comunidades de organismos que los habitan. La fauna bentónica que se encuentra en los fondos tiene dos componentes: la infauna, constituida por los grupos de organismos que se encuentran enterrados en el sedimento, y la epifauna, aquellos que se encuentran sobre la infauna.

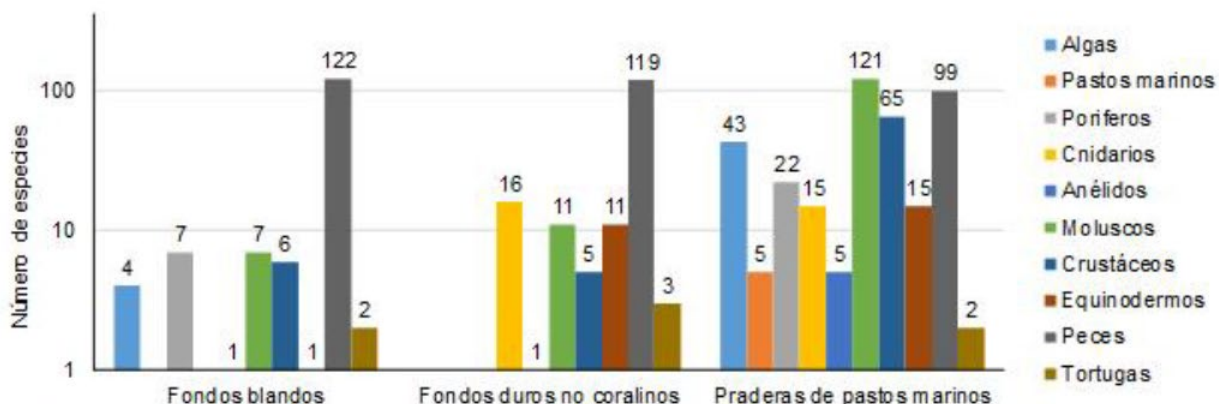
- **Fondos blandos con vegetación no vascular**

Los fondos blandos con vegetación no vascular presentan la misma matriz de tipo de sustrato que la del ecosistema general de fondo blando, con la excepción de que presentan una cobertura alta de macroalgas formando praderas en arenas.

- **Pradera de pastos marinos**

Este ecosistema hace referencia a un fondo blando arenoso dominado por plantas angiospermas (Cymodoceaceae e Hydrocharitaceae). Se tratan de plantas cuyo crecimiento y desarrollo dependen de la luz para realizar el proceso de fotosíntesis y su presencia está limitada a zonas con aguas bien iluminadas y de escasa profundidad. Además, los sedimentos del fondo marino que sirven de sustrato para estas plantas deben de contener una cierta cantidad de materia orgánica y nutrientes esenciales. [3]

Mediante la figura 4, se observa la riqueza que predomina en el ecosistema marino existente en la ubicación.



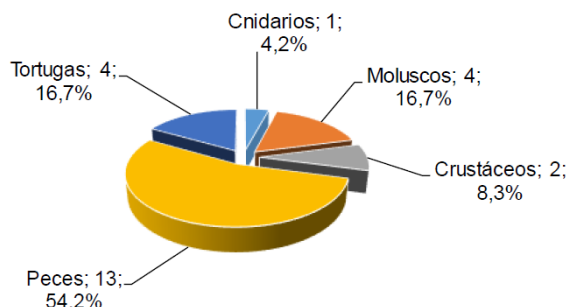
**Figura 5.** Composición y riqueza de las especies marina predominante en cada ecosistema a estudio. [4]

## 2.4 Fauna marina

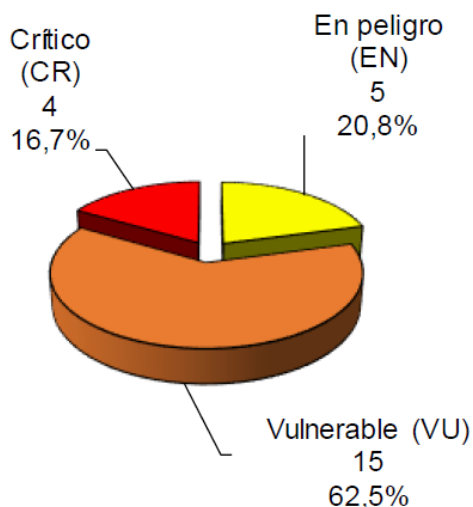
Por último, se analizará la fauna existente en el medio. Para ello, se analizarán las especies de fauna amenazada en la zona para determinar cómo se verá afectada por la elaboración del proyecto.

En la Figura 7 se relacionan las 24 especies de fauna asociadas a los ecosistemas de fondos blandos, fondos duros no coralinos y praderas de pastos marinos, que están en alguna de las siguientes categorías de amenaza: Vulnerable (VU), En Peligro (EN) y En Peligro Crítico (CR), según la Resolución 1912 de 2017 (MADS) por la cual se establece el listado de las especies

silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera. En la categoría En Peligro (EN) se encontraron cinco especies y 15 especies en la categoría Vulnerable (VU). En la categoría En Peligro Crítico se encontraron tres especies de tortugas *Caretta caretta*, *Eretmochelys imbricata* y *Dermochelys coriácea*, y una especie de pez óseo, el mero guasa *Epinephelus itajara* (Figura 6 y Tabla 3).



**Figura 6.** Número de especies por grupo taxonómico en categoría de amenaza presentes en los ecosistemas. [7]



**Figura 7.** Número de especies por categoría de amenaza presente en los ecosistemas. [7]

Grupo	Especie	Nombre Común	Categoría CITES	Categoría Amenaza	Ecosistema estratégico		
					FB	FDN C	PPM
Cnidarios	<i>Millepora complanata</i>		II				X
	<i>Stephanocoenia intersepta</i>		II	VU		X	
	<i>Solenastrea bournoni</i>		II				X

	<i>Solenastrea hyades</i>		II				X
	<i>Dichocoenia stokesii</i>		II				X
	<i>Montastraea cavernosa</i>		II			X	
	<i>Pseudodiploria clivosa</i>		II			X	
	<i>Pseudodiploria strigosa</i>		II			X	
	<i>Oculina diffusa</i>		II				X
	<i>Porites astreoides</i>		II			X	
	<i>Porites porites</i>		II				X
	<i>Siderastrea radians</i>		II				X
Moluscos	<i>Cassis tuberosa</i>			VU	X		X
	<i>Cassis madagascariensis</i>			VU	X		
	<i>Lobatus gigas</i>	Caracol pala	II	VU	X	X	X
	<i>Polymesoda arctata</i>			VU			X
Crustáceos	<i>Panulirus argus</i>	Langosta espinosa		VU		X	X
	<i>Penaeus schmitti</i>			VU			X
	<i>Ginglymostoma cirratum</i>	Pez Gato, Tiburón Nodriza		VU		X	
	<i>Notarius bonillai</i>	Bagre Chivo		EN	X		X
	<i>Sciades proops</i>	Bagre Blanco		VU	X		X
	<i>Balistes vetula</i>	Cachua Verde		EN	X	X	X
	<i>Caranx hippos</i>	Jurel		VU	X		
	<i>Centropomus undecimalis</i>	Róbalo		VU	X	X	X



Peces	<i>Eugerres plumieri</i>	Mojarra plateada		VU	X		X
	<i>Lachnolaimus maximus</i> <i>Lutjanus analis</i>	Pargo Pluma		EN	X	X	X
	<i>Mugil incilis</i>	Lisa		VU	X	X	
	<i>Scarus guacamaia</i>	Loro Guacamayo		EN	X	X	X
	<i>Epinephelus itajara</i>	Mero		CR		X	
	<i>Mycteroperca bonaci</i>	Mero Cherna		VU			X
Tortugas	<i>Caretta caretta</i>	Tortuga caguama	I	CR	X	X	
	<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga Verde	I	EN		X	X
	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga Carey	I	CR		X	X
	<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga canal	I	CR	X		

**Tabla 9.** Especies en estado de amenaza. [7]

## 2.5 Medio económico

La Guajira Colombiana es una región ubicada en el extremo norte de Colombia y comparte frontera con Venezuela. Es conocida por su paisaje desértico, su rica cultura indígena y su diversidad étnica.

La economía en esta zona se basa principalmente en la agricultura (cultivos de maíz, yuca y algodón), la ganadería (especialmente en la cría de ovejas y cabras) y la minería (siendo la extracción de carbón su principal actividad).

Esta zona es una de las regiones más pobres de Colombia, muchas comunidades indígenas se enfrentan a condiciones de vida precarias y una falta de acceso a servicios básicos como la educación, salud y agua potable. Muchas de estas comunidades dependen bastante de fuentes de agua no tratadas, por lo que es habitual que sus habitantes contraigan graves enfermedades y su esperanza de vida se reduzca.

A pesar de todos los desafíos que se presenta en esta región, la Guajira tiene un gran potencial en términos de recursos naturales, turismo y energías renovables. La región cuenta con una gran riqueza en minerales y tiene un gran potencial para la generación de energía eólica y solar.

### 3. VALORACIÓN

A continuación, se procederá a valorar el impacto producido en la ubicación seleccionada del proyecto. Para ello, se utilizará el procedimiento descrito en el primer punto del presente documento. Para ello, se valorarán distintas acciones a realizar dentro del proyecto en las etapas de construcción, funcionamiento y desmantelamiento. Dentro de las distintas acciones encontramos:

- **Contaminación sonora:** Durante la fase de obras y desmantelamiento, se generará impacto acústico principalmente por el uso de maquinaria pesada para la instalación de la planta. Durante la operación los aerogeneradores generarán un nivel acústico elevado como consecuencia de su propio funcionamiento. Otro motivo de la generación de ruido serán los mantenimientos de la planta, que podrán conllevar el uso de maquinaria pesada.
- **Emisión de gases:** Durante la fase de construcción del parque eólico y la planta potabilizadora, se producirá un descenso en la calidad del aire debido al uso de camiones y equipos utilizados para la generación de caminos, construcción de infraestructuras o descarga de materiales, entre otros. Esta contaminación por gases y partículas también afectará en los hábitats adyacentes al ámbito de estudio. Durante la fase de funcionamiento, se generarán gases y partículas debidas al uso de pequeña máquina o bombas en el ámbito del proyecto. Por último, el nivel de gases y partículas aumentarán en la etapa de desmantelamiento por el uso de maquinaria pesada.
- **Erosión del terreno:** El principal impacto sobre el terreno en la fase de construcción son los movimientos de tierras para la ejecución de las obras. Esto hace referencia al acondicionamiento de los caminos, la excavación para las cimentaciones para las cimentaciones de los aerogeneradores y la nivelación del terreno para la construcción de la subestación. En la fase de desmantelamiento destacan las obras de desmontaje de los equipos.
- **Alteración del comportamiento en la fauna terrestre:** Durante la fase de construcción se producirá una afección sobre la zona por los movimientos de maquinaria, excavación o ruidos. Este impacto puede producir estrés en las especies que habitan en el ecosistema. Además, puede existir una alteración en el alimento debido a la erosión del suelo, ya que se pierde parte de la cobertura que se utiliza para alimentarse. En la fase de operación una de las problemáticas más importantes es la colisión de aves contra los aerogeneradores. Este problema suele darse los primeros años de la instalación, aunque puede producirse posteriormente, sobre todo en procesos migratorios de las aves. Mediante la planta potabilizadora, puede existir muertes de peces debido a la entrada de agua salada en la planta. Por último, en la fase de desmantelamiento, el ruido y movimientos de maquinaria generará una afectación en las especies de la zona.
- **Alteración de las especies acuáticas:** En la etapa de construcción, debido a la construcción del parque eólico en el agua y a la creación de canalizaciones para la planta

potabilizadora; se creará una afección en las especies que habitan en la zona. La etapa de operación destaca por posibles muertes de peces a la entrada de la planta potabilizadora. Por último, en la fase de desmantelamiento, se producirá una perturbación en el comportamiento de las especies de la zona.

- **Contaminación de aguas:** Durante la fase de construcción, el movimiento de las obras en la zona costera podrá producir una contaminación de materia orgánica en la zona del mar más cercana. Además, de la posible generación de vertidos utilizados en la conducción o en vehículos. En la etapa de construcción posibles vertidos que ocurran en el agua, además de aumento de la salinidad en la zona del vertido de la osmosis inversa. Por último, en la etapa de desmantelamiento posibles vertidos producidos por la retirada de la planta.
- **Pérdida de calidad en el paisaje:** Durante la fase de obras, el movimiento de tierras y el aspecto de la zona puede ser percibido de forma negativa por el tránsito de maquinaria o mano de obra, movimiento de tierras, entre otros. Debido a la instalación de aerogeneradores, el paisaje quedará modificado permanentemente.
- **Mejora del empleo:** Durante la operación del parque eólico, se producirá un impacto beneficioso en el medio socioeconómico por la creación de puestos de trabajo en la zona, disminuyendo el nivel de desempleo. Esta acción será revertida durante la fase de desmantelamiento, dando lugar a un incremento en el desempleo de la zona.

### 3.1. Fase de construcción

Mediante la Tabla 4, se muestra la evaluación de los impactos producidos durante la fase de construcción de la planta eólica y de la planta potabilizadora en la ubicación seleccionada por las distintas acciones a tomar. Como resultado de la valoración, existe un impacto crítico en el medio, en especial en la biodiversidad de la zona.

FACTORES MEDIOAMBIENTALES			MAGNITUD  IMPACTO		ACCIONES									
					Contaminación	Sonora	Emisión de gases	Erosión del terreno	Alteración comp. de la fauna terrestre	Alteración esp. acuáticas	Contaminación de aguas	Pérdida de calidad	Mejora de empleo	TOTAL
Medio Abiótico	Suelo				-6								-30	
	Atmósfera	-6	-5		-5								-49	
	Agua		-4	-5					-5				-25	
	Paisaje									-5			-20	
Medio Biótico	Biodiversidad				-5	-6	-6	-5					-139	
	Vegetación		-5	-7	-6		-7	-6					-62	
Medio socio Económico	Medio local		-3	-4									-20	
TOTAL			-24	-60	-97	-42	-42	-55	-20	0			-345	

**Tabla 4.** Resultado de la valoración de impactos producidos durante la etapa de construcción del proyecto mediante el método de Leopold. [Autor propio]

### 3.2. Fase de funcionamiento

Mediante la Tabla 5, se muestra la evaluación de los impactos en la fase de funcionamiento tanto de la planta eólica, como de la planta potabilizadora en la ubicación seleccionada. Como resultado de la valoración, existe un impacto moderado en el medio, siendo de nuevo la biodiversidad la más afectada por las acciones en la zona.

