



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Anteproyecto de un Parque Eólico
en la isla de San Andrés, Colombia
financiado parcialmente por la
comunidad local

Autor: Nabil Grueso López

Tutor: Dr. Cristian Fábrega Gallego

Curs acadèmic: 2021 - 2022

Màster en Energies Renovables i
Sostenibilitat Energètica

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:



Health Universitat
de Barcelona
Campus

Resumen

El presente documento es un anteproyecto de un parque de generación de energía eólica compuesto por un solo aerogenerador, ubicado en la parte más alta y propicia de la isla de San Andrés, Colombia, que será costeado mediante tres sistemas de financiación: un préstamo tradicional, financiación colectiva e inversión directa de la población local.

Para la selección del aerogenerador se emplearon técnicas estadísticas como la distribución de densidad de probabilidades de Weibull y Rayleigh y otros métodos que permitieron calcular un rendimiento estacional de 31% y un factor de carga del 50% a una altura de 82 metros para el aerogenerador Vestas V136 de 3,5 MW de potencia nominal.

Además, se estima que, en base a los análisis realizados en este anteproyecto, el aerogenerador seleccionado producirá anualmente 15,12 GWh de energía eléctrica que ahorrarán un 8% de las emisiones de CO₂ que actualmente emite la isla por concepto de generación eléctrica. La energía generada por el aerogenerador deberá venderse dentro del rango de precios de los 5,85 a los 8,5 cUSD/kWh para que el proyecto sea viable económicamente. En este mismo rango la TIR va desde 7,41% hasta 17,19% y el tiempo para que retorne la inversión puede ir desde los 10 hasta los 5 años. El costo total de la inversión en el parque eólico se estima en 4,31 millones de dólares y el coste de operación anual se ubica cerca a los 400 mil dólares.

El anteproyecto concluye con una propuesta de un mecanismo que permite que la comunidad local, más allá de solo participar como inversionistas, pueda hacer parte del proceso de toma de decisiones con todo lo concerniente al proyecto.

Palabras clave: energía eólica, participación ciudadana, financiación colectiva, economía local.

Abstract

This document is a preliminary project for a wind energy generation farm of a single wind turbine, located in the highest and most suitable part of the island of San Andres, Colombia, which will be funded through three financing systems: crowdfunding, a traditional loan and direct investment from the local population.

For the selection of the wind turbine, statistical techniques such as the Weibull and Rayleigh probability density distributions and other methods were used to calculate a seasonal yield of 31% and a load factor of 50% at a height of 82 metres for the Vestas V136 wind turbine with a rated power of 3.5 MW.

Also, based on the analyses carried out in this preliminary project, it is estimated that the selected wind turbine will produce 15.12 GWh of electrical energy annually, which will save 8% of the CO₂ emissions currently emitted by the island as a result of electricity generation. The energy generated by the wind turbine must be sold within the price range of 5.85 to 8.5 cUSD/kWh for the project to be financially viable. In this same range the IRR runs from 7.41% to 17.19% and the payback time can range from 10 to 5 years. The total cost of the investment in the wind farm is estimated at 4.31 million dollars and the annual operating cost is around 400 thousand dollars.

The preliminary project concludes with a proposal for a mechanism that allows the local community, beyond just participating as investors, to be part of the decision-making process regarding the project.

Keywords: *wind energy, citizen participation, crowdfunding, local economy.*

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
2.	Objetivos.....	1
3.	Metodología	2
4.	Antecedentes.....	3
4.1.	Proyectos eólicos en Colombia	3
5.	Contexto local San Andrés Isla, Colombia.....	4
5.1.	Ubicación geográfica	4
5.2.	Economía y contexto social	5
5.3.	Realidad energética	6
6.	Procedimiento	7
6.1.	Selección de la Ubicación del Aerogenerador	7
6.2.	Análisis del viento	9
6.3.	Selección del aerogenerador	11
7.	Análisis económico	14
7.1.	Capex y Opex.....	14
7.2.	Financiación del proyecto.....	16
7.3.	Precio de venta de la energía	18
7.4.	Estimación del flujo de caja del proyecto	19
7.5.	Pagos y Dividendos	21
7.6.	Análisis de sensibilidad al precio de venta de la energía	23
8.	Cálculo de reducción de emisiones	25
9.	Mecanismo de toma de decisiones	26
10.	Conclusiones y Limitaciones	28
10.1.	Limitaciones del presente anteproyecto	28
10.2.	Conclusiones.....	28
	Referencias	30
	Anexos	31

Listado de Gráficas

Gráfica 1: Distribución del consumo eléctrico por tipo de usuario 2014.	6
Gráfica 2: Distribución de Rayleigh a 10 m de altura en San Andrés Isla.....	10
Gráfica 3: Distribuciones de Weibull a diferentes alturas, San Andrés Isla.	10
Gráfica 4: Representaciones de la curva de potencia a 90 metros para 4 aerogeneradores.	11
Gráfica 5: Cotización del precio de la energía en Colombia.....	18
Gráfica 6: Evolución de la inversión y payback del proyecto eólico de San Andrés Isla..	21
Gráfica 7: Curvas de TIR y Payback según variación del precio de venta de la energía.....	23

Listado de Tablas

Tabla 1: Comparativa de los 4 aerogeneradores	12
Tabla 2: Comparativa del aerogenerador V-136 a diferentes alturas de buje.....	13
Tabla 3: Datos de funcionamiento aerogenerador Vestas V-136.	13
Tabla 4: Capex proyecto eólico San Andrés Isla.....	14
Tabla 5: Opex proyecto eólico San Andrés Isla.	15
Tabla 6: Mecanismos y porcentajes de financiación del proyecto eólico en San Andrés Isla.	16
Tabla 7: Flujo de Caja del proyecto eólico de San Andrés Isla.	20
Tabla 8: Flujo de pagos a prestamistas y dividendos a los accionistas y la empresa.....	22
Tabla 9: Cálculos de reducción de emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.	25

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1: Datos del parque eólico Guajira I.....	3
Ilustración 2: Mapa de localización de la isla de San Andrés, Colombia.....	4
Ilustración 3: Playas de la isla de San Andrés, Colombia.	5
Ilustración 4: Prediación, restricciones y zona potencial para instalación del aerogenerador.	7
Ilustración 5: Ubicación seleccionada para el aerogenerador y perfil de elevación.....	8
Ilustración 6: Mapa de velocidad del viento y Rosa de vientos de San Andrés Isla.....	9
Ilustración 7: Aerogenerador Vestas V-136 de 3,45 MW.	12
Ilustración 8: Página principal de la web de A2censo	17

1. Introducción

En Colombia, hasta la fecha de junio de 2022, existen solamente dos parques eólicos en funcionamiento, tres en proceso de construcción y más de una docena en fase de desarrollo (BN Americas, 2020). Sin embargo, ninguno de ellos contempla dentro de su esquema financiero la participación mediante inversión directa de la población que reside en las zonas próximas a la explotación eólica.

El presente documento propone un anteproyecto de un parque de generación de energía eólica ubicado en San Andrés: la isla más grande de Colombia, pero que apenas tiene una extensión de veintiséis kilómetros cuadrados (26 km²) y una población –con un origen étnico particular– de poco más de cincuenta mil habitantes. La isla actualmente se abastece de energía eléctrica mediante el uso de unidades diésel que generan cerca de 200 GWh/año.

El parque eólico propuesto estará compuesto por un solo aerogenerador que se seleccionará de entre los disponibles en el mercado y acorde a las condiciones de viento y climatología de la zona. Deberá ser emplazado en una zona suficientemente distante al perímetro urbano y turístico de la isla, pero con facilidades de acceso para su operación y mantenimiento, y asegurando que esté en la mejor zona posible respecto al recurso eólico.

Dicho aerogenerador será costeadado empleando una combinatoria de tres diferentes mecanismos de financiación: un préstamo bancario tradicional, financiación colectiva e inversión directa de la población local. En este anteproyecto se planteará una revisión preliminar de los costes de construcción y operación y se hará un análisis financiero de la viabilidad económica del proyecto.

Finalmente, se presentará un breve análisis de la reducción de emisión de partículas, especialmente CO₂ y se propondrá un mecanismo que permita a la población local no solo invertir en el parque eólico, sino también hacer parte del proceso de toma de decisiones del proyecto.

2. Objetivo

Establecer un anteproyecto para el desarrollo de un parque eólico en la isla de San Andrés-Colombia financiado parcialmente por la comunidad local con el fin de que los beneficios económicos puedan ser compartidos entre el sector privado y la ciudadanía y así fomentar la prosperidad económica a nivel de base.

Algunos objetivos específicos de este anteproyecto:

- Determinar la mejor ubicación para el emplazamiento de un aerogenerador contemplando el componente predial, técnico y económico.
- Realizar un análisis económico que incluya: costo total de la inversión, costo de operación y mantenimiento, mecanismos de financiación y estimación del flujo de caja.
- Calcular la reducción de emisiones de partículas y CO₂.
- Proponer alternativas para que la ciudadanía participe en el proceso de toma de decisiones del proyecto.