MAGNITUD  IMPACTO			ACCIONES									TOTAL
			Contaminación Sonora	Emisión de gases	Erosión del terreno	Alteracion comp. de la fauna terrestre	Alteracion esp. acuáticas	Contaminacion de aguas	Perdida de calidad	Mejora de empleo		
FACTORES MEDIOAMBIENTALES	Medio Abiótico	Suelo										0
		Atmósfera	-2	-2								-10
		Agua		-2	-3				-3			-15
		Paisaje							-5	-4		-24
	Medio Biótico	Biodiversidad	-3			-4	-6	-4		-6		-96
		Vegetación		-2	-3		-6	-7	-6			-9
	Medio socio Económico	Medio local	-3								5	
				-3							6	-21
TOTAL			-19	-24	0	-30	-42	-45	-24	30	-154	

**Tabla 5.** Resultado de la valoración de impactos producidos durante la etapa de construcción del proyecto mediante el método de Leopold. [Autor propio]

### 3.3. Fase de desmantelamiento

Para finalizar la evaluación ambiental, mediante la Tabla 6, se muestra la evaluación de los impactos en la zona en la fase de desmantelamiento tanto de la planta eólica, como de la planta potabilizadora en la ubicación seleccionada. Como resultado de la valoración, existe un impacto crítico en la biodiversidad de la zona.

			ACCIONES										
MAGNITUD			Contaminación	Sonora	Emisión de gases	Erosión del terreno	Alteración comp. de la fauna terrestre	Alteración esp. acuáticas	Contaminación de aguas	Pérdida de calidad	Mejora de empleo	TOTAL	
IMPACTO													
FACTORES MEDIOAMBIENTALES	Medio Abiótico	Suelo			-3								-9
		Atmósfera	-2	-5		-3							-31
		Agua		-3	-5					-6			-30
		Paisaje								-5	-2		-4
	Medio Biótico	Biodiversidad	-3	-3		-5	-6	-4					-105
		Vegetación		-2	-3	-6	-6	-6					-29
	Medio socio Económico	Medio local											
			-3									-4	
TOTAL			-21	-54	-18	-30	-36	-54	-4	-24		-241	

**Tabla 6.** Resultado de la valoración de impactos producidos durante la etapa de construcción del proyecto mediante el método de Leopold. [Autor propio]

#### 4. MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS

Con el objetivo de prevenir, mitigar, eliminar o compensar los potenciales efectos negativos que se pueden dar durante las fases de construcción y operación del Proyecto Eólico se ha diseñado un Plan de Manejo Ambiental, que fue concertado con las comunidades para el manejo de los diferentes impactos ambientales. Estos programas y medidas se muestran a continuación en la tabla 7.

Programas	Proyectos
Programa de manejo de la conservación y restauración del terreno	Manejo de áreas de excavaciones y obra
	Manejo y disposición de material sobrante
Programa de manejo de residuos	Manejo de residuos sólidos y líquidos
Programa de la contaminación atmosférica	Manejo de la calidad del aire y emisiones de ruido
Programa de manejo del suelo marino	Manejo de los procesos erosivos
	Manejo de la conservación del suelo y fauna marina
Programa del manejo de la fauna marina	Control del despeje de la vegetación
	Manejo de la cobertura vegetal removida

Programa de manejo de las especies protegidas	Protección y conservación de las zonas con especies protegidas
Programa de información, divulgación y participación	Información a las autoridades del lugar
	Información a las comunidades indígenas
	Atención a la comunidad
Programa de generación de empleo	Contratación de personal de la región
Programa de educación y capacitación	Capacitación al personal vinculado al proyecto
	Educación ambiental a la población

**Tabla 7.** Plan de Manejo Ambiental en Aspectos Físicos. [Autor propio]

De manera adicional y con el objetivo de compensar a las comunidades Wayúu del lugar durante las obras en el proyecto eólico se acordó las siguientes medidas de compensación:

- Arreglo de vías, tanques para almacenamiento de agua y mejoras en las viviendas.
- Dotación para manejo de agua potable, manejo de basuras y manejo de aguas residuales.
- Mejoramiento de las infraestructuras sanitarias.

## 5. PLAN DE VIGILANCIA

La Vigilancia Ambiental (Plan de Vigilancia Ambiental) se define como el proceso de control y seguimiento de los aspectos medioambientales del proyecto. Tiene como objetivo establecer un sistema que garantice el cumplimiento de las medidas protectoras y correctoras contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental, además, debe permitir la valoración de los impactos que sean difícilmente cuantificables o indetectables durante la fase de estudio pudiéndose llegar a diseñar nuevas medidas correctoras si no fuesen suficientes.

El Plan de Vigilancia Ambiental debe incluir:

- Responsabilidades y obligaciones del promotor y contratista en cuanto a suministro de información, contenido y periodicidad de informes.
- Indicadores utilizados y los medios humanos y técnicos.
- Criterios de aceptación/rechazo para cada indicador ambiental.
- Frecuencia de los controles, inspecciones o ensayos que deben verificarse para medir el indicador ambiental.
- Presupuesto destinado al seguimiento del personal, muestreo, análisis, etc.

Para nuestro proyecto, el objetivo principal de control es el medio marino en todo su conjunto (columna de agua, sedimentos, comunidades vegetales y fauna, tanto acuática como aérea).

De forma más específica se tendrá control sobre:

- Seguimiento de la abundancia y distribución de mamíferos marinos.
- Seguimiento de la abundancia y distribución de las comunidades piscícolas y el efecto de la presencia de maquinaria y ruido en la zona.

- Seguimiento de la abundancia y distribución de las aves, en referencia a las colisiones producidas y la influencia sobre las vías migratorias.

Con la ayuda de las normas de calidad de aplicación se verificarán, mediante controles periódicos los cumplimientos de los principales indicadores de calidad del medio.

Los trabajos de seguimiento tienen como finalidad el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Controlar la correcta ejecución y cumplimiento de las medidas previstas en el presente estudio.
- Verificar los estándares de calidad de los materiales y medios empleados según la definición del presente documento.
- Comprobar la exactitud y la eficacia de las medidas protectoras y correctoras establecidas y ejecutadas. En caso de considerarse insatisfactoria, se deberá determinar su causa y establecer medidas correctoras.
- Detectar impactos no previstos en el Estudio de Impacto Ambiental y prever de las medidas adecuadas para reducirlos, eliminarlos o compensarlos.



## 6. WEBGRAFÍA

- [1] L. Leopold, F. Clarke y B. Hanshaw, «A procedure for evaluating environmental,» Circular, 1971.
- [2] R. Geophysical Consultant Ltda., «Reconocimiento de Ecosistemas Marinos en Líneas CG-2D 09\_105/112,» Riohacha, 2010.
- [3] Corpoguajira, «Estudio de zonificación en las áreas geográficas con praderas de pastos marinos en el departamento de la Guajira.,» 2016.
- [4] J. Díaz, L. Barrios y D. Gómez-Lopez, «Las praderas de pastos marinos en Colombia: Estructura y distribución de un ecosistema estratégico.,» Invemar, Serie de publicaciones Especiales N° 10, Santa Marta, 2003.
- [5] Oceanmet Ltda, «Estudio oceanográfico con base en la modelación de procesos hidromorfodinámicos en las aguas someras frente a la ciudad de Riohacha, con el fin de determinar la factibilidad técnica de la construcción de una marina y sus parámetros de diseño.,» Cartagena de Indias, 2012.
- [6] INVEMAR, «Morfología submarina y sedimentos en la margen continental y fondos oceánicos del Caribe Colombiano,» 2010.
- [7] INVEMAR, «Clasificación y tipología de ecosistemas marinos y costeros: Colombia,» 2017.

## **ANEXO IV: Estudio de seguridad y salud**

---

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	52
2. OBJETIVO .....	52
3. METODOLOGÍA .....	52
4. DEFINICIONES .....	53
4.1. Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).....	53
4.2. Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo (PSST) .....	53
4.3. Identificación de Riesgos .....	53
4.4. Evaluación de Riesgos .....	53
4.5. Prevención de Riesgos Laborales.....	53
4.6. Equipos de Protección Personal (EPP).....	53
4.7. Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo (COPASST).....	53
4.8. Inspecciones de Seguridad.....	54
4.9. Capacitación en SST .....	54
4.10. Investigación de Accidentes.....	54
5. LEGISLACIÓN NACIONAL .....	54
5.1. Decreto Reglamentario del Sector Laboral [3].....	54
5.2. Resolución 0312 de 2019 [4] .....	54
5.3. Licencia en Seguridad y Salud Ocupacional .....	54
5.4. Nivel de Riesgo.....	55
5.5. Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Laboral (SG-SST).....	55
5.6. Normas Mínimas de Seguridad y Salud en el Trabajo .....	55
5.7. Plan de Contingencia.....	55
5.8. Criterios Técnicos en Explotación de Hidrocarburos Costa Afuera .....	55
5.9. Área protegidas .....	55
5.10. Inscripción al Sistema de Riesgos Laborales .....	55
5.11. Carga física (biomecánica) .....	56
5.12. Desastres Naturales .....	56
5.13. Energía Eléctrica .....	56

5.14. Manejo de energía eléctrica de baja, media, alta y extra alta tensión .....	56
5.15. Riesgo Químico .....	56
5.16. Tareas de alto riesgo - Trabajo en alturas.....	56
5.17. Tareas de alto riesgo - Espacios confinados.....	57
6. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL .....	57
6.1. Normativa DNVGL-ST-0145 .....	57
6.2. Normativa DNVGL-ST-0126 .....	57
6.3. Normativa DNVGL-ST-0437 .....	57
6.4. Norma IEC 61400 .....	57
6.5. Normativa EN 50308.....	57
7. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA .....	57
8. EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	58
8.1. Componentes de riesgo.....	62
8.2. Identificación del riesgo .....	62
8.3. Matriz de riesgos .....	62
8.4. Estrategias de mitigación de riesgos y metodologías de control .....	62
9. WEBGRAFÍA	

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Izado de un tramo. [1] .....	59
<b>Figura 2.</b> Acceso a un aerogenerador offshore mediante pasarela. [1].....	60
<b>Figura 3.</b> Realizando trabajo encima de la nacelle o góndola. [1].....	61
<b>Figura 4.</b> Simulacro de evacuación. [1] .....	61

## 1. INTRODUCCIÓN

La gran emisión de gases de efecto invernadero, el agotamiento de energías fósiles, la contaminación y el cambio climático han impulsado la implementación de energías renovables limpias. Por tal razón, hace varios años muchos países a nivel mundial están haciendo la transición a energías a través de la fotovoltaica, termoeléctrica, térmica solar, biomasa, hidráulica y eólica, lo que representó para el 2017 un aumento de la capacidad de generación en más o menos 178 gigavatios a nivel mundial, siendo los grandes protagonistas China, Europa y Estados Unidos, 75%, pero con aporte notable de países en desarrollo. [\[1\]](#)

Por lo anterior, se ha podido evidenciar que, la energías eólica, después de la solar, además de ser de las que más eficiencia-rentabilidad tiene [\[2\]](#), es la que mayor complejidad presenta en cuanto a riesgos y prevenciones laborales, debido en primer lugar, a la altura por el tamaño de aerogeneradores, cada día son más grandes y altos como los que se utilizan en este proyecto que tienen altura de 248 metros, palas de 107 metros, rotor de 220 metros, y; en segundo lugar, el viento que en ocasiones suele presentarse con tormentas, fenómenos meteorológicos, heladas, etc., incidiendo notoriamente en las condiciones de seguridad y salud en el trabajo. [\[1\]](#)

## 2. OBJETIVO

El objetivo es llevar a cabo una evaluación general de la legislación relacionada con la seguridad y salud ocupacional en Colombia. El propósito es comprender cómo esta legislación se ajusta a los requisitos generales de trabajo y su aplicación en el contexto de las operaciones de energía eólica costa afuera.

## 3. METODOLOGÍA

La evaluación de los requisitos de seguridad y salud ocupacional se fundamenta en la amplia experiencia del equipo del proyecto, que incluye consultorías tanto a nivel nacional como internacional en este campo. Además, se han considerado las particularidades relacionadas con proyectos de energía eólica costa afuera.

Durante la revisión de la información disponible, se han identificado los marcos normativos de seguridad y salud ocupacional en Colombia que son aplicables a diversos sectores industriales, incluyendo el sector de petróleo y gas, que está sujeto a regulaciones rigurosas y un estricto control a nivel nacional. Estas regulaciones específicas que se aplican a las operaciones costa afuera en el sector de petróleo y gas tienen una gran relevancia para el desarrollo de proyectos de energía eólica costa afuera.

Es fundamental destacar que Colombia ha establecido un extenso conjunto de normativas en el ámbito de la Seguridad y Salud en el Trabajo durante la última década. Esto sitúa al país como

un referente en América Latina y lo posiciona como una nación con un amplio marco normativo en este campo.

## 4. DEFINICIONES

### 4.1. Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)

Es un conjunto de normas, prácticas y procedimientos implementados en un entorno laboral con el fin de prevenir accidentes, lesiones y enfermedades ocupacionales.

### 4.2. Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo (PSST)

Es un documento estratégico que describe las políticas, procedimientos, prácticas y medidas específicas que una organización implementará para garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable.

### 4.3. Identificación de Riesgos

Este proceso implica la identificación y evaluación de las posibles fuentes de riesgo que podrían amenazar la seguridad y salud de los trabajadores y que incluye peligros de diferente naturaleza como biológicos, físicos, químicos, psicosociales y ergonómicos.

### 4.4. Evaluación de Riesgos

Es un análisis más detallado de los riesgos identificados. Incluye la estimación de la probabilidad y gravedad de los riesgos, lo que permite priorizar las acciones preventivas y correctivas.

### 4.5. Prevención de Riesgos Laborales

Implica la implementación de medidas para evitar o reducir los riesgos identificados en el lugar de trabajo. Esto puede incluir el uso de equipos de protección personal, cambios en los procesos de trabajo y la formación de los empleados.