3. Metodología

El presente documento sigue una metodología de investigación aplicada, en procura de incluir la generación de energía renovable en la isla de San Andrés y contribuir a la descarbonización de la matriz energética del archipiélago, al tiempo que se introduce un modelo pionero en Colombia de participación de la ciudadanía local como inversionistas del sistema de generación con el que convivirán.

Para realizar el anteproyecto del parque eólico en la isla de San Andrés, se investigaron diferentes fuentes de información con el fin de tener una perspectiva de la realidad social, económica y energética de la isla.

Además, se consultaron diversas fuentes para comprender el tipo y la calidad del recurso eólico que abunda en la isla. Y, en simultáneo, se estudiaron métodos estadísticos como la distribución de densidad de probabilidades de Weibull para el tratamiento y modelización de la velocidad del viento. Este enfoque cualitativo es el cimiento para la selección del aerogenerador que será empleado en el proyecto.

En el análisis económico se emplearon conceptos de matemática financiera con el fin de establecer un primer bosquejo de los costos en que se podría incurrir por la construcción del parque y la operación del mismo. Además de calcular el flujo de caja y las cuantías a pagar como deuda y dividendos cuando el parque esté en marcha.

De forma cuantitativa, también se calcularon las reducciones de emisiones de partículas y, en especial, dióxido de carbono, que se tendrán si el parque eólico efectivamente se construye y entra en operación. Aquí también se tomaron como referencia varias fuentes de información con relaciones numéricas específicas para cuantificar los valores.

Finalmente, y a título más cualitativo se realizó una propuesta de mecanismo para fomentar la participación activa de la comunidad local y los inversionistas locales en la toma de decisiones de los temas más relevantes asociados con el parque. A este respecto, se investigó el método de operación, participación y toma de decisiones de la comunidad mundial bahá'í y se propuso una forma de participación similar.

4. Antecedentes

4.1. Proyectos eólicos en Colombia

Hasta el mes de junio de 2022, en Colombia existen solamente dos parques eólicos en operación. Ambos en la península norte de Colombia, en un departamento llamado La Guajira: El parque *Jepirachi* que entró en operación en 2004 cuenta con 15 aerogeneradores de 1,3 MW que ofrecen conjuntamente una capacidad de generación de 19,5 MW (Empresas Públicas de Medellín - EPM, 2022) y el parque *Guajira I*, que entró en operación en enero de 2022 y que tiene una potencia instalada de 20 MW a razón de 10 aerogeneradores de 2 MW de potencia cada uno (Valora Analitik, 2022).

Actualmente, hay 3 parques eólicos en construcción que se espera entren en operación antes de finalizar el año 2022 (Cano Liébana, 2022), que conjuntamente ofrecerán una capacidad de generación eléctrica de 737 MW: Guajira II, 325 MW; Alpha, 212 MW; y San Martín, 200 MW (BN Americas, 2020). Y además hay 16 parques eólicos más en proceso de ingeniería.

También, el gobierno de Colombia ha preparado el documento “Hoja de ruta para el despliegue de la energía eólica costa afuera en Colombia”, que prevé un potencial eólico de 109 GW de energía eólica off-shore.



Ilustración 1: Datos del parque eólico Guajira I.
Fuente: (Urrego, 2022)

Sin embargo, ninguno de estos proyectos en construcción o los dos que ya están operando tienen un mecanismo que permita la inversión económica por parte de la ciudadanía en los proyectos. Es decir, más allá del pago por el alquiler de las tierras donde se ubican los aerogeneradores y los arreglos con las comunidades indígenas, ningún ciudadano residente en las proximidades de los parques puede participar económicamente en estos proyectos.

5. Contexto local San Andrés Isla, Colombia

5.1. Ubicación geográfica

La isla de San Andrés es una isla perteneciente a la república de Colombia. Hace parte del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. La isla está ubicada a 750 kilómetros del norte continental de Colombia y a 180 kilómetros de la costa este de Nicaragua (Aguilera Díaz, 2008). Tiene una extensión total de 26 kilómetros cuadrados y es la más grande isla de Colombia.

El principal desarrollo inmobiliario de la isla se ha dado en el extremo norte, denominado “North end”, donde se ubican las principales zonas comerciales y administrativas, además de ser el foco principal del desarrollo hotelero. Así mismo, en esta zona se ubica el aeropuerto de San Andrés.

El clima promedio de la isla es cálido, con temperaturas desde los 26°C a los 28°C. Al estar ubicada en una zona tropical, las únicas estaciones del año son la estación seca y la estación lluviosa, la primera suele estar entre los meses de diciembre a abril y la segunda, de mayo a noviembre, siendo octubre el mes con más pluviosidad. Durante la estación seca se presentan los vientos más estables y más altos del año.

En la Ilustración 2 se presenta la ubicación exacta de la isla.

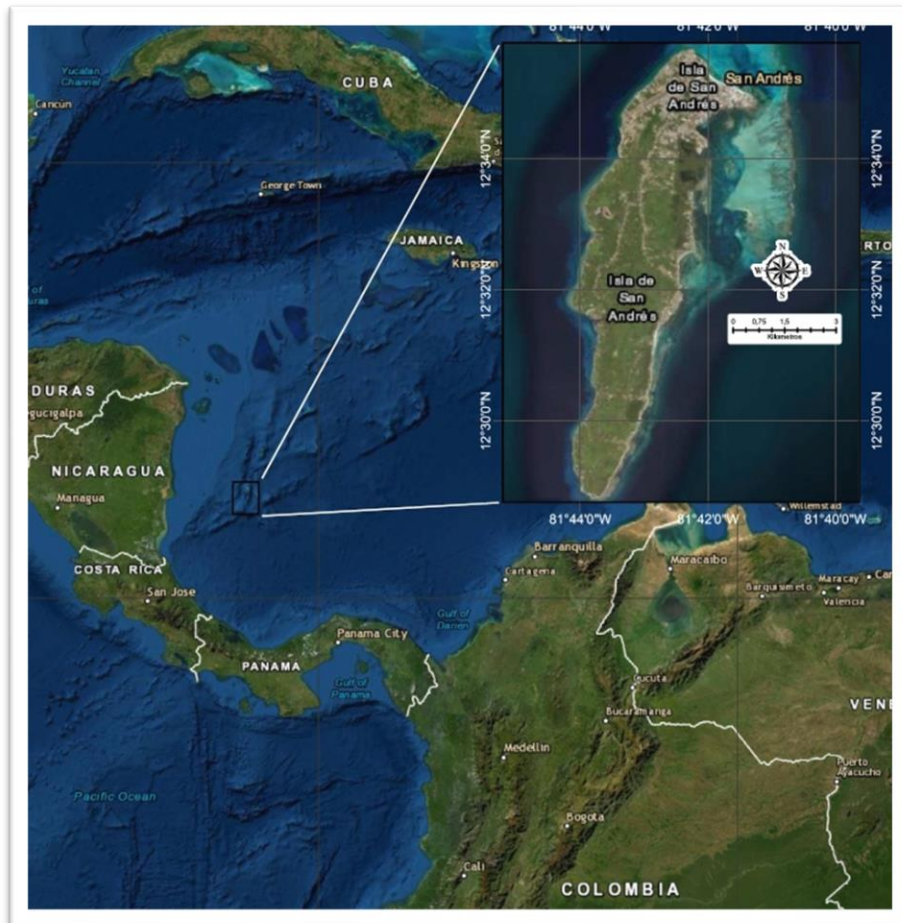


Ilustración 2: Mapa de localización de la isla de San Andrés, Colombia.
Fuente: El autor, 2022.

5.2. Economía y contexto social

San Andrés isla tiene poco más de 55mil habitantes. Su historia ha sido enriquecida por variadas culturas, desde los nativos centroamericanos hasta africanos, ingleses, españoles y holandeses. De aquí que a los originarios de San Andrés se les conozca como “Raizales” y que su lengua principal sea el “criollo san andresano” que tiene una fuerte base del inglés. Su cultura es similar a la de las regiones antillanas como Jamaica o Barbados (Aguilera Díaz, 2008).

La fuente principal de la economía de San Andrés isla es el turismo y el comercio, seguidos en menor medida por la pesca y la agricultura. La isla está declarada como un puerto libre, es decir que no se aplican impuestos a los productos que se producen o se importan. Este hecho ha dado lugar a la migración de no raizales, provenientes principalmente de Colombia continental y ha causado una sobrepoblación en la isla.

Además, este fenómeno de sobrepoblación ha aumentado el número de personas en condición de pobreza y, según los análisis del *Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales* de Colombia (*SISBEN*), más del 80% de la población califica a potencial para recibir subsidios gubernamentales.



*Ilustración 3: Playas de la isla de San Andrés, Colombia.
Fuente: El autor, 2020.*

A pesar de todo, el turismo es el principal referente de la isla de San Andrés. La media de visitantes anuales se sitúa en seiscientos mil, e inclusive ha logrado superar el millón de turistas. Sus principales atractivos son sus playas y cayos que le rodean, además del espíritu caribeño que se evidencia en la gastronomía y en la cultura local.

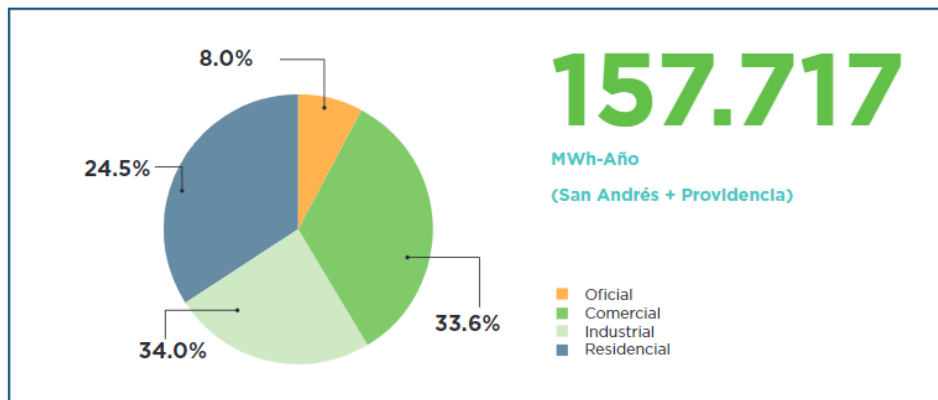
5.3. Realidad energética

La isla de San Andrés hace parte de las *Zonas No Interconectadas* de Colombia (ZNI). Su energía depende casi en su totalidad de combustibles fósiles, específicamente del diésel, lo cual ocasiona grandes emisiones de gases de efecto invernadero –del orden de 134 mil toneladas de CO₂ anuales – y representa una carga fiscal para el gobierno de Colombia ya que existen subsidios para los combustibles empleados en generación eléctrica de las zonas no interconectadas. Aproximadamente, el 40% del dinero alocado para el concepto de subvención a combustibles en ZNI es empleado en San Andrés (Banco Interamericano de Desarrollo , 2016).

Para la generación de energía eléctrica, la isla de San Andrés cuenta con una potencia instalada de 83,6 MW distribuida en 18 unidades que funcionan a partir de diésel marino, el cual es suministrado desde Cartagena, Colombia. La demanda máxima de potencia es de 31,4 MW y la producción de energía ronda los 200 GWh/año. Además, en el año 2013 se calculó que se requirieron alrededor de 12,7 millones de galones de diésel marino para la generación de energía eléctrica (Banco Interamericano de Desarrollo , 2016).

San Andrés también cuenta con una planta de incineración de residuos sólidos urbanos con una capacidad de generación eléctrica de 1,2 MW que a pesar de estar construida no se utiliza (Torres, 2021). Por otro lado, la cobertura de electricidad es cercana al 100%. El sistema de distribución está compuesto por 2 subestaciones eléctricas y 16 circuitos. Si bien se tiene una alta cobertura del sistema eléctrico, el reto en realidad es la calidad y la frecuencia de la energía suministrada, ya que, según un estudio (Mercado Castro, 2016), varios usuarios han reportado daños en sus equipos domésticos debido a inestabilidades de la red eléctrica.

El sistema eléctrico en San Andrés cuenta con cerca de 17 mil usuarios. El 85% de los usuarios son del sector residencial, 13% del sector comercial y 2% del sector hotelero, industrial y oficial. A pesar de esto, los consumos, en el año 2014, están cuasi proporcionalmente repartidos entre los sectores residencial, comercial y hotelero, con valores próximos al 30%, según se evidencia en la Gráfica 1.



Gráfica 1: Distribución del consumo eléctrico por tipo de usuario 2014.
Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo , 2016)

Otro factor importante a resaltar, es que las pérdidas eléctricas del sistema son bastante altas. En el año 2010 estas pérdidas fueron cercanas al 24%. Es por esta razón que la generación eléctrica es cercana a 200 GWh/año, pero la energía facturable está entre los 155-165 GWh/año (Banco Interamericano de Desarrollo , 2016).

6. Procedimiento

6.1. Selección de la Ubicación del Aerogenerador

Como primera medida se buscó en *Google Earth* zonas rurales alejadas del perímetro urbano y hotelero de la isla. También se buscaron zonas hacia el interior de la isla donde se encuentran las zonas más altas y en donde la rugosidad del terreno es más óptima. Se revisaron también diversos atlas de viento, los cuales sugieren que en toda la isla existe un buen recurso eólico.

Posteriormente, se investigaron las fuentes públicas de información asociadas a la prediación de la isla de San Andrés en el geo-portal del *Instituto Geográfico Agustín Codazzi* - IGAC (Entidad del gobierno colombiano encargada de los temas prediales) encontrando que en la parte de mayor interés de la isla hay una restricción de acceso a la información, probablemente por medidas de seguridad del ministerio de defensa de Colombia. Por esta razón no se pudo obtener información detallada de cuántos predios podrían verse afectados y el estado jurídico de su titularidad.

También se revisaron determinados criterios ambientales, como reservas forestales, áreas protegidas y cuerpos de agua. De esta revisión se encontró que no existe ninguna limitación ambiental que impida el desarrollo del proyecto eólico en la isla.

En la Ilustración 4 se evidencia en el polígono amarillo el área potencial delimitada para la instalación del parque eólico, teniendo en cuenta las diversas variables mencionadas anteriormente. Nótese también la falta de información predial en la zona centro-sur de la isla.



Ilustración 4: Prediación, restricciones y zona potencial para instalación del aerogenerador.

Fuente: El autor, 2022.

Dada la falta de información predial, se priorizó la variable del relieve, la distancia a edificaciones y la distancia a la subestación eléctrica para la determinación del lugar de emplazamiento del aerogenerador. En la Ilustración 5 se puede ver la ubicación elegida para el aerogenerador¹, así como su radio de seguridad que se establecerá a 300 metros a la redonda. También se presenta un perfil de elevación, en donde se puede ver que el aerogenerador se ubica en una de las zonas más altas de la isla, a una altitud de 64 metros.

Otro factor que motivó la ubicación del aerogenerador en este punto es el potencial fácil acceso que se puede proveer, ya que, a menos de 500 metros hacia el norte de la ubicación propuesta, ya existe una carretera que, en dado caso de seguir adelante con el proyecto, solamente habría que extender y esto ayudaría en la reducción de costes de la inversión inicial.

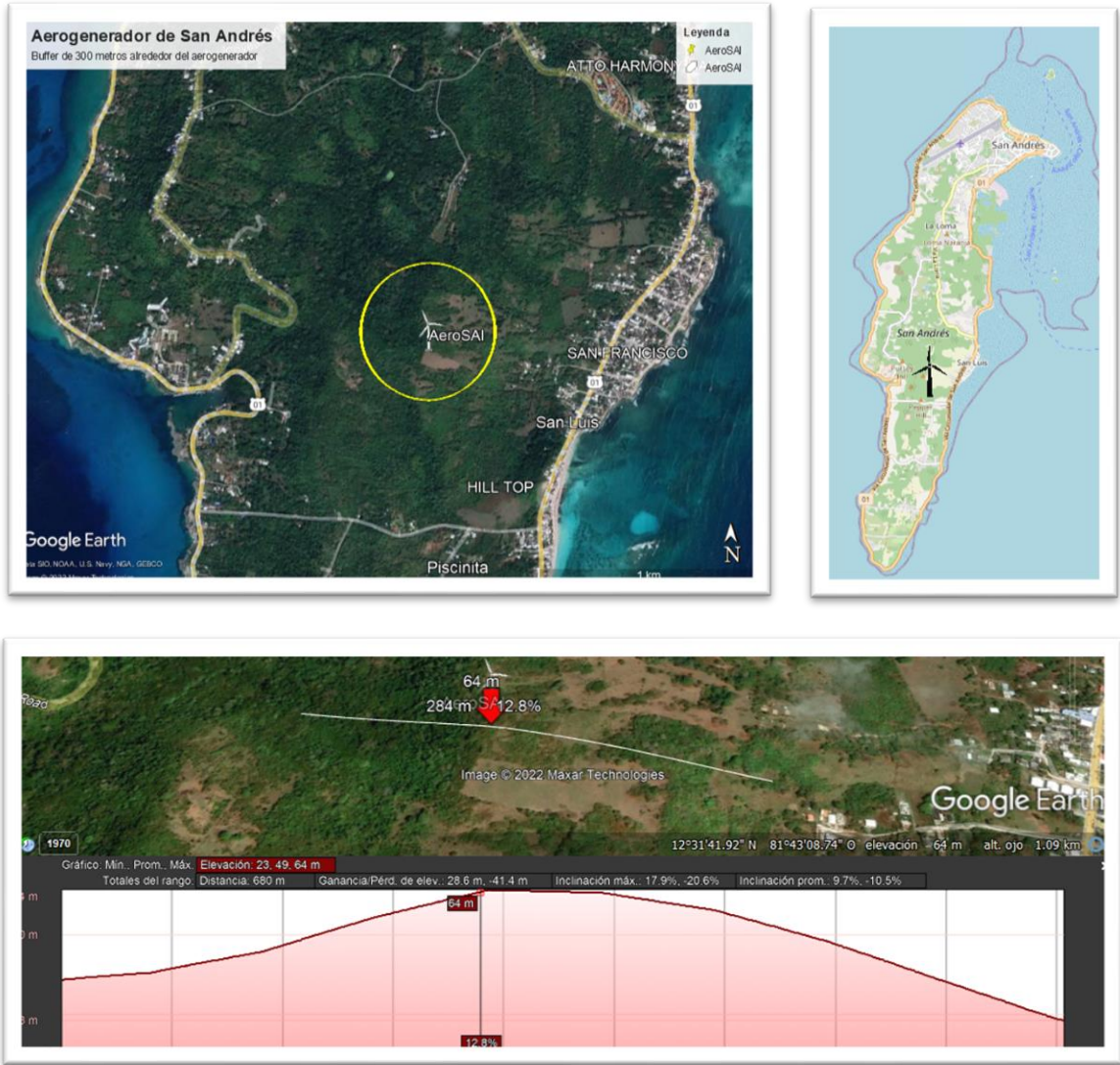


Ilustración 5: Ubicación seleccionada para el aerogenerador y perfil de elevación.
Fuente: El autor, 2022.