### 4.6. Equipos de Protección Personal (EPP)

Son dispositivos o prendas diseñados para proteger la integridad física de los trabajadores frente a riesgos específicos.

### 4.7. Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo (COPASST)

Está compuesto por representantes de la dirección y los trabajadores, y tiene como objetivo promover la SST en el lugar de trabajo. Se encarga de la identificación y control de riesgos, así como de la promoción de una cultura de seguridad.

#### 4.8. Inspecciones de Seguridad

Son evaluaciones regulares de las condiciones de trabajo para identificar riesgos y verificar el cumplimiento de las normativas de SST.

#### 4.9. Capacitación en SST

Implica la formación de los trabajadores para que sean conscientes de los riesgos laborales y sepan cómo prevenirlos y actuar en caso de emergencia.

#### 4.10. Investigación de Accidentes

En caso de un accidente laboral, se realiza una investigación para determinar sus causas y consecuencias. Esta información es crucial para evitar futuros incidentes y mejorar la SST.

### 5. LEGISLACIÓN NACIONAL

Aunque no existen regulaciones específicas que se apliquen exclusivamente al sector eólico costa afuera en Colombia, es crucial que las operaciones en este sector cumplan con el marco legal existente de salud y seguridad ocupacional en el país. Esto garantiza que se proteja la integridad física y la salud de los trabajadores involucrados en proyectos eólicos mar adentro. A continuación, se describen algunos aspectos clave del marco legal colombiano en este contexto:

#### 5.1. Decreto Reglamentario del Sector Laboral [3]

El Decreto Reglamentario del sector laboral establece requisitos generales para la implementación de medidas de seguridad y salud en cualquier organización. Esto significa que las empresas que operan en el sector eólico costa afuera deben cumplir con estos requisitos generales, que se aplican a todos los sectores.

#### 5.2. Resolución 0312 de 2019 [4]

Esta resolución detalla los requisitos de implementación de seguridad y salud ocupacional para las organizaciones en Colombia. Estos requisitos se adaptan según el nivel de riesgo y el número de empleados de cada organización. Es esencial que las empresas involucradas en proyectos eólicos mar adentro cumplan con estos requisitos específicos para garantizar un entorno laboral seguro y saludable.

#### 5.3. Licencia en Seguridad y Salud Ocupacional

De acuerdo con la normativa colombiana, es obligatorio que una persona con licencia en seguridad y salud ocupacional dirija y supervise el desarrollo e implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). Esto asegura que las medidas de seguridad se apliquen de manera adecuada y que se cumpla con las regulaciones.

#### 5.4. Nivel de Riesgo

Las empresas deben evaluar y determinar su nivel de riesgo, lo que incluye riesgos específicos asociados con las operaciones costa afuera. Esto ayudará a adaptar las medidas de seguridad y salud ocupacional de acuerdo con los riesgos específicos de la industria eólica marina.

#### 5.5. Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Laboral (SG-SST)

El Decreto 1072 de 2015 establece la obligación de implementar un SGSST en todas las empresas. Este sistema es esencial para garantizar la seguridad y la salud ocupacional en el lugar de trabajo y aborda cuestiones relacionadas con el incumplimiento legal en este ámbito.

#### 5.6. Normas Mínimas de Seguridad y Salud en el Trabajo

La Resolución 0312 de 2019 establece estándares mínimos para el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). Esto implica que las empresas deben cumplir con un conjunto de normas y requisitos obligatorios relacionados con la seguridad y salud ocupacional. La resolución también contempla las consecuencias legales del incumplimiento en este campo.

#### 5.7. Plan de Contingencia

La Resolución 256 de 2014 define las normas para la formación de cuerpos de bomberos en las empresas. Requiere que se constituya una brigada de bomberos compuesta por al menos el 20% de la población activa de la empresa.

#### 5.8. Criterios Técnicos en Explotación de Hidrocarburos Costa Afuera

La Resolución 40295 de 2020 establece criterios técnicos obligatorios para proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos en aguas costa afuera en Colombia. Estos criterios técnicos se aplican a las operaciones bajo el lecho marino en aguas someras, profundas y ultra profundas y se centran en promover el desarrollo seguro y sostenible de estas actividades.

#### 5.9. Área protegidas

El Decreto 2372 del 2013 regula el Sistema Nacional de Áreas Protegidas en Colombia, definiendo las categorías de manejo de estas áreas y estableciendo procedimientos generales relacionados con ellas. Su objetivo se centra en garantizar la conservación de la naturaleza y la compatibilidad de las actividades con los objetivos de conservación en cada caso.

#### 5.10. Inscripción al Sistema de Riesgos Laborales

El decreto 1072 de 2015 forma parte del marco regulatorio del sector laboral y establece el registro obligatorio de todos los trabajadores en los Sistemas Generales de Riesgo Laboral. Su



propósito es asegurar que todos los trabajadores estén debidamente registrados en los sistemas de riesgos laborales para proteger su salud y seguridad ocupacional.

### 5.11. Carga física (biomecánica)

La Resolución 2400 de 1979 establece disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad industrial en los lugares de trabajo. Define las responsabilidades de los empleadores y trabajadores en cuanto a servicios de higiene en el lugar de trabajo, la eliminación de desechos y campamentos de trabajadores, entre otros aspectos.

### 5.12. Desastres Naturales

El Decreto Presidencial 1081 de 2015 establece medidas generales para la gestión de riesgos de desastres en entidades públicas y privadas. Esto se basa en la Ley 1522 de 2012 y tiene como objetivo desarrollar planes de gestión de riesgos para enfrentar situaciones de emergencia.

### 5.13. Energía Eléctrica

La Resolución 5018 de 2019 proporciona lineamientos sobre seguridad y salud ocupacional en los procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Establece regulaciones para garantizar la seguridad de los trabajadores en el sector eléctrico.

### 5.14. Manejo de energía eléctrica de baja, media, alta y extra alta tensión

La Resolución 90708 de 2013 se refiere al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y establece normas técnicas para garantizar la seguridad en las instalaciones eléctricas a diferentes niveles de tensión.

### 5.15. Riesgo Químico

El Decreto 1496 de 2018 aprueba la adopción del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, además de otras disposiciones relacionadas con la seguridad química.

### 5.16. Tareas de alto riesgo - Trabajo en alturas

La Resolución 1409 de 2012 establece un reglamento de seguridad para prevenir caídas en trabajos en altura, con el propósito de garantizar la seguridad de los trabajadores que desempeñan actividades en dichas condiciones.

### 5.17. Tareas de alto riesgo - Espacios confinados

La Resolución 0491 de 2020 define requisitos mínimos para asegurar la seguridad y salud de los trabajadores que realizan tareas en espacios confinados, como lugares de difícil acceso o ventilación limitada.

## 6. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

Además de las regulaciones vigentes en Colombia relacionadas con seguridad y salud, se toman en consideración normativas internacionales disponibles en países como el Reino Unido y otras partes del mundo. Estas regulaciones están diseñadas específicamente para proyectos de energía eólica costa afuera. Por lo cual, se incorporan como parte de las directrices relacionadas con el desarrollo del proyecto.

### 6.1. Normativa DNVGL-ST-0145

Establece normas para subestaciones marinas de proyectos de energía renovable costa afuera, estableciendo principios generales de seguridad, requisitos y orientación para estas instalaciones.

### 6.2. Normativa DNVGL-ST-0126

Se relaciona con la construcción de estructuras de soporte para aerogeneradores, proporcionando principios y directrices generales para el diseño estructural de estos soportes.

### 6.3. Normativa DNVGL-ST-0437

Aborda las cargas y condiciones del sitio para aerogeneradores, estableciendo principios, requisitos técnicos y orientación en este aspecto.

### 6.4. Norma IEC 61400

Define los requisitos mínimos de diseño para aerogeneradores.

### 6.5. Normativa EN 50308

Se enfoca en las turbinas eólicas y sus requisitos de medidas de protección para el diseño, la operación y el mantenimiento, especialmente relacionados con la salud y la seguridad del personal.

## 7. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA

De acuerdo con la Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Riohacha - Colombia [\[5\]](#), la responsabilidad del director del proyecto es asegurar el cumplimiento de las

consideraciones legales de salud y seguridad ocupacional, aspecto crucial en cualquier proyecto, incluyendo los parques eólicos costa adentro.

Las regulaciones necesarias para establecer un marco de seguridad y salud establecen una serie de responsabilidades clave para los empleadores con el fin de garantizar un entorno de trabajo seguro. En primer lugar, deben proporcionar un lugar de trabajo, en la mayor medida posible, libre de riesgos significativos reconocidos y cumplir con las normas y regulaciones establecidas. Esto implica realizar evaluaciones regulares para verificar el cumplimiento de las normas de seguridad aplicables y asegurarse de que los empleados tengan acceso a herramientas, equipos y actividades de trabajo seguras.

Además, los empleadores deben comunicar los procedimientos operativos y brindar capacitación en seguridad y salud a los empleados según lo requerido. Es fundamental que se promueva la conciencia de seguridad entre los trabajadores mediante la utilización de códigos de colores, carteles y señales que indiquen riesgos potenciales.

Por último, los empleadores deben mantener registros de lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo y proporcionar a los empleados y sus representantes acceso a estos registros. Además, no pueden discriminar contra los empleados que ejerzan sus derechos en virtud de la Ley.

## 8. EVALUACIÓN DE RIESGOS

Trabajar con energías eólicas conlleva una serie de riesgos que deben ser evaluados, mitigados y prevenidos. Por lo tanto, para la implementación y construcción del parque eólico offshore en Riohacha, La Guajira se han identificado los riesgos a los que se exponen los trabajadores y que permiten tomar las correspondientes medidas preventivas y correctivas que conduzcan a eliminarlos o minimizarlos.

Cuando se identifican estos riesgos laborales, se incluyen los peligros más importantes que no se pueden evitar en su totalidad, para valorar que tan probables son, sus consecuencias, si suceden con frecuencia o simultáneamente con otros, o tienen alguna tipología especial a considerar; se excluyen los menos posibles de que sucedan o los que si suceden tienen consecuencias mínimas y; se analizan todos para establecer cómo se pueden prevenir o mitigar.

Adicionalmente, el sector de la energía eólica requiere el uso de sistemas especiales para implementación de equipos y que los trabajadores tengan formación específica que se ha estandarizado mundialmente, debido a la peligrosidad de las maniobras que se deben realizar. En la Figura 1 se observa el izado de un tramo, en el que se puede evidenciar un riesgo de “descontrol de la carga y desplome de las grúas” [1], que debe ser prevenido o minimizado con el uso de métodos adecuados para la ejecución y capacitación especializada a trabajadores



**Figura 6.** Izado de un tramo. [\[1\]](#)

En la Figura 2 se puede ver que para acceder a un aerogenerador en el mar que presenta oleaje se utilizan sistemas que garanticen, en gran medida, la prevención del riesgo de caída al mar “*el barco mediante posicionamiento dinámico permanece estable y permite el acceso a pesar del oleaje.*” [\[1\]](#)



**Figura 7.** Acceso a un aerogenerador offshore mediante pasarela. [\[1\]](#)

También se deben tener establecidos los métodos de trabajo en alturas con montajes de gran tamaño, pesados y suspendidos como en la Figura 3 en donde *“el trabajador está asegurado con un arnés, anclado dorsalmente, a doble gancho a las barras perimetrales del techo.”*[\[1\]](#) Igualmente, se deben estipular estrategias determinadas de acceso, evacuación, formación en primeros auxilios en caso de emergencia y realizar simulacros de evacuación periódicamente.



**Figura 8.** Realizando trabajo encima de la nacelle o góndola. [1]

La Figura 4 muestra un simulacro de evacuación en donde, *“supuestamente un trabajador está herido o impedido en el interior de una pala. Proceso complejo que implica un procedimiento especial que incluye la tracción desde la pala, habilitar la camilla y, descender esta con el trabajador mediante cuerdas desde la nacelle.”* [1]



**Figura 9.** Simulacro de evacuación. [1]

## 8.1. Componentes de riesgo

Para la gestión de riesgos planteados en este plan se tendrán en cuenta estos tres componentes:

- Evento, (un cambio no deseado)
- Probabilidad de ocurrencia de ese evento.
- Impacto de ese evento.

Haciendo uso de lo siguiente:

- \* Asignar probabilidad al riesgo, teniendo en cuenta el rango de 1 a 100%
- \* Asignar el impacto: alto, medio o bajo
- \* Calcular el riesgo total
- \* Desarrollar estrategias de mitigación.
- \* Desarrollar planes de contingencia.
- \* Monitorear los riesgos.

## 8.2. Identificación del riesgo

El riesgo tiene un efecto negativo en un evento o serie de eventos que puede ocurrir en uno o varios lugares. A continuación, se identifican los posibles riesgos que pueden incurrir en el proyecto.

Una vez los riesgos sean evaluados se ponderarán y se clasificaron, cada uno de estos, dentro del tipo de riesgo y se detallarán las acciones para prevenir, mitigar o transferir los riesgos, sobre todo los que presenten alto impacto y alta probabilidad de ocurrencia. A continuación, se presentará la tabla de riesgos según la ponderación del impacto y de la probabilidad de cada uno de los riesgos.

## 8.3. Matriz de riesgos

Una vez evaluados los riesgos del proyecto y la probabilidad de ejecución se plantea la siguiente matriz de seguimiento de cada una de estas variables y entre todos los stakeholders del proyecto se generará un listado de las posibles maneras de mitigar estos riesgos.