¹ Véase el anexo III, IV y V para observar en mayor detalle las salidas gráficas.

6.2. Análisis del viento

Se consultaron las fuentes meteorológicas instaladas en la isla de San Andrés por el *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM*, sin embargo, se encontró que no tienen información o que esta no está disponible al público. Es decir que no se tienen series de viento multianuales como insumo de partida por lo que no se podrán realizar análisis estadísticos detallados y caracterizaciones del comportamiento del recurso eólico en la isla y se deberá trabajar solamente con datos puntuales.

De acuerdo a varios atlas de viento, la velocidad promedio anual a 10 metros de altura oscila entre los 4 m/s y los 6 m/s. Según el sitio web *Global Wind Atlas*, el cual es auspiciado por el *Banco Mundial*, la velocidad media anual del viento en la isla de San Andrés puede llegar a ser de 4,67 m/s en las zonas de mayor viento y a 10 metros de altura, según se observa en la Ilustración 6.

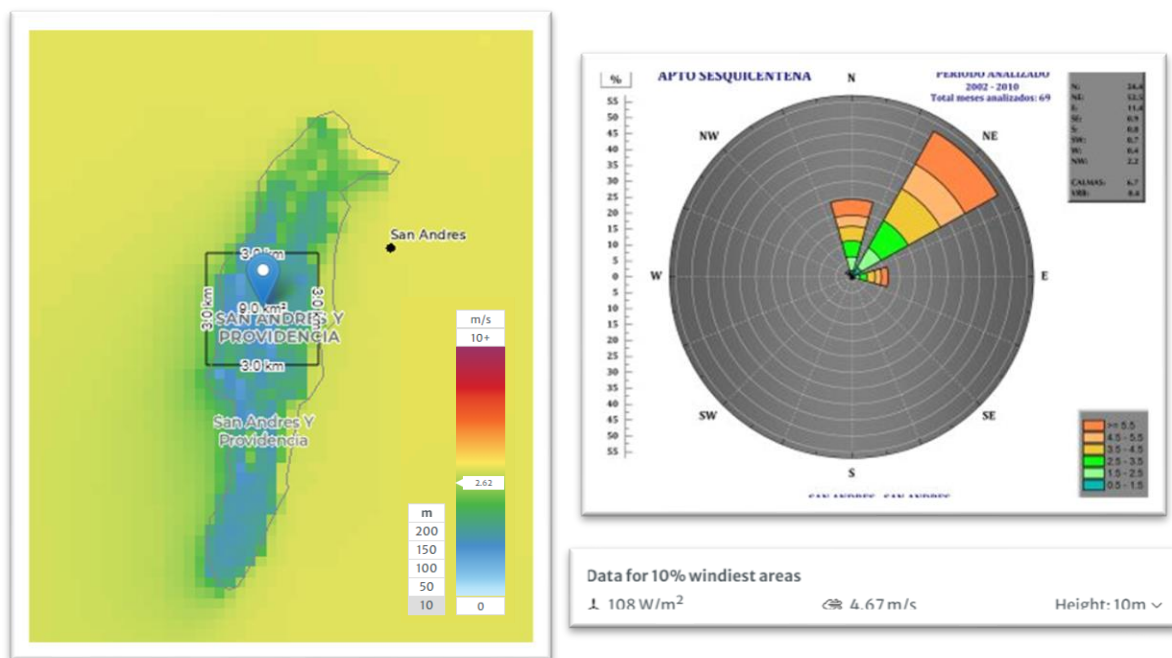
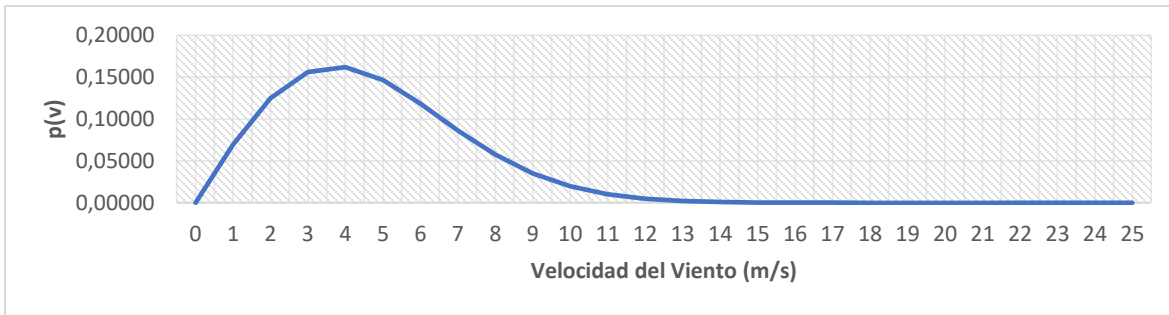


Ilustración 6: Mapa de velocidad del viento y Rosa de vientos de San Andrés Isla.
Fuente: (Global Wind Atlas, 2022) e (IDEAM, 2012-2022).

Según el IDEAM, el recurso eólico suele venir en la misma dirección durante todo el año, como se aprecia en la Ilustración 6. Más de un 50% del tiempo, el viento viene en dirección Noreste, un 35% del tiempo viene en dirección Norte, y un 11% viene en dirección Este. Este hecho representa una ventaja ya que, al moverse principalmente en los mismos cuadrantes durante todo el año, se puede planificar mejor el diseño específico del aerogenerador.

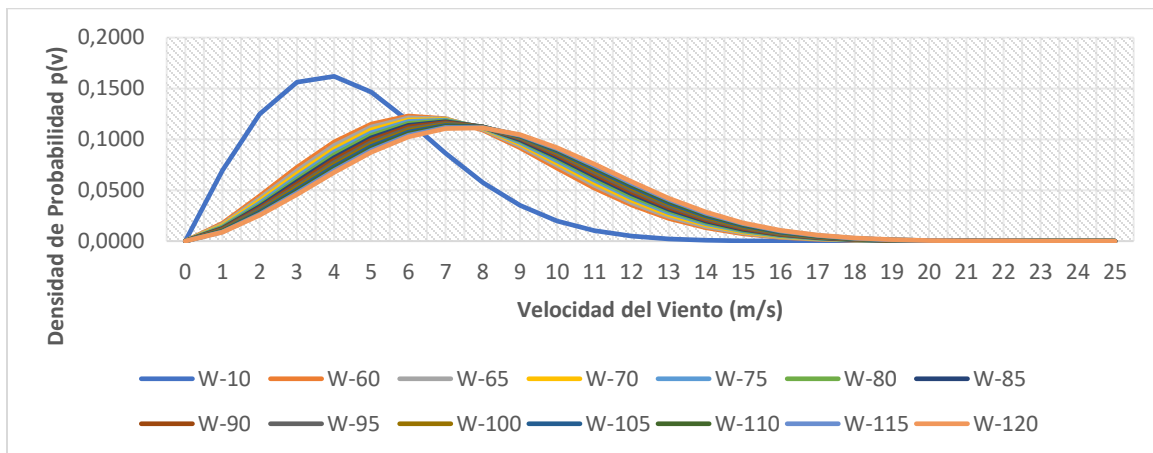
A partir del promedio de viento anual de la isla de San Andrés, que se tomó de acuerdo a las estimaciones del *Global Wind Atlas* en 4,67 m/s a 10 metros de altura y asumiendo un parámetro k igual a 2, es decir, una distribución de Rayleigh², es posible obtener una modelización estimada del comportamiento del recurso eólico a dicha altura.

² Véase [Anexo I](#), en donde se explica la distribución de Weibull y Rayleigh.



Gráfica 2: Distribución de Rayleigh a 10 m de altura en San Andrés Isla.
Fuente: El autor, 2022.

Posteriormente se procedió a extrapolar la distribución del comportamiento del viento a diferentes alturas³. Esto da una medida aproximada del recurso eólico esperado a la altura del buje del aerogenerador. En la Gráfica 3 se puede comparar la distribución de Weibull a cada una de las diferentes alturas propuestas, desde los 60 a los 120 metros en saltos de 5 metros.



Gráfica 3: Distribuciones de Weibull a diferentes alturas, San Andrés Isla.
Fuente: El autor, 2022.