## 8.4. Estrategias de mitigación de riesgos y metodologías de control

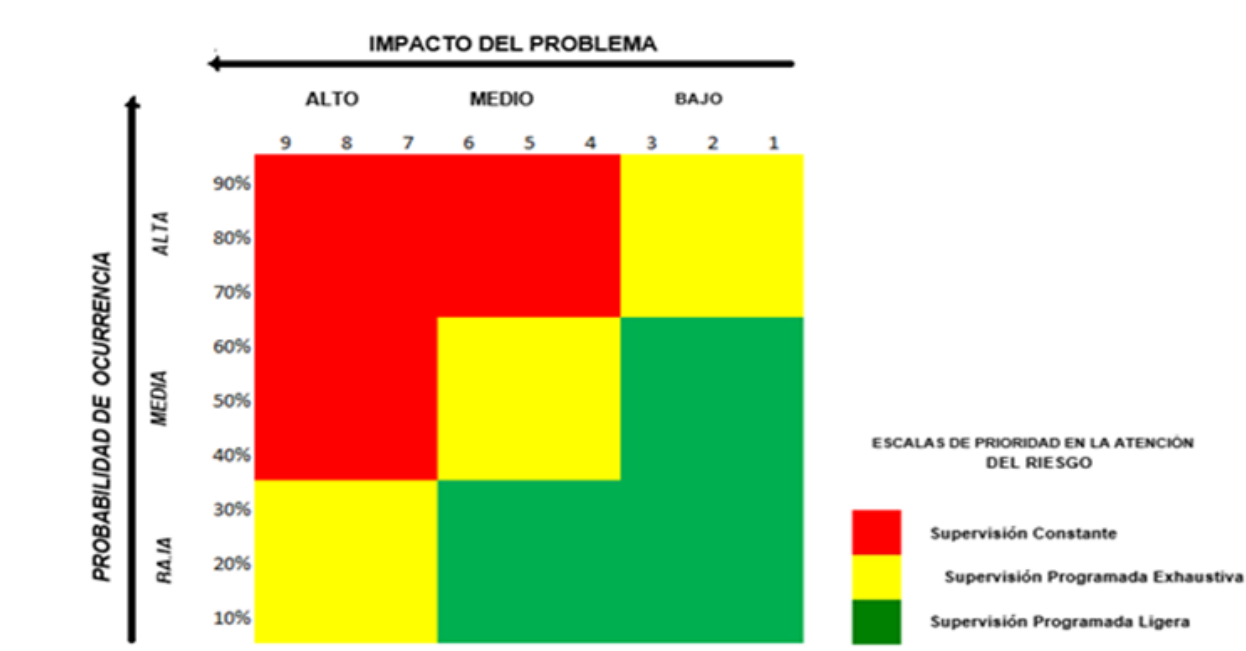
Sigla	Definición	% Probabilidad	Impacto	
B	Bajo	1-25	1-3	
M	Medio	26-65	4-6	

A	Alto	66-100	7-10	
---	------	--------	------	--

Riesgo	Plan de acción	P %	I.
Caídas desde alturas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionar capacitación en trabajo en altura, implementar barreras de seguridad y utilizar equipo de protección personal (EPP), como arneses.</li> </ul>	30%	8
Accidentes eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspeccionar y mantener regularmente los sistemas eléctricos, proporcionar capacitación sobre seguridad eléctrica y utilizar equipos eléctricos seguros.</li> </ul>	35%	8
Procedimientos de trabajo no definidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manual Técnico.</li> <li>Documentación clara y precisa de los procesos técnicos a seguir.</li> </ul>	20%	3
Cambios del personal: renuncias, cambios de área del personal, reasignación de roles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitación del personal contratado.</li> <li>Asignación de mecanismo de autenticación.</li> <li>Dar de baja el mecanismo de autenticación.</li> <li>Procesos documentados.</li> <li>Retroalimentación constante de los procesos y prácticas de conocimiento colectivo.</li> </ul>	60%	6
Fallas en el soporte técnico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitación constante del personal que brinda soporte.</li> <li>Contratar personal de soporte técnico con la capacidad y los conocimientos necesarios para el cargo.</li> </ul>	60%	7
Colisión de embarcaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar sistemas de navegación seguros, señalización marítima adecuada y llevar a cabo un seguimiento y monitoreo constante del tráfico marítimo.</li> </ul>	15%	10
Riesgo de fatiga y estrés térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer turnos de trabajo seguros, proporcionar áreas de descanso y protección contra las inclemencias del tiempo y promover la hidratación y el cuidado personal.</li> </ul>	20%	10



<b>Exposición a condiciones climáticas extremas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear las condiciones meteorológicas, suspender el trabajo en condiciones peligrosas y proporcionar ropa y equipo de protección adecuados.</li> </ul>	<b>40%</b>	<b>10</b>
<b>Interferencia con la vida marina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplir con regulaciones ambientales, realizar evaluaciones de impacto ambiental y establecer protocolos de observación y protección de la vida marina.</li> </ul>	<b>35%</b>	<b>8</b>
<b>Riesgo de accidentes en operaciones de mantenimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer procedimientos de mantenimiento seguro, proporcionar capacitación en seguridad y realizar inspecciones y seguimientos regulares.</li> </ul>	<b>15%</b>	<b>7</b>
<b>Caída de objetos durante el transporte de carga.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar la carga de manera adecuada, inspeccionar regularmente las grúas y equipos de elevación, y capacitar al personal en procedimientos de carga segura.</li> </ul>	<b>10%</b>	<b>8</b>
<b>Accidentes en trabajos en espacios confinados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar y etiquetar los espacios confinados, proporcionar capacitación en seguridad, establecer procedimientos de rescate y garantizar la disponibilidad de equipos de respiración y comunicación.</li> </ul>	<b>20%</b>	<b>8</b>



## 9. WEBGRAFÍA

- [1] A. Cobo de la Hera, «Prevención de riesgos en el sector eólico,» Área de proyectos especiales, 2019.
- [2] Agencia Internacional de Energías Renovables - IRENA, «Estadísticas de Capacidad Renovable 2020,» 2020. [En línea]. Available: <https://onx.la/9d236>. [Último acceso: 20 Noviembre 2023].
- [3] «Decreto Reglamentario del Sector Labolar. Septiembre 2023,» 2023. [En línea]. Available: <https://onx.la/3d470>. [Último acceso: 25 octubre 2023].
- [4] Ministerio de Trabajo, «Resolución 0312 del 2019. Por lo cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST-Colombia.,» Bogotá, 2019.
- [5] World Bank Group; The Renewables Consulting Group., «Hoja de Ruta para el despliegue de la Energía Eólica Costa Afuera en Colombia,» 2019. [En línea]. Available: <https://onx.la/fa23e>. [Último acceso: 14 septiembre 2023].

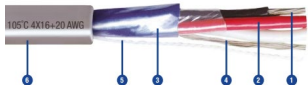
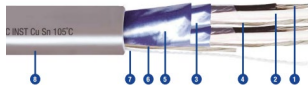


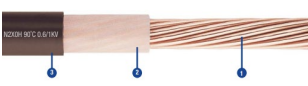
## **ANEXO V. Catálogo de equipos**

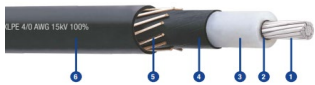


## 1. INSTALACIONES

Nº	Descripción del producto	Proveedor	Especificaciones	Usos
1	<b>Haliade X 13MW [1]</b> 	General Electric	<p><b>Potencia nominal:</b> 13 megavatios (MW).</p> <p><b>Diámetro del rotor:</b> 220 metros.</p> <p><b>Altura del buje:</b> Ajustable, pero puede superar los 150 metros.</p> <p><b>Número de palas:</b> 3. El Haliade-X utiliza tres palas en su diseño.</p> <p><b>Tecnología de palas:</b> Las palas están fabricadas con material compuesto de fibra de vidrio reforzado con tecnología LM Wind Power. La longitud de las palas es de aproximadamente 107 metros.</p> <p><b>Rendimiento y eficiencia:</b> El Haliade-X 13 MW es conocido por su alta eficiencia y capacidad de generar una gran cantidad de energía incluso a bajas velocidades del viento.</p> <p><b>Torre:</b> La torre puede variar en altura según las condiciones del proyecto, pero es lo suficientemente alta para aprovechar vientos fuertes y constantes en alta mar.</p> <p><b>Tecnología de generación:</b> Utiliza un generador sincrónico de imanes permanentes para convertir la energía cinética del viento en electricidad.</p>	Se utiliza principalmente para la generación de energía eléctrica a partir de la fuerza del viento. Dado su gran tamaño y alta capacidad de generación de energía, se despliega en parques eólicos offshore (en el mar) para aprovechar los vientos más fuertes y constantes que se encuentran en estas ubicaciones.
2	<b>Subestación offshore [2]</b> 	Navacel	<p>El topside (TP) de este sistema offshore incluye dos puntos de atraque para embarcaciones, diez conductos en forma de J, escaleras internas y externas, plataformas internas y una sala de almacenamiento.</p> <p>Diámetro del TP: 6-7 metros</p> <p>Tamaño de la plataforma: 15 metros x 17 metros</p> <p>Altura total: 30 metros</p> <p>Peso total: 610 toneladas</p>	Se utilizan principalmente para recopilar, transformar y distribuir eficientemente la energía eléctrica generada en el mar a la red eléctrica en tierra firme. Además de servir como centros de monitoreo y control, estas instalaciones permiten la integración de la energía en la red eléctrica, facilitan el mantenimiento y acceso para inspecciones y reparaciones, y en algunos casos, incorporan sistemas de almacenamiento de energía para estabilizar la distribución de energía y garantizar un suministro constante a la red eléctrica.
3	<b>Piezas de transición Navacel [2]</b> 	Navacel	<p>Torres eólicas de hasta 8,5 metros</p> <p>Piezas de transición para monopilotes</p> <p>Piezas de transición para subestaciones</p> <p>Piezas de transición para jackets (estructuras soporte)</p> <p>Pilotes con manguito</p> <p>Agrupaciones de pilotes con manguito</p> <p>Conexiones</p> <p>Patas para jackets y plataformas jack-up</p> <p>Nodos</p> <p>Elementos de flotabilidad para plataformas flotantes y TLP (plataformas tipo torre de carga)</p>	Estas piezas son fundamentales para la transición entre las cimentaciones (por ejemplo, monopilotes) y las estructuras superiores, como las torres de los aerogeneradores, en los proyectos de energía eólica marina. Su gran tamaño y capacidad de carga son cruciales para garantizar la estabilidad y la eficiencia de la infraestructura de un parque eólico offshore.
4	<b>Piezas de transición Windar [3]</b> 	Windar	<p>Estas piezas tienen una longitud de 38 metros, un impresionante peso de 500 toneladas y un diámetro de 9 metros. Su fabricación se lleva a cabo en las instalaciones de Tadarsa Eólica T4 en Avilés.</p>	

5	<b>Monopilotes [3]</b> 	Windar	<p>Estos monopilotes tienen una longitud impresionante de 115 metros, un peso masivo de 2,500 toneladas y un diámetro de 12 metros. Son fabricados en el astillero de Navantia en Fene, A Coruña.</p>	<p>Se utilizan como cimentaciones para los aerogeneradores en proyectos de energía eólica marina. Estos enormes pilotes se anclan en el lecho marino y proporcionan una base sólida y estable para soportar las estructuras de los aerogeneradores en aguas profundas. Su diseño y capacidad de carga son esenciales para garantizar la seguridad y la eficiencia de los parques eólicos offshore.</p>
6	<b>Transformador ABB PCS6000 [4]</b> 	ABB	<p>Transformador de potencia total de 3 niveles, 4Q, VSI-NPC, diseño sin fusibles, el cual soporta un rango de potencia del generador de hasta 15 megavatios y cuenta con un sistema de enfriamiento con refrigeración líquida con unidad de refrigeración de circuito cerrado. Control del lado del generador con modulación de ancho de pulso.</p> <p>Control del lado de la red: Patrón de pulso optimizado</p> <p>Interfaz de bus de campo: Profibus DP, Profinet IO, Modbus TCP, EtherCat, CANopen</p> <p>Ethernet : Acceso de servicio y mantenimiento con herramienta de software para Windows a través de IPC instalado; Acceso remoto VPN listo</p>	<p>Convierte la energía mecánica generada por los aerogeneradores en electricidad de CA que puede ser inyectada en la red eléctrica. Además de la conversión, el PCS6000 controla la potencia y la frecuencia, inyecta la electricidad en la red, y optimiza la generación según la velocidad del viento y las demandas del sistema. Esto contribuye a la estabilidad del sistema eléctrico y permite una gestión eficiente de la energía eólica. Su capacidad de supervisión y control remoto facilita la operación y el mantenimiento del parque, y puede integrarse con sistemas de almacenamiento de energía para una mayor eficiencia y estabilidad en la red.</p>
7	<b>Celdas GIS para centros de transformación en parques eólicos [5]</b> 	mesa	<p>El diseño de la DVCAS contiene una cuba de acero inoxidable, que contiene toda la armadura eléctrica, estanca y sellada de por vida (30 años), lo que impide que el operario entre en contacto con las partes activas de MT.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enclavamientos mecánicos y eléctricos, para evitar falsas maniobras.</li> <li>• 100% ensayado en fábrica sin necesidad de ensayos posteriores en obra.</li> <li>• Diseño simple y fácil de operar, con acceso frontal a todas las operaciones.</li> <li>• Ensayada frente a arcos internos IEC 62271-200. IAC AFL/AFLR</li> </ul>	<p>Las celdas DVCAS han sido diseñadas exclusivamente para el mercado eólico. La DVCAS es una celda compacta, resultado de la configuración de la unión de distintos módulos.</p> <p>Cada celda modular contiene en su interior, toda la armadura que permite realizar la protección y la conexión del transformador de cada aerogenerador, a la red de media tensión del parque eólico.</p> <p>Las celdas DVCAS al haber sido específicamente diseñadas para el interior de los aerogeneradores no necesitan obra civil lo que deriva en un menor coste, mayor sencillez de la instalación y una disminución en el impacto medioambiental.</p>
8	<b>Relé de protección [5]</b> 	mesa	<p>El diseño de los relés VIP los hace óptimos para la protección del transformador en los centros de transformación de parques eólicos, proporcionando las protecciones de fase (50-51) y tierra (50N-51N). Son relés autónomos (no requieren alimentación auxiliar externa), que se alimentan a través de unos captadores toroidales de intensidad tipo CRC montados sobre los pasatapas de salida de cables de MT hacia el transformador. La actuación del relé VIP sobre el interruptor, se realiza a través de un disparador (bobina) tipo Mitop.</p> <p>El relé estará normalmente situado en el panel frontal de mecanismos de la celda de MT, protegido mediante una cubierta transparente que dota al conjunto de un grado de protección IP-54.</p>	<p>La tensión auxiliar para alimentar la protección de las cabinas de media tensión puede no estar siempre disponible, el relé de protección asume un papel crucial. Este dispositivo desempeña funciones vitales, como la detección de fallas, la coordinación de la desconexión rápida y segura del transformador elevador, la gestión de la protección en cascada, el registro de eventos y el autodiagnóstico. Su capacidad para operar sin una fuente de energía auxiliar constante subraya su importancia en asegurar la seguridad y la eficiencia operativa de los sistemas eléctricos en parques eólicos</p>

## 2. CABLES

Nº	Descripción del producto	Proveedor	Especificaciones	Usos
1	<b>Cables Centelsa para instrumentación 105°C 300V Tipo PLTC [6]</b> 	Centelsa	1. Conductor de cobre estañado clase B, calibre 22 al 16 AWG. 2. Aislamiento en PVC retardante a la llama, resistente a la abrasión, al calor y la humedad. 3. Cinta de poliéster aluminizada con 100% de cubrimiento. 4. Conductor de drenaje en cobre estañado 20 AWG. 5. Hilo de rasgado para facilidad de instalación. 6. Chaqueta en PVC retardante a la llama, resistente a la abrasión, al calor y la humedad, para uso en bandejas tipo TC (Tray Cable).	Cable para distribución de energía y señal, empleados en la góndola, la torre y/o subestación del sistema de generación de energía eólica. <b>Para subestación:</b> Aptos para instalación en interiores o al aire libre, en lugares húmedos, secos o mojados. <b>Para torre y góndola:</b> Aptos para instalación con exigencias de alta flexibilidad, retardancia a la llama, torsión y vibraciones
2	<b>Cables Centelsa Para instrumentación 105°C 300V Tipo PLTC - Pantalla general e individual por cada par [6]</b> 	Centelsa	1. Conductor de cobre estañado clase B, calibre 22 al 16 AWG. 2. Aislamiento en PVC retardante a la llama, resistente a la abrasión, al calor y la humedad. 3. Pantalla individual en cinta de poliéster aluminizada con 100% de cubrimiento. 4. Conductor de drenaje en cobre estañado 20 AWG. 5. Pantalla general en cinta de poliéster aluminizada con 100% de cubrimiento. 6. Conductor de drenaje en cobre estañado 20 AWG. 7. Hilo de rasgado para facilidad de instalación. 8. Chaqueta en PVC retardante a la llama, resistente a la abrasión, al calor, la humedad y la luz solar, para uso en bandejas tipo TC (Tray Cable).	
3	<b>Cables Centelsa RHH/RHW-2/USE-2 90°C 600V y 2000V [6]</b> 	Centelsa	1. Conductor de cobre suave o aluminio serie 8000 cableado. 2. Aislamiento en Polietileno Reticulado XLPE, resistente a la abrasión, al calor y la humedad.	
4	<b>Cables Centelsa Sintox 80°C 750V [6]</b> 	Centelsa	1. Conductor de cobre suave, cableado según los lineamientos de la norma ASTM B8. Opcional en aluminio serie 8000. 2. Poliolefina Termoplástica (PE), libre de halógeno (HF – Halogen Free), retardante a la llama (FR – Flame Retardant), de baja emisión de humos (LS – Low Smoke) opacos, densos, tóxicos y corrosivos.	
5	<b>Cables Centelsa Sintox 90°C 0,6/1kV [6]</b> 	Centelsa	1 Conductor de cobre suave, sólido o cableado según lineamientos de la norma IEC 60228. 2 Aislamiento en Polietileno Reticulado XLPE libre de halógenos. 3 Cubierta en Poliolefina termoplástica libre de halógenos, retardante a la llama y con baja emisión de humos tóxicos y corrosivos.	

6	<b>Cables Centelsa para media tensión desde 5kV a 46kV [6]</b>  	Centelsa	<p><b>Conductor:</b> Cable de aluminio 1350-H19 cableado compactado o cobre de temple suave compactado; con compuesto bloqueador longitudinal antihumedad. <b>Blindaje del Conductor:</b> Polietileno semiconductor reticulado, también denominado primera semiconductor.</p> <p><b>Aislamiento:</b> Polietileno reticulado retardante a las arborescencias (XLPE-TR / Crosslinked Polyethylene Tree-Retardant) o caucho reticulado (EPR / Ethylene Propylene Rubber). <b>Blindaje del Aislamiento:</b> Polietileno semiconductor reticulado removible para instalación, también denominado segunda semiconductor. <b>Neutro Concéntrico:</b> Alambres de cobre desnudo suave aplicados helicoidalmente con 25%, 33%, 50% o 100% de área del conductor de fase. <b>Cubierta o Chaqueta:</b> Polietileno (PE) libre de halógenos y metales pesados. Aplicación tipo embebida con los hilos del neutro concéntrico.</p>	<p>Cable para distribución de energía desde los aerogeneradores hasta la subestación. Aptos para instalación en interiores o al aire libre, en lugares húmedos, secos o mojados. En ductos, canaletas, enterrados directamente o aéreo con cable mensajero de apoyo.</p>
7	<b>Cable submarino eléctrico de media tensión [7]</b>  	Zmscable	<p>Conductor: Cobre          Aislamiento: XLPE          Capa impermeable: Cinta impermeable semiconductor          Apantallamiento: Cinta de cobre          Envoltura del núcleo: PE          Armadura: Alambres de acero galvanizado          Tensión nominal: 6/10(12), 12/20(24), 18/30(36) KV          Norma: IEC 60228, IEC 60502, IEC 60840, IEC 62067</p>	<p>Pueden utilizarse para la transmisión transoceánica de energía, la generación de energía eólica en alta mar, las plataformas petrolíferas en alta mar, etc. ZMS cables de alimentación submarinos pueden dividirse en cables submarinos de media tensión y cables submarinos de alta tensión. Los materiales de aislamiento de este tipo de cables suelen ser XLPE o EPR. Además de su alta resistencia al agua estándar, ZMS cable eléctrico submarino tiene una alta resistencia mecánica y a la corrosión. Puede satisfacer la necesidad de una transmisión de energía estable en diferentes entornos submarinos.</p>
8	<b>Cable eléctrico submarino de alta tensión [27]</b>  	Zmscable	<p>Conductor: Cobre          Aislamiento: XLPE          Capa impermeable: Cinta impermeable semiconductor          Apantallamiento: Cinta de cobre          Envoltura del núcleo: Plomo, PE          Armadura: Alambres de acero galvanizado rellenos de compuesto bituminoso          Tensión nominal: 127/220(245) kV, 160/275(300) kV, 200/345(362) kV, 230/400(420) kV          Norma: IEC 60228, IEC 60502, IEC 60840, IEC 62067</p>	<p>Se utilizan para la transmisión eficiente de datos desde aerogeneradores y equipos submarinos hacia la subestación marina y, posteriormente, a tierra firme. Además, permiten el monitoreo en tiempo real del rendimiento del parque eólico, facilitan el control remoto de operaciones y sirven como enlace de alta velocidad entre aerogeneradores y la infraestructura marina.</p>
9	<b>Cable de fibra óptica marítima ligera [8]</b>  	Zmscable	<p>Número de fibras: 12/24/36/48/72          Capa de protección: Tubo de acero inoxidable          Armadura interior: Alambres de acero          Capa exterior: PE La fibra óptica marítima ligera controla con precisión la longitud de la fibra, garantizando buenas propiedades de tracción y características de temperatura. Este tipo de fibra óptica en el mar tiene una buena resistencia a la compresión y flexibilidad.</p>	<p>Se utilizan para la transmisión eficiente de datos desde aerogeneradores y equipos submarinos hacia la subestación marina y, posteriormente, a tierra firme. Además, permiten el monitoreo en tiempo real del rendimiento del parque eólico, facilitan el control remoto de operaciones y sirven como enlace de alta velocidad entre aerogeneradores y la infraestructura marina.</p>



### 3. WEBGRAFÍA

- [1] GE presenta Haliade-X, la turbina eólica offshore más potente del mundo. Recuperado el 25 de septiembre de 2023 de <https://www.ge.com/news/press-releases/ge-presenta-haliade-x-la-turbina-e%C3%B3lica-offshore-m%C3%A1s-potente-del-mundo>
- [2] Vientos de la costa. Recuperado el 25 de octubre de 2023 de: <https://navacel.com/offshore-wind/>
- [3] Subestructuras offshore. Recuperado el 25 de octubre del 2023 de: <https://windar-renovables.com/subestructurasoffshore/>
- [4] MEDIUM VOLTAGE WIND CONVERTERS ABB wind turbine converters PCS6000, full power converter, up to 15 MW. Recuperado el 25 de octubre del 2023 de: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3BHS351272&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [5] Celdas para parques eólicos 330. Recuperado el 25 de octubre del 2023 de <https://www.mesa.es/productos/pdf/DVCAS%20MESA%20-%20330%20-%200413.pdf>
- [6] Cables para generación de energía eólica. Recuperado el 31 de octubre del 2023 de: <https://www.centelsa.com/archivos/Brochure-Eolicos.pdf>
- [7] Cable Eléctrico Submarino. Recuperado el 31 de octubre del 2023 de: <https://zmscable.es/cable-submarino/cable-electrico-submarino/>
- [8] Cable de Fibra Óptica Submarino. Recuperado el 31 de octubre del 2023 de <https://zmscable.es/cable-submarino/fibra-optica-submarino/>



## **ANEXO VI. Estudio técnico económico de viabilidad**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES .....	4
2. FUENTES DE FINANCIACIÓN .....	5
3. PLAN DE AMORTIZACIÓN DE ACTIVOS FIJOS .....	6
4. COSTES .....	7
5. FLUJO DE CAJA .....	8
6. RESULTADOS.....	10
7. WEBGRAFÍA.....	11

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Presupuesto de ejecución en materiales y de contrata .....	4
<b>Tabla 2.</b> Variables económicas.....	5
<b>Tabla 3.</b> Fuentes de financiación .....	5
<b>Tabla 4.</b> Amortización de activos fijos 1 .....	6
<b>Tabla 5.</b> Amortización de activos fijos 2 .....	6
<b>Tabla 6.</b> Amortización de activos fijos 3 .....	6
<b>Tabla 7.</b> Amortización de activos fijos 4 .....	6
<b>Tabla 8.</b> Flujo de caja 1 .....	8
<b>Tabla 9.</b> Flujo de caja 2 .....	8
<b>Tabla 10.</b> Flujo de caja 3 .....	9
<b>Tabla 11.</b> Flujo de caja 4 .....	9
<b>Tabla 12.</b> TIR y VAN.....	10

## 1. GENERALIDADES

Para dar desarrollo al estudio técnico económico de viabilidad, es necesario abordar en primer lugar el presupuesto, Tabla 1, que se ha determinado para la construcción y puesta en marcha del parque eólico y la alimentación de la planta desalinizadora.

<b>Presupuesto de ejecución material y por contrata</b>	
<b>Obra Civil</b>	
Movimiento de tierras	€ 6.865.794,90
Hormigones	€ 77.852,44
Aceros	€ 62.182.000,00
<b>Equipos eléctricos de BT y MT</b>	
Conductores	€ 4.278.036,00
Cabinas de media tensión	€ 2.760.000,00
Tendido de conductores	€ 3.200.000,00
Montaje de cabinas de media tensión	€ 850.000,00
<b>Aerogeneradores</b>	
Suministro	€ 260.000.000,00
Transporte al emplazamiento	€ 10.500.000,00
Montaje y puesta en marcha	€ 22.270.000,00
<b>Subestación eléctrica media-alta tensión</b>	
Obra civil de la subestación	€ 76.228,00
Aparellaje y equipos eléctricos de media tensión	€ 3.978.980,00
Aparellaje y equipos eléctricos de alta tensión	€ 2.278.616,10
Montaje, pruebas y puesta en marcha de la subestación eléctrica	€ 92.000,00
<b>Edificio de control</b>	€ 122.000,00
<b>Ingeniería y dirección facultativa de obra</b>	€ 106.000,00
<b>Varios</b>	€ 30.000,00
<b>Planta desalinizadora</b>	€ 16.300.000,00
<b>TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIALES</b>	€ 395.967.507,44
16% gastos generales	€ 63.354.801,19
3% beneficio industrial	€ 11.879.025,22
<b>TOTAL DE EJECUCIÓN POR CONTRATA</b>	€ 471.201.333,85

**Tabla 10.** Presupuesto de ejecución en materiales y de contrata

Se ha determinado un valor de presupuesto inicial de **€471.201.333,85**, Tabla 1, en el que se incluyen costo de materiales, instalaciones, puesta en marcha y demás requerimientos necesarios que se especifican a detalle en el Documento 4, Presupuesto y mediciones.

Establecido el valor de presupuesto, es necesario entrar a estimar la producción de ingresos del parque eólico una vez puesto en marcha. Para esto debemos tener en cuenta el valor del kwh en el país. El parque eólico al producir energía que está enfocada en la cobertura de la demanda del departamento de La Guajira maneja un valor de mercado regulado de 283.49 COP/kWh [1], por lo cual el costo del MWh convertido en Euro será de **€64.2**.

Adicionalmente, se debe descontar de la energía vertida en la red el requerimiento energético anual de funcionamiento para la planta desalinizadora la cual cuenta con una capacidad diaria de tratamiento de 10000 m<sup>3</sup>; para el funcionamiento de la planta se estima un valor de 3 kwh por cada m<sup>3</sup> de agua, es por esto por lo que, será necesario el vertido diario de 40 MWh de la energía producida del parque a la planta potabilizadora.

Por otra parte, para determinar los incrementos de los precios año tras año y establecer la proyección de rentabilidad del proyecto, se toma el valor del IPC anual; el cual, a la fecha según reportes del DANE está en 10.48 [2]. Todos estos valores se encuentran consignados en la Tabla 2.

Variable	Valor
<b>Energía vertida a la red (Gwh/año)</b>	1034,71
<b>Capacidad diaria planta desalinizadora (m<sup>3</sup>)</b>	10000
<b>Necesidad diaria energía planta (Mw/h)</b>	40
<b>Valor kwh (€)</b>	64,2
<b>IPC año 2023</b>	10,48%

**Tabla 11.** Variables económicas

## 2. FUENTES DE FINANCIACIÓN

Las fuentes de financiación para la ejecución del proyecto se manejan de la siguiente forma debido a sus altos costos, Tabla 3. Se financia el proyecto con crédito con Tasa de intereses de 4% efectivo anual, crédito que se espera pagar en un plazo de 15 años.