Como bien se puede apreciar en la Gráfica 3, la densidad de probabilidades de encontrar una frecuencia de vientos más altos ha aumentado y consiguiente ha aumentado la velocidad media anual que se ubica desde los 7,10 m/s a 60 metros de altura hasta los 8,16 m/s a 120 metros de altura.

A una altura arbitraria de 90 metros de altura de buje, el recurso eólico presenta una moda de la velocidad del viento de 7,00 m/s, una velocidad promedio anual de 7,64 m/s y una densidad de potencial eólico⁴ aproximada de 409 W/m².

De acuerdo con lo estipulado en la norma IEC 61400-1 relativa a los sistemas de generación de energía eólica, las características del viento en la isla de San Andrés, a una altura de 90 metros, lo clasifican en viento tipo III.

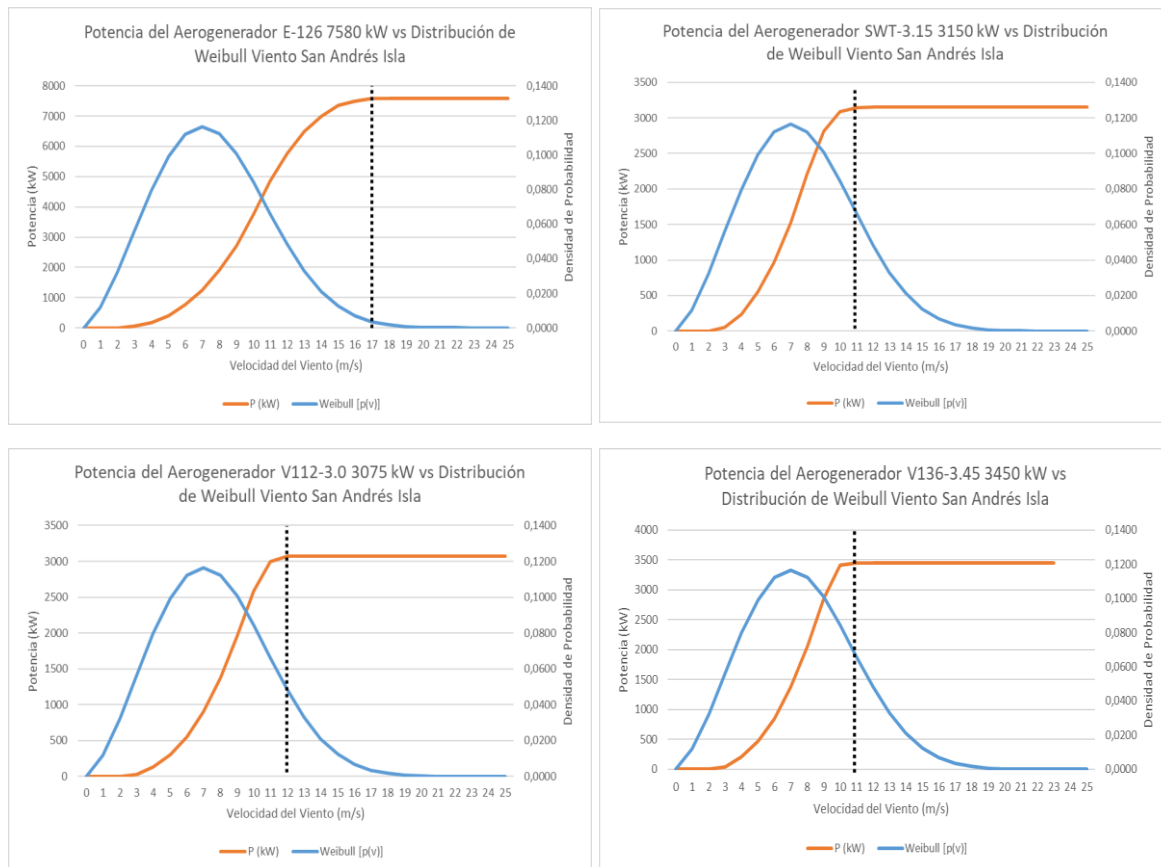
³ Véase el [anexo I](#) y el anexo VI para ampliar el detalle de los cálculos efectuados.

⁴ Ibidem.

6.3. Selección del aerogenerador

Dada la modelización del viento con su respectiva distribución de Weibull a una altura arbitraria de 90 metros de altura, se procedió a comparar diferentes tipos de aerogeneradores. Debe destacarse que los fabricantes de aerogeneradores no comparten públicamente el detalle del funcionamiento de sus aerogeneradores, por ende, en las hojas de datos no se encuentra el detalle de la curva de potencia. Sin embargo, para la comparativa se emplearon modelos de aerogeneradores en funcionamiento en diferentes lugares del mundo obteniendo los datos de la página web “wind-turbine-models.com”.

En la Gráfica 4 se presentan las gráficas de la curva de potencia de 4 aerogeneradores contrastadas con la distribución de Weibull del viento a una altura de 90 metros en la isla de San Andrés.



Gráfica 4: Representaciones de la curva de potencia vs la distribución de Weibull a 90 metros para 4 aerogeneradores. Fuente: El autor, 2022.

Como se puede apreciar en la Gráfica 4, 3 de los aerogeneradores –SWT-3.15 (Siemens), V112-3.0 (Vestas) y V136-3.45 (Vestas)– tienen un comportamiento bastante similar, llegando a la velocidad nominal cerca de los 11 m/s y trabajando a la potencia nominal en una porción considerable de la distribución de Weibull. El aerogenerador E-126 (Enercon) de 7,58 MW de potencia nominal tiene un comportamiento completamente diferente a los demás ya que alcanza su potencia nominal a los 17 m/s y por ende no aprovecha la mayor parte de la distribución de vientos de la zona.

En la Tabla 1, se presenta un resumen de los datos más relevantes para la comparativa de los aerogeneradores.

Tabla 1: Comparativa de los 4 aerogeneradores

	Potencia Nominal (MW)	Potencia media de funcionamiento (kW)	Energía producida anualmente (GWh)	Potencia eólica media disponible a 90 m (Pd) [kW]	η_{EST}	Factor de Carga
Enercon	7,58	2244,75	19,66	5181,14	43%	30%
Siemens	3,15	1766,37	15,47	6473,97	27%	56%
Vestas 112	3,08	1372,21	12,02	4029,41	34%	45%
Vestas 136	3,45	1799,25	15,76	5941,46	30%	52%

Fuente: El autor, 2022.

Según la información presentada en la Tabla 1, el aerogenerador V-136 de la empresa Vestas tiene el balance más adecuado entre el rendimiento estacional, el factor de carga y la producción energética anual. Por estos motivos, el aerogenerador que se propone para el proyecto de generación de energía eólica en la isla de San Andrés es el Vestas V-136 de 3450 kW de potencia nominal.



Ilustración 7: Aerogenerador Vestas V-136 de 3,45 MW.
Fuente: (Wind Turbine Models, 2022)

Debido a que la comparativa entre aerogeneradores se realizó a una altura arbitraria de 90 metros, pero la altura de buje del aerogenerador propuesto V-136, según las especificaciones del fabricante, puede ser de 82/112/132/149 metros (Wind Turbine Models, 2022), se realizaron los cálculos a estas alturas, obteniendo la información presentada en la Tabla 2.

Tabla 2: Comparativa del aerogenerador V-136 a diferentes alturas de buje.

Altura (m)	Potencia Nominal (MW)	Potencia media de funcionamiento (kW)	Energía producida anualmente (GWh)	Potencia eólica media anual disponible (P_d) [kW]	η_{EST}	Factor de Carga	Costo
82	3,45	1.726,02	15,12	5.543,90	31%	50%	+
112	3,45	1925,05	16,86	6685,34	29%	56%	++
132	3,45	2030,11	17,78	7374,50	28%	59%	+++
149	3,45	2119,81	18,57	8020,17	26%	61%	++++

Fuente: El autor, 2022.

Como se puede evidenciar en la Tabla 2, al incrementar la altura varios parámetros aumentan, como por ejemplo el factor de carga, la potencia media de funcionamiento y la energía que se puede producir, pero los costos de construcción también aumentan y el rendimiento estacional disminuye. Por estos motivos, y con el fin de disminuir el coste se propone emplear la altura de 82 metros para el aerogenerador Vestas V-136.

Empleando el aerogenerador Vestas V-136 de 3,45 MW a una altura de 82 metros se estima que se podría producir anualmente 15,12 GWh de energía, con la cual se podría satisfacer el equivalente al consumo de aproximadamente 8 mil hogares en la isla de San Andrés⁵.

Los datos de funcionamiento más relevantes del aerogenerador Vestas V-136 se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Datos de funcionamiento aerogenerador Vestas V-136.

Diámetro del Rotor (m)	Área de Barrido (m ²)	Potencia Nominal (kW)	Velocidad de Arranque (m/s)	Velocidad nominal del viento (m/s)	Velocidad de corte (m/s)	Voltaje (V)	Vida útil (años)
136	14527	3450	3	11	22,5	690	25 - 30

Fuente: El autor, 2022.

⁵ Tomando en cuenta las estimaciones de consumo de la *Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia* - UPME de un hogar promedio en Colombia (UPME, 2019).