Fondos	Valores
<b>Financiación</b>	€ 471.201.333,85
<b>TEA</b>	4%
<b>Plazo de tiempo</b>	15 años

**Tabla 12.** Fuentes de financiación

### 3. PLAN DE AMORTIZACIÓN DE ACTIVOS FIJOS

Se establece el plan de amortización de activos fijos para determinar la depreciación de estos activos con el paso de los años siguiendo un modelo de línea recta en donde se dará una amortización constante para cada uno de los apartados.

Inversión inicial		Plan de amortización activos fijos										
Inmovilizado material		Tipo de amortización	2025	Valor residual	2026	Valor residual	2027	Valor residual	2028	Valor residual	2029	Valor residual
Equipos eléctricos b/t y m/t	€ 11.088.036	7%	\$ 776.162,5	\$ 10.311.873,5	\$ 776.162,5	\$ 9.535.711,0	\$ 776.162,5	\$ 8.759.548,4	\$ 776.162,5	\$ 7.983.385,9	\$ 776.162,5	\$ 7.207.223,4
Aerogeneradores	€ 292.770.000	7%	\$ 20.493.900,0	\$ 272.276.100,0	\$ 20.493.900,0	\$ 251.782.200,0	\$ 20.493.900,0	\$ 231.288.300,0	\$ 20.493.900,0	\$ 210.794.400,0	\$ 20.493.900,0	\$ 190.300.500,0
Subestación eléctrica media-alt	€ 6.425.824	5%	\$ 321.291,2	\$ 6.104.532,9	\$ 321.291,2	\$ 5.783.241,7	\$ 321.291,2	\$ 5.461.950,5	\$ 321.291,2	\$ 5.140.659,3	\$ 321.291,2	\$ 4.819.368,1
Edificio de control	€ 122.000	7%	\$ 8.540,0	\$ 113.460,0	\$ 8.540,0	\$ 104.920,0	\$ 8.540,0	\$ 96.380,0	\$ 8.540,0	\$ 87.840,0	\$ 8.540,0	\$ 79.300,0
Planta desalinizadora	€ 16.300.000	7%	\$ 1.141.000,0	\$ 15.159.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 14.018.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 12.877.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 11.736.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 10.595.000,0

**Tabla 13.** Amortización de activos fijos 1

Plan de amortización activos fijos									
2030	Valor residual	2031	Valor residual	2032	Valor residual	2033	Valor residual	2034	Valor residual
\$ 776.162,5	\$ 6.431.060,9	\$ 776.162,5	\$ 5.654.898,4	\$ 776.162,5	\$ 4.878.735,8	\$ 776.162,5	\$ 4.102.573,3	\$ 776.162,5	\$ 3.326.410,8
\$ 20.493.900,0	\$ 169.806.600,0	\$ 20.493.900,0	\$ 149.312.700,0	\$ 20.493.900,0	\$ 128.818.800,0	\$ 20.493.900,0	\$ 108.324.900,0	\$ 20.493.900,0	\$ 87.831.000,0
\$ 321.291,2	\$ 4.498.076,9	\$ 321.291,2	\$ 4.176.785,7	\$ 321.291,2	\$ 3.855.494,5	\$ 321.291,2	\$ 3.534.203,3	\$ 321.291,2	\$ 3.212.912,1
\$ 8.540,0	\$ 70.760,0	\$ 8.540,0	\$ 62.220,0	\$ 8.540,0	\$ 53.680,0	\$ 8.540,0	\$ 45.140,0	\$ 8.540,0	\$ 36.600,0
\$ 1.141.000,0	\$ 9.454.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 8.313.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 7.172.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 6.031.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 4.890.000,0

**Tabla 14.** Amortización de activos fijos 2

Plan de amortización activos fijos									
2035	Valor residual	2036	Valor residual	2037	Valor residual	2038	Valor residual	2039	Valor residual
\$ 776.162,5	\$ 2.550.248,3	\$ 776.162,5	\$ 1.774.085,8	\$ 776.162,5	\$ 997.923,2	\$ 776.162,5	\$ 221.760,7	\$ 221.760,7	\$ -
\$ 20.493.900,0	\$ 67.337.100,0	\$ 20.493.900,0	\$ 46.843.200,0	\$ 20.493.900,0	\$ 26.349.300,0	\$ 20.493.900,0	\$ 5.855.400,0	\$ 5.855.400,0	\$ -
\$ 321.291,2	\$ 2.891.620,8	\$ 321.291,2	\$ 2.570.329,6	\$ 321.291,2	\$ 2.249.038,4	\$ 321.291,2	\$ 1.927.747,2	\$ 321.291,2	\$ 1.606.456,0
\$ 8.540,0	\$ 28.060,0	\$ 8.540,0	\$ 19.520,0	\$ 8.540,0	\$ 10.980,0	\$ 8.540,0	\$ 2.440,0	\$ 2.440,0	\$ -
\$ 1.141.000,0	\$ 3.749.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 2.608.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 1.467.000,0	\$ 1.141.000,0	\$ 326.000,0	\$ 326.000,0	\$ -

**Tabla 15.** Amortización de activos fijos 3

Plan de amortización activos fijos									
2040	Valor residual	2041	Valor residual	2042	Valor residual	2043	Valor residual	2044	Valor residual
\$ 776.162,5		\$ 776.162,5		\$ 776.162,5		\$ 776.162,5		\$ 776.162,5	
\$ 20.493.900,0		\$ 20.493.900,0		\$ 20.493.900,0		\$ 20.493.900,0		\$ 20.493.900,0	
\$ 321.291,2	\$ 1.285.164,8	\$ 321.291,2	\$ 963.873,6	\$ 321.291,2	\$ 642.582,4	\$ 321.291,2	\$ 321.291,2	\$ 321.291,2	-\$ 0,0
\$ 8.540,0		\$ 8.540,0		\$ 8.540,0		\$ 8.540,0		\$ 8.540,0	
\$ 1.141.000,0		\$ 1.141.000,0		\$ 1.141.000,0		\$ 1.141.000,0		\$ 1.141.000,0	

**Tabla 16.** Amortización de activos fijos 4

## 4. COSTES

Para poder realizar el análisis de la viabilidad es necesario determinar los costes referentes a gastos fijos y variables del proyecto.

- **Operación y mantenimiento**

De acuerdo con las necesidades del parque para dar correcto funcionamiento y operación se establece un valor fijo de mantenimiento por MWh producido de 10€/MW, este valor irá aumentando anualmente según el IPC.

- **Seguros**

Se contrata un seguro que cubra eventualidades por daños, desastres u otros imprevistos que puedan ocurrir en el funcionamiento del parque.

- **Concesiones administrativas por el terreno**

Se establece un valor neto por el uso del territorio donde se instale el proyecto.

- **Gastos generales**

Referente a los gastos necesarios para la operación del proyecto.

Adicionalmente, también se debe tener en cuenta el valor de los impuestos que se deben pagar.

- **Impuesto por transferencias eléctricas**

Es el impuesto equivalente al 6% que deben pagar las empresas que construyan proyectos de energías renovables no convencionales, como la eólica y solar. [3]

- **Impuesto a la renta**

Equivalente al 30% es el impuesto creado con la finalidad de gravar los ingresos generados tanto por personas naturales como jurídicas, al igual que proyectos construidos en el país.

De igual manera, se espera en un futuro poder acceder al programa Obras por impuestos [4], la cual dictamina una reducción de aproximadamente el 50% del impuesto a la renta a aquellos proyectos que proporcionen obras que mejoren la calidad de vida en las zonas más afectadas del país.

## 5. FLUJO DE CAJA

En este apartado, se lleva a cabo el análisis de las distintas fuentes de ingresos, así como los gastos operativos y financieros, para determinar los valores de retorno que tiene el proyecto; así como los flujos de dinero que se obtienen y de esta manera determinar la viabilidad del proyecto.

	Flujo de caja				
Concepto	2024	2025	2026	2027	2028
Energía producida (Mw/h)	1034170	1034170	1034170	1034170	1034170
Energía vertida en planta (Mw/h)	14600	14600	14600	14600	14600
Valor Mw/h	€ 64,2	€ 70,0	€ 77,3	€ 85,4	€ 94,4
<b>Total ingresos</b>	<b>€ 65.456.394</b>	<b>€ 71.347.469</b>	<b>€ 78.824.684</b>	<b>€ 87.085.511</b>	<b>€ 96.212.073</b>
Operación y mantenimiento	€ -	€ 10.341.700	€ 11.425.510	€ 12.622.904	€ 13.945.784
Seguros	€ 820.000	€ 905.936	€ 1.000.878	€ 1.105.770	€ 1.221.655
Plan de vigilancia ambiental	€ 22.000	€ 24.306	€ 26.853	€ 29.667	€ 32.776
Amortización	€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422
Intereses	€ 15.838.700	€ 14.582.163	€ 13.325.627	€ 12.069.090	€ 10.812.553
Concesiones administrativas - terreno	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000
<b>Total gastos</b>	<b>€ 49.294.123</b>	<b>€ 57.267.527</b>	<b>€ 57.192.290</b>	<b>€ 57.240.853</b>	<b>€ 57.426.190</b>
Flujo antes de impuesto	€ 16.162.271	€ 14.079.942	€ 21.632.394	€ 29.844.659	€ 38.785.883
Impuesto transferencias eléctricas (6%)	€ 3.927.384	€ 4.280.848	€ 4.729.481	€ 5.225.131	€ 5.772.724
Impuesto a la renta (30%)	€ 4.848.681	€ 4.223.983	€ 6.489.718	€ 8.953.398	€ 11.635.765
<b>Flujo total</b>	<b>€ 7.386.206</b>	<b>€ 9.855.960</b>	<b>€ 15.142.676</b>	<b>€ 20.891.261</b>	<b>€ 27.150.118</b>

**Tabla 17.** Flujo de caja 1

Flujo de caja				
2029	2030	2031	2032	2033
1034170	1034170	1034170	1034170	1034170
14600	14600	14600	14600	14600
€ 104,3	€ 115,2	€ 127,3	€ 140,6	€ 155,3
<b>€ 106.295.098</b>	<b>€ 117.434.824</b>	<b>€ 129.741.994</b>	<b>€ 143.338.955</b>	<b>€ 158.360.877</b>
€ 15.407.302	€ 17.021.987	€ 18.805.892	€ 20.776.749	€ 22.954.152
€ 1.349.684	€ 1.491.131	€ 1.647.402	€ 1.820.049	€ 2.010.791
€ 36.211	€ 40.006	€ 44.199	€ 48.831	€ 53.948
€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422
€ 9.556.016	€ 8.299.479	€ 7.042.942	€ 5.786.405	€ 4.529.868
€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000
<b>€ 57.762.635</b>	<b>€ 58.266.026</b>	<b>€ 58.953.856</b>	<b>€ 59.845.456</b>	<b>€ 60.962.182</b>
€ 48.532.462	€ 59.168.799	€ 70.788.138	€ 83.493.498	€ 97.398.696
€ 6.377.706	€ 7.046.089	€ 7.784.520	€ 8.600.337	€ 9.501.653
€ 14.559.739	€ 17.750.640	€ 21.236.441	€ 25.048.049	€ 29.219.609
€ 33.972.724	€ 41.418.159	€ 49.551.696	€ 58.445.449	€ 68.179.087

**Tabla 18.** Flujo de caja 2

Flujo de caja				
2034	2035	2036	2037	2038
1034170	1034170	1034170	1034170	1034170
14600	14600	14600	14600	14600
€ 171,6	€ 189,6	€ 209,5	€ 231,4	€ 255,7
<b>€ 174.957.097</b>	<b>€ 193.292.601</b>	<b>€ 213.549.666</b>	<b>€ 235.929.670</b>	<b>€ 260.655.100</b>
€ 25.359.748	€ 28.017.449	€ 30.953.678	€ 34.197.623	€ 37.781.534
€ 2.221.521	€ 2.454.337	€ 2.711.551	€ 2.995.722	€ 3.309.674
€ 59.602	€ 65.848	€ 72.749	€ 80.373	€ 88.796
€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422	€ 31.413.422
€ 3.273.331	€ 2.016.795	€ 760.258	-€ 496.279	-€ 1.752.816
€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000
<b>€ 62.327.624</b>	<b>€ 63.967.851</b>	<b>€ 65.911.658</b>	<b>€ 68.190.861</b>	<b>€ 70.840.610</b>
€ 112.629.473	€ 129.324.750	€ 147.638.008	€ 167.738.809	€ 189.814.490
€ 10.497.426	€ 11.597.556	€ 12.812.980	€ 14.155.780	€ 15.639.306
€ 33.788.842	€ 38.797.425	€ 44.291.402	€ 50.321.643	€ 56.944.347
€ 78.840.631	€ 90.527.325	€ 103.346.605	€ 117.417.167	€ 132.870.143

Tabla 19. Flujo de caja 3

Flujo de caja				
2039	2040	2041	2042	2043
1034170	1034170	1034170	1034170	1034170
14600	14600	14600	14600	14600
€ 282,4	€ 312,0	€ 344,7	€ 380,9	€ 420,8
<b>€ 287.971.754</b>	<b>€ 318.151.194</b>	<b>€ 351.493.439</b>	<b>€ 388.329.952</b>	<b>€ 429.026.931</b>
€ 41.741.039	€ 46.115.500	€ 50.948.404	€ 56.287.797	€ 62.186.758
€ 3.656.527	€ 4.039.732	€ 4.463.095	€ 4.930.828	€ 5.447.579
€ 98.102	€ 108.383	€ 119.742	€ 132.291	€ 146.155
€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 1.200.000
<b>€ 45.495.668</b>	<b>€ 50.263.614</b>	<b>€ 55.531.241</b>	<b>€ 61.350.915</b>	<b>€ 67.780.491</b>
€ 242.476.086	€ 267.887.580	€ 295.962.198	€ 326.979.037	€ 361.246.440
€ 17.278.305	€ 19.089.072	€ 21.089.606	€ 23.299.797	€ 25.741.616
€ 72.742.826	€ 80.366.274	€ 88.788.660	€ 98.093.711	€ 108.373.932
€ 169.733.260	€ 187.521.306	€ 207.173.539	€ 228.885.326	€ 252.872.508

Tabla 20. Flujo de caja 4



## 6. RESULTADOS

Una vez con los flujos de caja y estimaciones de ingresos del proyecto, se procede a analizar los indicadores económicos que determinan la viabilidad.