7. Análisis económico

7.1. Capex y Opex⁶

Para poder estimar los costes de construcción del proyecto eólico en la isla de San Andrés, primero se estimó el costo unitario (USD/kW instalado) que podría tener el parque. Para ello, se tomó el promedio entre dos fuentes de información: el proyecto eólico más reciente construido en Colombia, llamado *Guajira I* de la compañía colombiana *Isagen* (Valora Analitik, 2022) y; la información estadística más reciente de la *Agencia Internacional de la Energía Renovable* (IRENA, 2021). El primero mencionado tuvo un costo aproximado de 1.142 USD/kW y el segundo un promedio mundial de 1.355 USD/kW. El promedio entre estos dos es de 1.248 USD/kW, valor que será empleado como base de la estimación de costos del proyecto. Al multiplicar la potencia nominal del aerogenerador seleccionado –3.450 kW– por el costo unitario –1.248 USD/kW– se obtiene el costo total del proyecto, el cual es de \$4.307.753 dólares.

Posteriormente, para calcular el detalle de los costos de inversión inicial se tomó como referencia los componentes principales que el *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España* - IDAE presenta en el documento “*Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables*” (IDAE, 2011) y se calcularon los pesos porcentuales de cada componente. Estos son: Aerogenerador, 67%; Instalación eléctrica, 5%; Subestación y conexión eléctrica, 18%; Obra civil e ingeniería, 8%; Promoción, 2%.

Al multiplicar los porcentajes anteriores por el costo total del proyecto se obtienen los valores presentados en la Tabla 4.

Tabla 4: Capex proyecto eólico San Andrés Isla.

Concepto	Millones (USD)	Peso porcentual (%)
Aerogenerador	2,89	67%
Equipos eléctricos	0,22	5%
Obra Civil	0,34	8%
Línea eléctrica y Subestación	0,78	18%
Promoción y otros	0,09	2%
Total	4,31	100%
Inversión Unitaria (USD/kW)	1.248,62	

Fuente: El autor, 2022.

Según los datos de la Tabla 4, el aerogenerador podría llegar a tener un costo de 2,89 millones de dólares, que al dividirlo entre la potencia nominal de la turbina arroja un valor de 837 USD/kW. Este valor resulta bastante razonable teniendo en cuenta que la IRENA calculó que los precios promedios

⁶ Capital expenditure (Capex) - Operational expenditures (Opex). Véase [anexo I](#), en dónde se explica el concepto de Capex y Opex.

de los aerogeneradores durante el año 2020 se ubicaban entre los 700 USD/kW a los 910 USD/kW (IRENA, 2021).

De forma similar a la estimación del coste de inversión inicial se calcularon los costos de explotación anual, Opex. Para el costo unitario de explotación (USD/kWh) se tomó como base el promedio entre el LCOE reportado por la IRENA para el año 2020 (IRENA, 2021), estimado en 0,039 USD/kWh y el coste de explotación para un proyecto eólico según el documento del IDAE (IDAE, 2011), ajustado a la potencia del aerogenerador, estimado en 0,013 USD/kWh. Este promedio da como resultado 0,026 USD/kWh.

También, se tomaron los componentes y porcentajes derivados del documento “Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables” del IDAE obteniendo lo presentado en la Tabla 5.

Tabla 5: Opex proyecto eólico San Andrés Isla.

Concepto	Millones (USD)	Peso porcentual (%)
O&M Aerogenerador	0,22	57%
O&M Instalación eléctrica	0,01	2%
Alquiler Tierras	0,07	19%
Seguros	0,01	2%
Tasas y otros	0,01	2%
Gastos administrativos	0,07	19%
Total	0,40	1,00
Coste de explotación (\$/kWh)	0,026	
Coste de explotación (centavos \$/kWh)	2,62	

Fuente: El autor, 2022.

Como se puede evidenciar en la Tabla 5, el valor total de la explotación durante un año de operación puede rondar los 400 mil dólares, exactamente la cifra calculada es de \$395.406,91 dólares. Siendo el gasto más importante la operación y mantenimiento del aerogenerador estimada en poco más de 220 mil dólares, seguido por el alquiler de tierras y los gastos administrativos estimados cada uno en poco más de 70 mil dólares.

7.2. Financiación del proyecto

La propuesta de financiación del proyecto eólico en San Andrés Isla es una combinación de métodos financieros impulsada por el espíritu colaborativo y cooperativo, el beneficio compartido y sobre todo el florecimiento de la economía local.

Tabla 6: Mecanismos y porcentajes de financiación del proyecto eólico en San Andrés Isla.

Cantidad (USD)	% del costo total	Método de Financiación	Numero de Involucrados
\$ 1.292.325,81	30%	Crowdfunding	2.500-3.000
\$ 2.153.876,35	50%	Préstamo Bancario	1
\$ 861.550,54	20%	Inversión - Participación Ciudadana	1.000-2.000
\$ 4.307.752,70	100%		

Fuente: El autor, 2022.

Para recaudar los 4,31 millones de dólares que se estima costará el proyecto eólico, según evidencia en la Tabla 6, la mitad, se financiará de forma tradicional mediante un préstamo bancario. Al ser este un proyecto de energía renovable y dado el alto interés mundial en la transición energética, es altamente probable que este préstamo se pueda conseguir fácilmente y a una tasa de interés viable. Según el Banco Mundial, la tasa de interés ofrecida a Colombia es de poco menos del 10% TAE. Según el mismo ente, se puede pactar un periodo de gracia de 5 años, es decir, los primeros años de operación no se pagaría nada de la deuda ni de los intereses (Banco Mundial, 2021).

Si bien el préstamo no se realizaría con el banco mundial ya que el monto es muy pequeño en comparación con los montos que este banco usualmente otorga, se han aplicado unas condiciones del préstamo muy similares al modelo de financiación propuesto, a diferencia de que se propone una tasa de 15% TAE por 15 años, para hacerlo más llamativo para cualquier banco y en vista de que se está solicitando un periodo de gracia de 5 años.

Por otro lado, un 30% de la cantidad total, según la Tabla 6, se recogerá mediante el mecanismo de *Crowdfunding* o *financiación colectiva*. La propuesta consiste en emplear la plataforma de crowdfunding creada por la *Bolsa de Valores de Colombia: A2censo* para permitir a cualquier colombiano invertir en el proyecto eólico. Hasta el momento, mediante esta plataforma se han financiado de forma exitosa más de 100 campañas, y los proyectos de mayor envergadura financiados rondan el millón de dólares con una participación de aproximadamente 2.000 inversionistas individuales (A2censo, 2022). En la Ilustración 8 se presenta la vista de la página principal de la web de la plataforma [A2censo](#).



Ilustración 8: Página principal de la web de A2censo.
Fuente: (A2censo, 2022)

Comúnmente, lo más ofrecido en la plataforma de A2censo, son proyectos al 10% de interés efectivo anual fijo por periodos de 3 años. Sin embargo, para este proyecto eólico se ofrecerá una tasa de interés del 12% TAE ya que la duración deberá ser mayor, de 5 años. Es decir, al final de cada año natural se pagará a los inversionistas una quinta parte del monto prestado más los respectivos intereses.

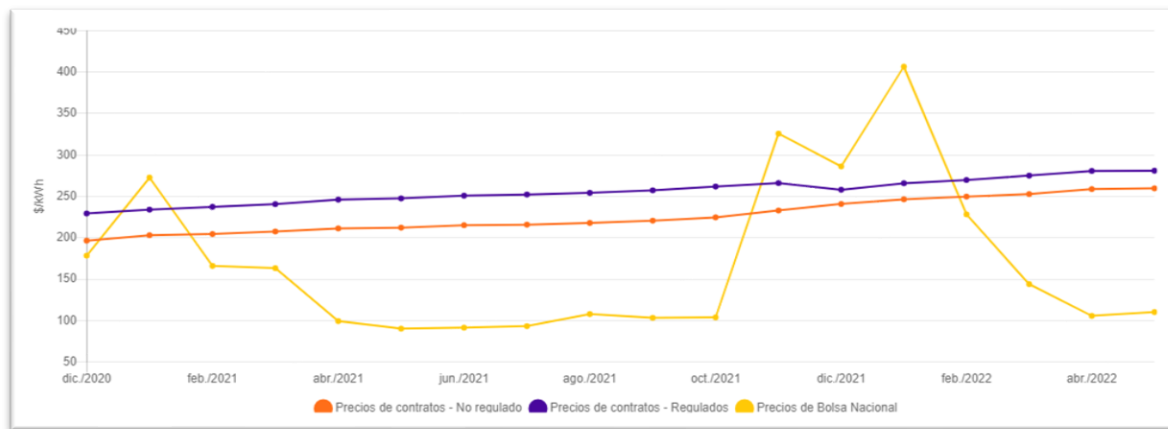
El 20% restante, según la Tabla 6, será recaudado mediante el mecanismo de inversión directa mediante la participación ciudadana. La idea es que la comunidad local de la isla de San Andrés, o del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina puedan participar como inversionistas del proyecto de generación eólica. La propuesta es que, por su inversión, los accionistas puedan recibir un 50% de las utilidades durante la plena duración del proyecto.