- **Valor Actual Neto (VAN)**

Se define como la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, considerando una tasa de rentabilidad específica y deduciendo el valor de la inversión inicial. En este escenario, se ha establecido una tasa de rentabilidad del 5%. Dada la naturaleza del proyecto, su riesgo y el periodo necesario para recuperar la inversión, la rentabilidad debe superar esta tasa. En términos simples, la presencia de un VAN positivo indicaría que el proyecto sería rentable, ya que supera la tasa de rentabilidad esperada establecida en el cálculo del VAN.

- **Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)**

Esta métrica representa la tasa de descuento que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero. La TIR es considerada aconsejable si es igual o superior a la tasa requerida por el inversor, Tabla 12. Es un indicador relativo de rentabilidad del proyecto y no tiene en cuenta las dimensiones específicas del mismo.

<b>TIR</b>	11%
<b>VAN</b>	€ 470.236.962

Tabla 21. TIR y VAN

La TIR del 11% indica que la inversión a futuro generará un rendimiento del 11% anual sobre la duración del proyecto. En este caso, la TIR del 11% es mayor que la tasa de descuento del 5%, lo que sugiere la viabilidad del proyecto por lo cual se indica una rentabilidad sólida en comparación con la tasa de descuento utilizada.

Por su parte un VAN positivo de € 470.236.962 con una tasa de descuento del 5% significa que, incluso a una tasa de descuento más alta que la utilizada en el financiamiento (4%), el proyecto sigue generando un valor neto positivo. Esto apoya la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

## 7. WEBGRAFÍA

- [1] «Enero de 2023 el precio de bolsa de energía aumentó a 371.24COP/kWh.,» [En línea]. Available: <https://acortar.link/zdZS0N>. [Último acceso: 20 noviembre 2023].
- [2] «IPC información octubre 2023,» [En línea]. Available: <https://acortar.link/3XVNa>. [Último acceso: 20 noviembre 2023].
- [3] «Gobierno Petro revisaría ajustes al impuesto para energías renovables.,» [En línea]. Available: <https://acortar.link/BmJcrz>. [Último acceso: 20 noviembre 2023].
- [4] «Régimen de obras por impuestos, un mecanismo para extinguir la obligación tributaria.,» [En línea]. Available: <https://acortar.link/5CeZLG>. [Último acceso: 20 noviembre 2023].

## **ANEXO VII. Diseño de la planta potabilizadora JUTSÜIN PALA'A**

## INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Necesidad de agua y energía en Riohacha, La Guajira .....	9
1.2. Procedimiento.....	10
1.2.1. Captación de agua de mar.....	10
1.2.2. Pretratamiento .....	10
• Desarenado.....	10
• Tratamiento desincrustante .....	10
1.2.3. Osmosis inversa .....	11
• Membrana semipermeable .....	11
• Bombas de alta presión .....	11
1.2.4. Postratamiento.....	12
• Re-mineralización.....	12
• Cloración .....	12
2. DISEÑO .....	13
2.1 Toma de agua.....	13
2.2 Pretratamiento .....	13
2.2.1 Desarenador .....	13
2.2.2 Tratamiento desincrustante.....	15
2.3 Osmosis inversa .....	15
2.4 Postratamiento.....	16
2.4.1 Remineralización.....	16
2.4.2 Cloración.....	16
3. UBICACIÓN.....	16
4. WEBGRAFÍA .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Las comunidades de La Guajira se han visto históricamente afectadas debido a la escasez de agua dado que se encuentran en una situación de vulnerabilidad, especialmente las poblaciones indígenas en la región de la alta y media Guajira las cuales experimentan sequías intensas que se extienden por más de seis meses al año. Esta prolongada falta de lluvias tiene como consecuencia la disminución de los niveles de los pozos de agua subterránea, que son la única fuente de abastecimiento para los cultivos en la zona. Este fenómeno agrava aún más la situación, afectando directamente la seguridad hídrica y la capacidad de sustento de las comunidades locales en Riohacha y áreas circundantes en la región de La Guajira.

Según las estadísticas proporcionadas por el DANE [1], el sector agrícola, ganadero, de caza, silvicultura y pesca contribuyó con 87,456 mil millones de pesos al valor agregado nacional en el año 2021. En el caso específico de La Guajira, esta actividad generó 546 mil millones de pesos, posicionándose como la sexta actividad con mayor aporte al valor agregado departamental a precios corrientes. Se destaca un notable crecimiento del 38,5% con respecto al año 2020.

A pesar de que, el sector agropecuario de La Guajira representa una proporción relativamente pequeña tanto en el PIB nacional (0,6% en 2021, a precios corrientes) como en el departamental (3,9% en 2021), se reconoce un potencial de crecimiento significativo. Este potencial puede tener impactos notables en los indicadores sociales y económicos si se aborda la baja productividad, lo que permitiría generar empleos de calidad. [2]

En la actualidad, el desabastecimiento de agua ha dificultado la producción de las labores agrícolas de la región dado que, no se cuenta con los recursos necesarios para el riego y la producción de los alimentos, tanto para el consumo personal de las familias como para una producción económica. Por lo cual, es necesaria una alternativa que permita el acceso a agua potable en la región; en este punto el proceso de desalinización y potabilización de agua de mar entra a tomar importancia y considerarse como la opción más viable.

### 1.1. Necesidad de agua y energía en Riohacha, La Guajira

En términos generales, la estimación del consumo diario de agua per cápita se sitúa en 0.1 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) por persona. Al considerar los núcleos poblacionales específicos del proyecto, que abarcan alrededor de 212.314 habitantes, se observa que el 39.5% de esta población carece de acceso a agua potable. Esto implica una demanda aproximada de 21,300 m<sup>3</sup> al día, considerando exclusivamente las necesidades domésticas y sin contemplar aún la demanda asociada a actividades económicas, como la agricultura y la ganadería, las cuales son esenciales para la región, pero en una primera instancia, no serán atendidas con el fin de priorizar el suministro de agua para necesidades básicas. En este contexto, se establece una demanda

total de agua de 21,300 m<sup>3</sup> diarios, subrayando la importancia de abordar la cobertura para las necesidades esenciales de la población.

Aunque, las necesidades de agua potable de las comunidades de Riohacha y, en general, de La Guajira, son bastante altas, con la instalación de la planta desalinizadora Jutsüin Pala'a, se espera proporcionar a la comunidad 10.000 m<sup>3</sup> de agua potable para uso doméstico.

En los últimos años, la demanda energética de Riohacha ha experimentado un notable incremento, impulsada por el crecimiento demográfico, el dinamismo económico y el desarrollo en el sector turístico. En el año 2022, la demanda de energía en Riohacha alcanzó los 250 gigavatios hora (GWh), evidenciando un aumento del 6% en comparación con el año anterior.

La distribución de la demanda energética en Riohacha refleja una diversidad de usos y necesidades. El sector residencial lidera esta demanda con un 50%, seguido por el sector comercial con un 30%, el sector industrial con un 15%, y otros usos que comprenden el restante 5%. Por lo cual se estima una demanda energética para uso doméstico de 125 GWh.

## 1.2. Procedimiento

Para someter el agua a un proceso de potabilización, se deberán realizar una serie de etapas que garanticen que el agua sea segura para el consumo humano. Estas etapas variarán en función de la localización de la planta o de las propiedades del agua a tratar, entre otras. De forma general, se pueden distinguir las siguientes etapas:

### 1.2.1. Captación de agua de mar

Se recoge agua de mar de una fuente costera, utilizando tomas de agua en áreas marinas adecuadas. Se recomienda que la toma de agua se realice entre 0.5 y 1 metro de profundidad para evitar la posible obstrucción de la tubería por elementos flotantes existentes en el mar. También se recomienda realizar una instalación de desbaste donde se pueda eliminar materiales de gran tamaño mediante la instalación de rejillas.

### 1.2.2. Pretratamiento

El agua de mar deberá someterse a una serie de etapas de pretratamiento para eliminar partículas, sólidos en suspensión, materia orgánica y otros contaminantes. Las etapas de pretratamiento pueden incluir:

- **Desarenado**

Este pretratamiento permitirá la eliminación de partículas de arena que hayan podido entrar en la planta y sedimentos que puedan interferir con los procesos posteriores.

- **Tratamiento desincrustante**

Al dosificar antiincrustantes se mejorará la solubilidad de algunas sales para evitar su precipitación y así, prevenir posibles incrustaciones en las membranas de la ósmosis inversa que puedan producir ensuciamiento; alargando la vida útil de las membranas.

### 1.2.3. Ósmosis inversa

La etapa principal en la potabilización del agua de mar es la desalinización mediante ósmosis inversa. La ósmosis es el proceso en el que el agua fluye a través de una membrana semipermeable desde un área de menor concentración de solutos hacia un área de mayor concentración. En este proceso, el agua de mar se presuriza y se fuerza a pasar a través de membranas semipermeables que retienen la sal y otros contaminantes, permitiendo que solo el agua pura pase a través. Los principales componentes de la ósmosis inversa son:

- **Membrana semipermeable**

La membrana es una barrera muy delgada que permite el paso de las moléculas de agua mientras retiene las sales, los contaminantes y otros sólidos suspendidos. Estas membranas son altamente selectivas y están diseñadas para separar eficazmente el agua de mar en agua dulce y salmuera, Figura 1.

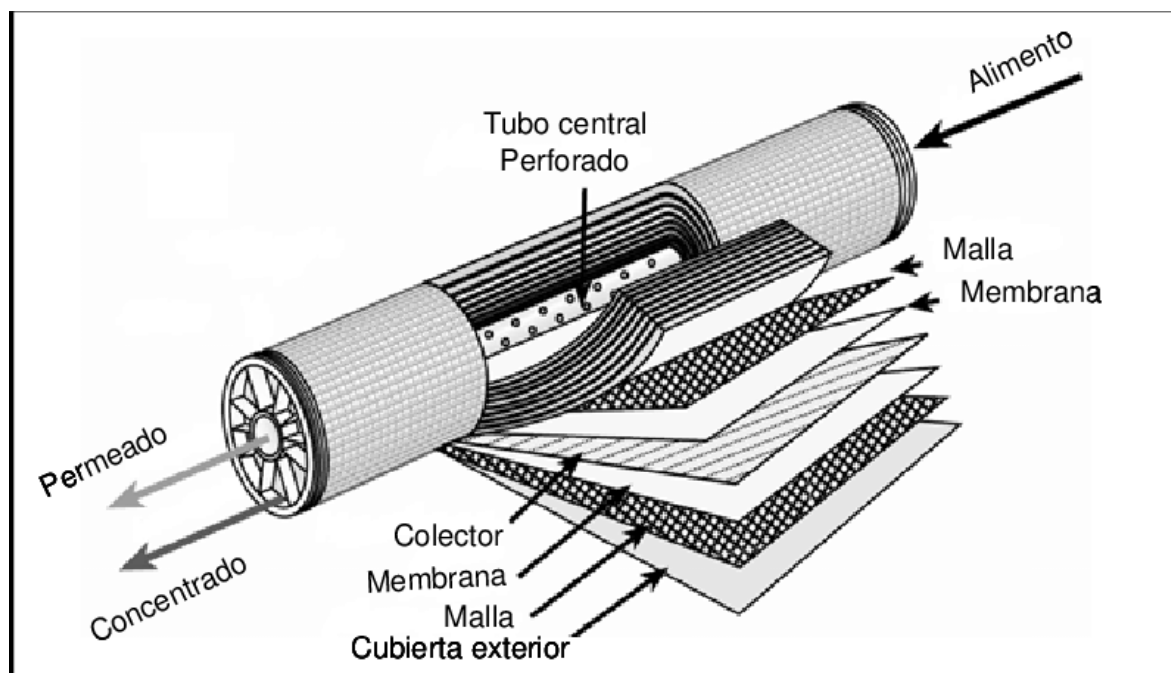


Figura 1. Membrana semipermeable [3]

- **Bombas de alta presión**

Se utilizan para crear la presión necesaria en el lado del agua de mar y forzar el paso del agua a través de la membrana.

Como resultado, además de la producción de agua dulce también se generará salmuera. La salmuera es el agua concentrada y llena de sales que se separa de la corriente de agua de mar. Este subproducto puede eliminarse de forma correcta mediante su inyección en el mar, evitando así impactos ambientales negativos.

#### 1.2.4. Postratamiento

Al finalizar la ósmosis inversa se deberá realizar una serie de post tratamientos en el agua desalinizada para ajustar la calidad del agua potable.

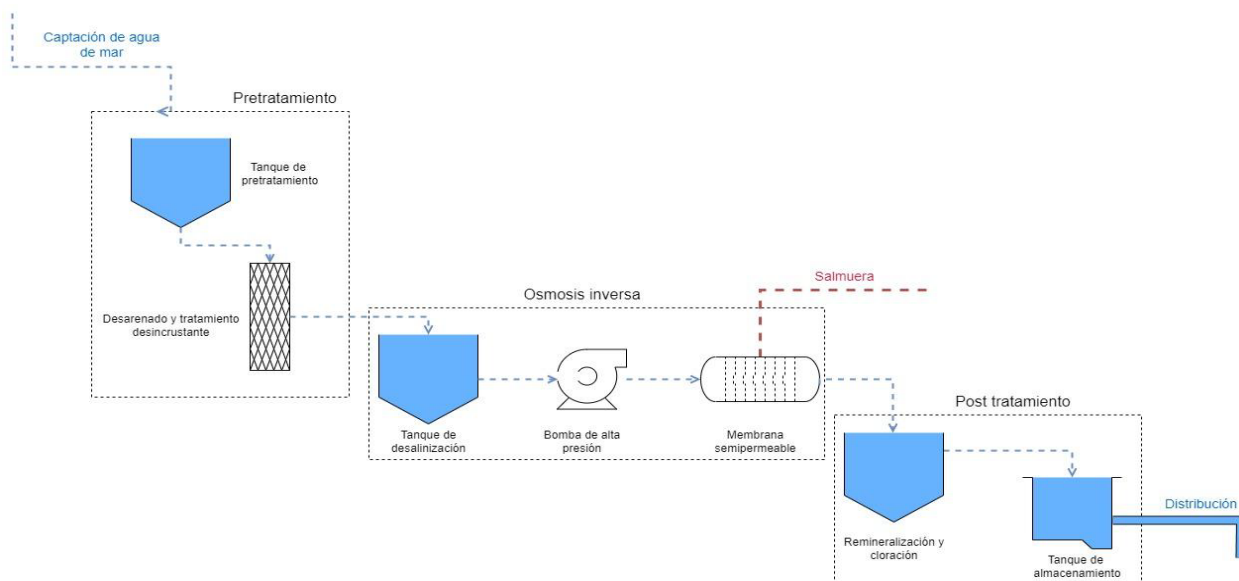
- **Re-mineralización**

La etapa de Re-mineralización permitirá adicionar minerales importantes tanto para la calidad del agua y la salud humana. En estos minerales se incluyen el calcio, magnesio y carbonatos tales como el bicarbonato de calcio.