Se propone que, para este 20% que corresponde a inversión directa de la comunidad local, se creen 2.000 "acciones". El valor de cada acción será el del equivalente en pesos colombianos de 430,78 dólares. Por lo tanto, la unidad mínima de participación será de 1 acción y, por ende, el número máximo de inversionistas será de 2.000.

También, para asegurar una amplia participación ciudadana se pueden establecer parámetros adicionales, por ejemplo, que un mismo inversionista no puede hacerse con más de 100 acciones que equivalen a un 5% de la totalidad de acciones abiertas al público. También para proteger al proyecto y a los inversionistas se puede establecer que por un periodo de al menos 5 años no puedan ser transferibles las acciones, entre otras medidas que podrán definirse posteriormente.

7.3. Precio de venta de la energía

En Colombia, al igual que en la mayor parte de países del mundo, el precio de la energía varía constantemente. Al cotizar en bolsa, el precio varía diariamente, por lo que las empresas de generación y comercialización de energía generalmente prefieren no exponerse a las variaciones del mercado diario y pactar contratos a mediano o largo plazo. En la Gráfica 5 de XM – el administrador del mercado mayorista de la energía en Colombia –, se evidencia en la línea amarilla las fuertes variaciones del precio de la energía en la bolsa de valores, mientras que en las líneas más estables de color púrpura y naranja están los precios de los contratos regulados y no regulados (XM, 2022).



Gráfica 5: Cotización del precio de la energía en Colombia.
Fuente: (XM, 2022)

De acuerdo a la Gráfica 5, para el mes de mayo de 2022, el valor de los contratos no regulados se situó en 259,84 COP/kWh, lo que equivale a 0,0683 USD/kWh según la tasa de cambio para la misma fecha.

Ahora bien, estos valores presentados aplican para el sistema interconectado nacional, pero como el proyecto eólico está situado en una zona no interconectada del país, el comportamiento de los precios es similar, pero tiende a valores mayores.

Otra herramienta para calcular el precio unitario de venta de la electricidad es compararlo con el costo actual del sistema eléctrico que tiene la isla. De acuerdo con el capítulo [5.3 Realidad Energética](#), la isla cuenta con 18 unidades que funcionan a partir de diésel marino. Para producir los 200 GWh de energía anual que demanda la isla, su consumo de diésel es de 12,7 millones de galones (Banco Interamericano de Desarrollo , 2016).

A partir de aquí se puede calcular la cantidad de galones de diésel necesarios para producir un kWh de electricidad. Esta relación es de 0,064 galones diésel marino/kWh. Por otro lado, según la empresa *Ecopetrol* – quien es la empresa encargada de suministrar de diésel a la isla de San Andrés y a las otras zonas no interconectadas del país –, a fecha de mayo de 2022, el precio del galón de diésel marino es de 5.086,62 pesos colombianos (Ecopetrol, 2022). De aquí se obtiene que, en mayo de 2022, el precio de la materia prima para producir cada kWh de energía fue de 323 pesos

colombianos, lo que equivale a 0,085 USD/kWh según la tasa de cambio de la misma fecha. A este valor habrá que añadirle el costo de operación de las centrales de generación.

Para que el proyecto eólico sea competitivo respecto al sistema actual, el costo de venta de la energía debe ser igual o inferior al costo de generación actual. Pero también se debe considerar que el precio del diésel marino varía constantemente y por ende el costo de generación actual también está fluctuando constantemente.

En función de todos los factores expresados anteriormente, los cálculos se efectuarán tomando como referencia un precio de venta unitario de la energía de 270 pesos colombianos, lo que equivale a 0,0711 USD/kWh. Este valor es ligeramente superior que el precio de los contratos no regulados en el mercado mayorista de Colombia e inferior al precio unitario del diésel marino. En el capítulo [7.6 Análisis de sensibilidad](#) se presenta un análisis de sensibilidad al precio de venta de la energía.

7.4. Estimación del flujo de caja del proyecto

Para hacer el cálculo estimativo del flujo de caja del proyecto eólico a lo largo de los 25 años de vida útil del aerogenerador, es necesario calcular la producción energética anual, los ingresos brutos por concepto de venta de la energía y el costo operacional anual.

Se espera que el aerogenerador produzca 15.119.970 kWh cada año, según los cálculos de la *Tabla 2: Comparativa del aerogenerador V-136 a diferentes alturas de buje*. El precio al que se podría vender la energía es de 270 pesos colombianos por kWh, o lo que es equivalente 0,0711 dólares por kWh. También, al cerrar el año 2021, la inflación en Colombia se situó en 5,62% (Reuters, 2022). Y, para efectos de cálculo de los valores mostrados en la Tabla 7, se consideró un incremento anual del precio de la energía del 3%.

Para calcular los ingresos brutos por venta de la energía (columna 3 de la Tabla 7), se multiplicó la energía producida anualmente (15.119.970 kWh) por el precio unitario (0,0711 USD/kWh) por el incremento anual (3%). De forma similar se calcularon los costos de la explotación (columna 4 de la Tabla 7), multiplicando la energía producida anualmente (15.119.970 kWh) por el costo unitario de explotación (0,026 USD/kWh) por el incremento anual (3%). La resta entre estos dos valores da como resultado los ingresos netos (columna 5 de la Tabla 7).

Como se puede apreciar, hay un incremento constante en estos 3 conceptos a medida que pasan los años. Esto se debe al efecto del interés compuesto, que como se ha mencionado anteriormente, se establece en 3%.

Sin embargo, la medida real de la viabilidad económica del proyecto la da el Valor Actual Neto⁷ (columna 6 de la Tabla 7), que disminuye al pasar los años a razón del efecto de la inflación de la economía colombiana que empezando el 2022 fue de 5,62%. Pero el valor final del VAN, es decir la sumatoria de todos los ingresos anuales y descontando la inversión inicial da un valor positivo de 8,1 millones de dólares. Así mismo, para este VAN, la Tasa Interna de Retorno-TIR es de 12,5%, y la

⁷ Véase [anexo I](#), en dónde se explican los conceptos de VAN y TIR.

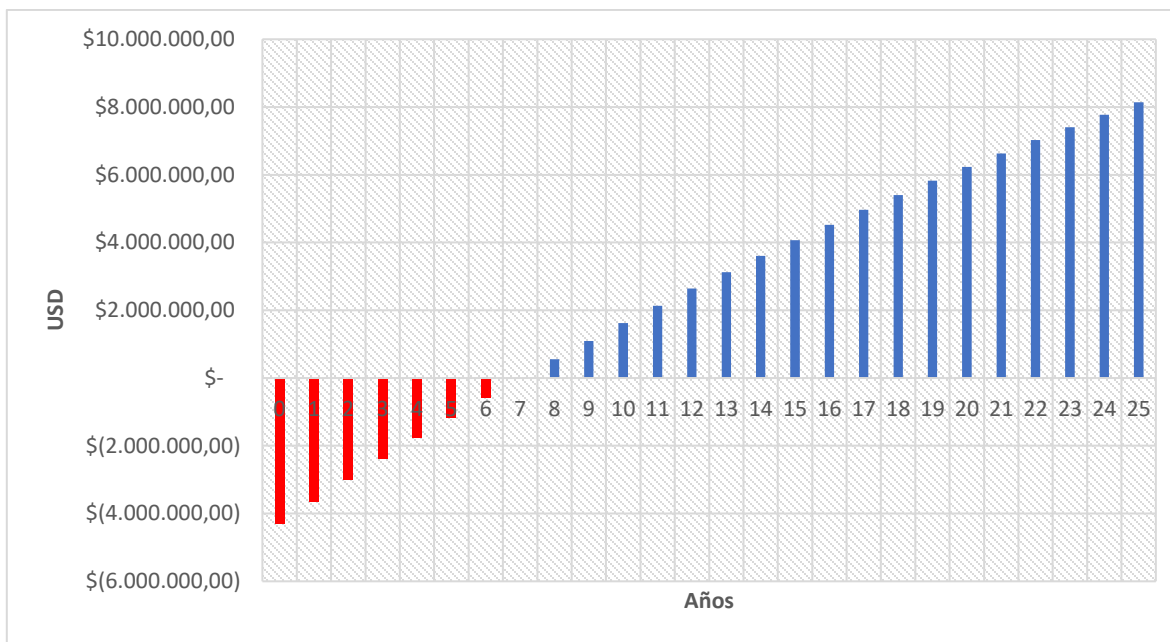
rentabilidad del primer año de operación es de 15,4%. Por lo que, en definitiva, el proyecto es viable económicamente.

Tabla 7: Flujo de Caja del proyecto eólico de San Andrés Isla.