- **Cloración**

Se someterá el agua a proceso de cloración para eliminar posibles patógenos y microorganismos presentes en el agua.

Mediante la Figura 2, se muestra el esquema de la planta potabilizadora diseñada para el presente proyecto.



**Figura 1.** Esquema de la planta potabilizadora “”. Elaboración propia mediante el Software AutoCAD [4].



## 2. DISEÑO

### 2.1. Toma de agua

El proceso de desalinización comenzara con la captación del agua de mar. Como datos de partida, la instalación poseerá un caudal diario de 10.000 m<sup>3</sup> que permitirá la generación de agua para una población total de 100.000 habitantes. Para ello, será necesario una entrada de caudal de 15.000 m<sup>3</sup> diarios debido a que durante la osmosis inversa existirá una conversión del 65% aproximadamente donde, 5.000 m<sup>3</sup> se transformaran en un caudal con concentración de sales, que será de vuelta al mar.

En la entrada de la tubería se situará un tamizado que evitará la entrada de material flotante que pudiese existir. El tamizado constará de mallas de acero inoxidable o de polímeros plásticos tales como el polietileno o el polipropileno, debido a su resistencia a la corrosión.

Para el diseño de las rejillas, teniendo en cuenta que la velocidad entre las rejillas no puede superar 1 m/s; se propone un espesor de los barrotes entre 5 y 15 mm, una luz (distancia entre los barrotes) entre 15 y 75 mm y una limpieza automática mediante el uso de rastrillos para evitar la obstrucción del equipo. [5] Por último, se instalará una bomba centrífuga que impulsará el agua de mar captada a la instalación.

### 2.2. Pretratamiento

Como se ha descrito con anterioridad, el agua se someterá a un pretratamiento físico y químico que constará de una eliminación de arenas y un tratamiento desincrustante.

#### 2.2.1. Desarenador

Dentro del pretratamiento físico se encuentra el desarenado para eliminar posibles partículas de arena u otros compuestos inorgánicos presentes en el agua que puedan dañar los distintos equipos, obstruir las tuberías o influir en la eficiencia del proceso o la calidad del agua potable. Para realizar este proceso, el agua se someterá a un desarenado por aireación. Estos desarenadores son capaces de eliminar partículas que posean un tamaño de 0,2 mm o superior; con un canal de recogida de arenas y paredes muy inclinadas. [6]

Para el diseño del desarenador se definen los siguientes parámetros de partida: [6]

- **Tiempo de retención**

Cantidad de tiempo que pasará el agua residual dentro del equipo. Para desarenadores aireados el tiempo de residencia medio es entre 2 y 5 minutos por lo que se tomará como tiempo de retención medio 4 minutos.

- **Suministros de aire**

Metros cúbicos necesarios de aire para alimentar los difusores del desarenador. Los valores típicos se sitúan entre 0,18 y 0,45 m<sup>3</sup>/min·m. Se tomará un valor medio de 0,2 m<sup>3</sup>/min·m.

- **Tamaño de la arena**

Las partículas de la arena, gravas y cenizas poseen un tamaño mayor de 0.2 milímetros, por lo tanto, el diseño debe cumplir con la eliminación de todas las partículas que poseen dicho tamaño.

- **Cantidad de arena**

La cantidad de arena existente en el agua de mar se sitúa entre los 20 y 100 cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Como valor estimado se seleccionará 60 cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

A través de estos datos de partida se calculará el volumen del desarenador mediante la ecuación 1.

$$V = \frac{1}{2} Q(m^3/min) t_r(min)$$

Ecuación 1

Para el cálculo de la longitud del mediante la Ecuación 2, estima una altura de 1.5 metros y una anchura de 2 metros (valores típicos de los desarenadores aireados).

$$L = \frac{V}{H \cdot B}$$

Ecuación 2

Una vez dimensionado el equipo, se calcula el caudal necesario de aire para la aireación mediante la Ecuación 3.

$$S\left(\frac{m^3}{min}\right) = F_s \left( \frac{m^3}{min \cdot m} \right) L(m)$$

Ecuación 3

Por último, se calculará la cantidad de arena retirada por el equipo. Para ello, se aplica la Ecuación 4 definida a continuación.

$$V_a = \frac{10cm^3}{10^6m^3} Q_m(m^3/d)$$

Ecuación 4

Mediante la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos del diseño del desarenador.

Parámetros de diseño	
Volumen del desarenador (m <sup>3</sup> )	21
Altura (m)	1.5
Anchura (m)	2
Longitud (m)	7
Suministro de aire (m <sup>3</sup> /min)	1.4
Volumen de arena (m <sup>3</sup> /d)	0.9

**Tabla 1.** Resultados obtenidos del diseño del desarenador [Autor propio]

### 2.2.2 Tratamiento desincrustante

Para someter el agua a un tratamiento químico, se utilizará un tratamiento de desincrustación al agua. Este tratamiento posee como objetivo evitar las incrustaciones o depósitos que se acumularán en superficies como en tuberías o en las posteriores membranas generando una reducción en la eficiencia de los equipos, obstruir el flujo de los líquidos o, aumentando el riesgo de corrosión.

El agua de mar puede generar una gran variedad de incrustaciones tales como incrustaciones de sales minerales, bioincrustaciones u otros depósitos. Sin embargo, la elección de desincrustante dependerá de varios factores como el material de las superficies, el sistema existente o consideraciones medioambientales y de seguridad.

Para establecer el tipo de antiincrustante que se va a emplear se utilizará el índice de Langelier del agua de mar y posteriormente, se realizará el cálculo teórico. El índice de Langelier se utiliza para calcular el carácter incrustante o agresivo del agua y, qué dependerá del equilibrio existente entre: el anhídrido carbónico, el pH, la concentración de calcio, la temperatura y la salinidad total.

### 2.3. Osmosis inversa

Una vez realizado el pretratamiento del agua, el caudal se someterá a un proceso de osmosis inversa. El agua de mar será impulsada por una bomba a través de las membranas que retendrán las sales minerales disueltas en el agua bacterias y otras partículas. Tras atravesar el agua las membranas, se generan dos caudales: un caudal con el agua pura que se denominará permeado y otra caudal que poseerá una gran concentración de sales minerales que se denominará salmuera. Como se ha mencionado anteriormente este caudal de salmuera se devolverá al mar para evitar posibles impactos ambientales.

En primer lugar, se ha calculado anteriormente tanto el caudal de alimentación como el caudal de permeado para un factor de recuperación del 65%, obteniendo así un caudal diario de agua tratada de 10.000 m<sup>3</sup> y un caudal de 5.000m<sup>3</sup> de concentrado, que será devuelto al mar.

## 2.4. Postratamiento

Por último, tras someter el agua a osmosis inversa, se realizará una serie de postratamientos para asegurar que el agua dulce posee unas características adecuadas para el consumo humano. Principalmente el post tratamiento se divide remineralización y modificación del PH.

### 2.4.1. Remineralización

En primer lugar, el agua se someterá a un proceso de remineralización. Este proceso está principalmente diseñado para reintroducir minerales esenciales en el agua que se han perdido durante la aplicación de la osmosis inversa. Esta adicción de minerales permitirá mejorar la calidad del agua para ser más beneficiosa a la salud y mejorar su sabor.

La remineralización se realizará mediante lechos de calcita que aumentaran la dureza del agua además de la alcalinidad y, por lo tanto, reducir la dureza del agua. Los lechos de calcita son gránulos de carbonato de calcio que se ponen en contacto con el caudal del agua tratada para que ocurra una reacción química. En esta reacción, el carbonato de calcio libera iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e iones de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) para aumentar su concentración en el agua tratada.

Será necesario realizar un control continuo en el caudal del agua a la entrada y a la salida del tratamiento para monitorizar que el agua cumple los estándares de calidad y, que los niveles de calcio, salinidad, pH y carbonatos están dentro de los rangos deseados.

### 2.4.2. Cloración

Por último, el agua será sometida a un proceso de cloración. Aunque el agua que procede de la osmosis inversa no posee contaminación biológica, será necesario someterlo a este proceso de cloración debido a que su uso será para el consumo humano. Existen una gran diversidad de sustancias utilizadas para este proceso; sin embargo, la más habitual será la utilización del cloro.

## 3. UBICACIÓN

Una vez establecido el proceso que se llevará a cabo para el tratamiento de desalinización, es necesario determinar la ubicación que tendrá la planta, teniendo en cuenta factores importantes como: el acceso al agua a tratar, conexión a el sistema de acueducto donde se verterá el agua tratada y la conexión eléctrica de la energía producida por el emplazamiento.

También se debe tener en cuenta el desecho de salmuera producido por el proceso de desalinización, por lo cual la selección del lugar debe tomar como variable la cercanía con el mar. A raíz de estas necesidades se determinó ubicar la planta a 1.5 km de la cabecera municipal de Riohacha y una distancia de aproximadamente 13 km del emplazamiento del parque eólico, en las coordenadas 18N UTMX: 23975,40 UTMY: 75815,70.

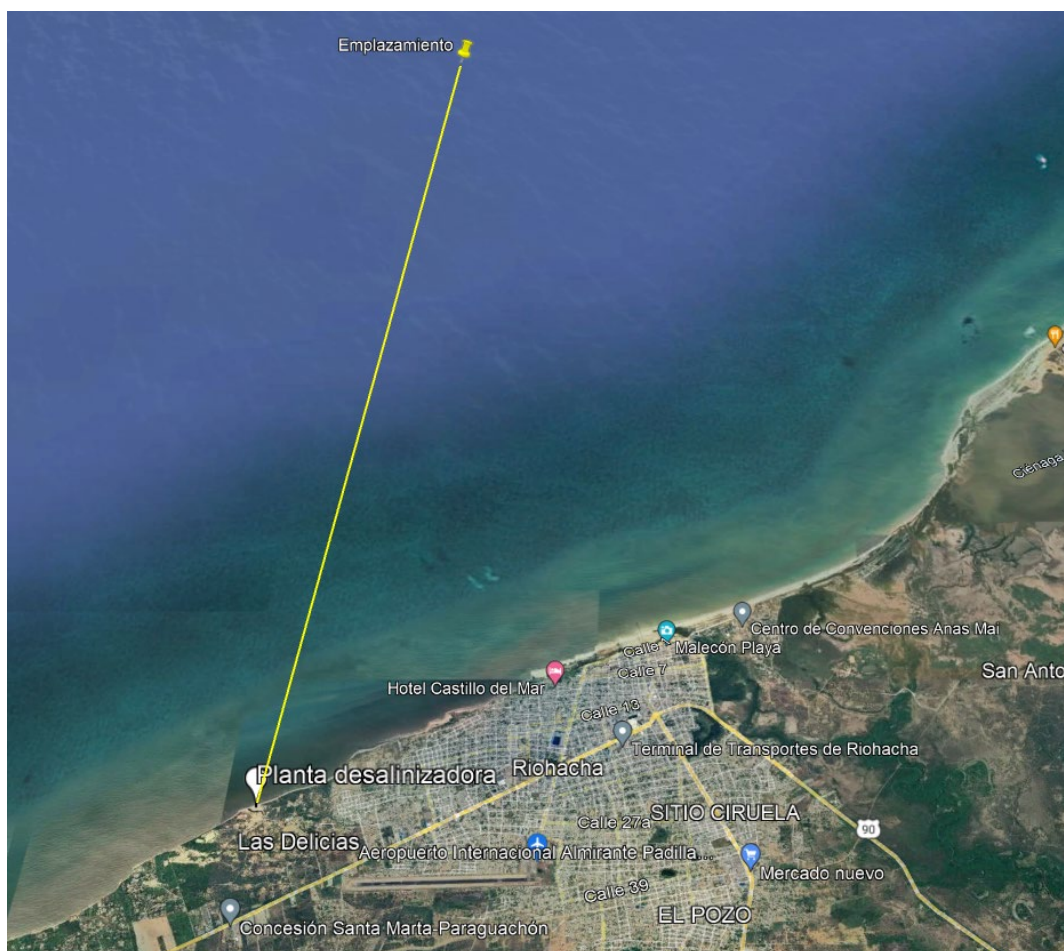


Ilustración 1. Ubicación Planta potabilizadora [Autor Propio]

En esta ubicación, se puede acceder de manera fácil al suministro de energía eléctrica y realizar la conexión al acueducto del municipio, para a partir de este poder realizar la distribución del agua potable en las comunidades cercanas.

Al elegir cuidadosamente la ubicación del proyecto, considerando factores técnicos, económicos, ambientales y sociales, se logrará una significativa disminución de los gastos asociados con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura. Esta elección estratégica no sólo optimizará la eficiencia y funcionalidad del sistema, sino que también resultará en una reducción del costo unitario del agua producida.

La correcta selección del sitio implica evaluar aspectos técnicos para garantizar la viabilidad del proyecto, consideraciones económicas para maximizar la rentabilidad a largo plazo, factores ambientales para minimizar impactos negativos en el entorno natural y consideraciones sociales para asegurar la aceptación y participación de la comunidad local.

#### 4. WEBGRAFÍA

- [1] DANE, "Censo Nacional de Población y Vivienda 2018," Bogotá, 2018.
- [2] Cámara de Comercio de La Guajira, "Panorama del Sector Agropecuario en La Guajira," [Online]. Available: <https://camaraguajira.org/panorama-del-sector-agropecuario-en-la-guajira/> [Accessed 20 Noviembre 2023].
- [3] A. Sotto, "Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos," Universidad Rey Juan Carlos, 2008.
- [4] AutoCAD, "AutoCAD," 2023. [Online]. Available: <https://www.autodesk.es>.
- [5] R. Ramalho, "Tratamiento de aguas residuales," Editorial Reverté, Barcelona, 2003.
- [6] L. Metcalf and E. Harrison, "Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización," McGraw-Hill, Madrid, 2000.