Año	Producción Energética Anual (MWh)	Ingresos Brutos por venta de la energía (\$ USD)	Costos de la explotación (\$ USD)	Ingresos Netos (\$ USD)	Valor Actual Neto (VAN) (\$ USD)
0	0	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 4.307.752,70
1	15.119,97	\$ 1.106.543,05	\$ 407.269,12	\$ 699.273,93	\$ 662.065,83
2	15.119,97	\$ 1.139.739,35	\$ 419.487,19	\$ 720.252,15	\$ 645.642,69
3	15.119,97	\$ 1.173.931,53	\$ 432.071,81	\$ 741.859,72	\$ 629.626,94
4	15.119,97	\$ 1.209.149,47	\$ 445.033,96	\$ 764.115,51	\$ 614.008,47
5	15.119,97	\$ 1.245.423,96	\$ 458.384,98	\$ 787.038,97	\$ 598.777,43
6	15.119,97	\$ 1.282.786,67	\$ 472.136,53	\$ 810.650,14	\$ 583.924,21
7	15.119,97	\$ 1.321.270,27	\$ 486.300,63	\$ 834.969,65	\$ 569.439,44
8	15.119,97	\$ 1.360.908,38	\$ 500.889,65	\$ 860.018,74	\$ 555.313,98
9	15.119,97	\$ 1.401.735,63	\$ 515.916,33	\$ 885.819,30	\$ 541.538,91
10	15.119,97	\$ 1.443.787,70	\$ 531.393,82	\$ 912.393,88	\$ 528.105,55
11	15.119,97	\$ 1.487.101,33	\$ 547.335,64	\$ 939.765,69	\$ 515.005,41
12	15.119,97	\$ 1.531.714,37	\$ 563.755,71	\$ 967.958,67	\$ 502.230,24
13	15.119,97	\$ 1.577.665,81	\$ 580.668,38	\$ 996.997,43	\$ 489.771,96
14	15.119,97	\$ 1.624.995,78	\$ 598.088,43	\$ 1.026.907,35	\$ 477.622,72
15	15.119,97	\$ 1.673.745,65	\$ 616.031,08	\$ 1.057.714,57	\$ 465.774,85
16	15.119,97	\$ 1.723.958,02	\$ 634.512,02	\$ 1.089.446,01	\$ 454.220,89
17	15.119,97	\$ 1.775.676,76	\$ 653.547,38	\$ 1.122.129,39	\$ 442.953,52
18	15.119,97	\$ 1.828.947,07	\$ 673.153,80	\$ 1.155.793,27	\$ 431.965,66
19	15.119,97	\$ 1.883.815,48	\$ 693.348,41	\$ 1.190.467,07	\$ 421.250,36
20	15.119,97	\$ 1.940.329,94	\$ 714.148,86	\$ 1.226.181,08	\$ 410.800,86
21	15.119,97	\$ 1.998.539,84	\$ 735.573,33	\$ 1.262.966,51	\$ 400.610,57
22	15.119,97	\$ 2.058.496,04	\$ 757.640,53	\$ 1.300.855,51	\$ 390.673,07
23	15.119,97	\$ 2.120.250,92	\$ 780.369,75	\$ 1.339.881,17	\$ 380.982,06
24	15.119,97	\$ 2.183.858,44	\$ 803.780,84	\$ 1.380.077,61	\$ 371.531,46
25	15.119,97	\$ 2.249.374,20	\$ 827.894,26	\$ 1.421.479,93	\$ 362.315,28
	377.999,25	\$ 40.343.745,67	\$ 14.848.732,44	\$ 25.495.013,23	\$ 8.138.399,69

Fuente: El autor, 2022.

En la Gráfica 6, se evidencia la evolución de la inversión en el proyecto eólico de San Andrés Isla. Esta se calculó partiendo de la inversión inicial y haciendo descuentos anuales de acuerdo a los ingresos que se presentan en la columna 6 de la Tabla 7 (VAN). Según se puede ver en la Gráfica 6, la totalidad de la inversión en el proyecto retorna durante el séptimo (7) año de operación del aerogenerador. Esto bajo los parámetros de incrementos anuales, inflación y precio de la energía establecidos anteriormente.



Gráfica 6: Evolución de la inversión y payback del proyecto eólico de San Andrés Isla.
Fuente: El autor, 2022.

7.5. Pagos y Dividendos

Como se explicó en el capítulo [7.2 Financiación del Proyecto](#), el proyecto tendrá tres formas de financiación: un préstamo bancario ordinario por el 50%, financiación colectiva por el 30% e inversión directa de la comunidad local por el 20%. Los préstamos, que sumados totalizan el 80% de la financiación, serán pagos a tasa de interés fija.

A los prestamistas de la financiación colectiva, en conjunto, se les realizarán cinco (5) pagos anuales de \$413.544,26 dólares (véase Tabla 8, columna 3, años 1 a 5), que totalizan \$2.067.721,30 dólares. Su préstamo inicial fue de \$1.292.325,81 dólares. El VAN para ellos es de \$467.829,76 dólares y la TIR es de 11,8%. De manera que financieramente es rentable para estos inversionistas.

Al banco, se le realizarán quince (15) pagos de \$466.673,21 dólares (véase Tabla 8, columna 3, años 6 a 20), que totalizan \$7.000.098,14 dólares. Su préstamo inicial fue de \$2.153.876,35 dólares. El VAN es de \$1.381.655,31 y la TIR es de 8,2%. De forma que también es un préstamo rentable para el banco.

Para los inversionistas de la comunidad local, la ganancia será el 50% de las utilidades, por ende, para la empresa será el 50% restante. La sumatoria de dividendos pagados a los inversionistas durante la vida útil del aerogenerador asciende a \$7.352.046,35 dólares (véase Tabla 8, columna 4). El VAN para los inversionistas en su conjunto será de \$2.713.682,04 dólares y la TIR de 15,3%. Su inversión inicial conjunta fue de \$861.550,54 dólares.

Por su parte, la empresa que propone este proyecto reportará unas ganancias totales por valor de \$8.213.596,89 dólares al final de la vida útil del aerogenerador. Este valor actualizado al presente sería de \$3.575.232,58 dólares. En la Tabla 8, columnas 5 y 6, se presenta el desarrollo año tras año de las ganancias tanto en valor nominal como en valor presente.

Tabla 8: Flujo de pagos a prestamistas y dividendos a los accionistas y la empresa.

Año	Ingresos Netos (\$ USD)	Pago a prestamistas (\$ USD)	Pago a inversionistas (\$ USD)	Ganancia Empresa (\$ USD)	VAN Ganancia Empresa (\$ USD)
0	\$ -	-\$ 3.446.202,16	-\$ 861.550,54	\$ -	\$ -
1	\$ 699.273,93	\$ 413.544,26	\$ 142.864,84	\$ 142.864,84	\$ 135.263,05
2	\$ 720.252,15	\$ 413.544,26	\$ 153.353,95	\$ 153.353,95	\$ 137.468,32
3	\$ 741.859,72	\$ 413.544,26	\$ 164.157,73	\$ 164.157,73	\$ 139.323,01
4	\$ 764.115,51	\$ 413.544,26	\$ 175.285,62	\$ 175.285,62	\$ 140.851,56
5	\$ 787.038,97	\$ 413.544,26	\$ 186.747,36	\$ 186.747,36	\$ 142.076,96
6	\$ 810.650,14	\$ 466.673,21	\$ 171.988,47	\$ 171.988,47	\$ 123.886,03
7	\$ 834.969,65	\$ 466.673,21	\$ 184.148,22	\$ 184.148,22	\$ 125.586,91
8	\$ 860.018,74	\$ 466.673,21	\$ 196.672,76	\$ 196.672,76	\$ 126.991,58
9	\$ 885.819,30	\$ 466.673,21	\$ 209.573,04	\$ 209.573,04	\$ 128.120,89
10	\$ 912.393,88	\$ 466.673,21	\$ 222.860,33	\$ 222.860,33	\$ 128.994,49
11	\$ 939.765,69	\$ 466.673,21	\$ 236.546,24	\$ 236.546,24	\$ 129.630,82
12	\$ 967.958,67	\$ 466.673,21	\$ 250.642,73	\$ 250.642,73	\$ 130.047,24
13	\$ 996.997,43	\$ 466.673,21	\$ 265.162,11	\$ 265.162,11	\$ 130.260,08
14	\$ 1.026.907,35	\$ 466.673,21	\$ 280.117,07	\$ 280.117,07	\$ 130.284,66
15	\$ 1.057.714,57	\$ 466.673,21	\$ 295.520,68	\$ 295.520,68	\$ 130.135,39
16	\$ 1.089.446,01	\$ 466.673,21	\$ 311.386,40	\$ 311.386,40	\$ 129.825,81
17	\$ 1.122.129,39	\$ 466.673,21	\$ 327.728,09	\$ 327.728,09	\$ 129.368,60
18	\$ 1.155.793,27	\$ 466.673,21	\$ 344.560,03	\$ 344.560,03	\$ 128.775,71
19	\$ 1.190.467,07	\$ 466.673,21	\$ 361.896,93	\$ 361.896,93	\$ 128.058,32
20	\$ 1.226.181,08	\$ 466.673,21	\$ 379.753,93	\$ 379.753,93	\$ 127.226,92
21	\$ 1.262.966,51		\$ 631.483,25	\$ 631.483,25	\$ 200.305,29
22	\$ 1.300.855,51		\$ 650.427,75	\$ 650.427,75	\$ 195.336,53
23	\$ 1.339.881,17		\$ 669.940,59	\$ 669.940,59	\$ 190.491,03
24	\$ 1.380.077,61		\$ 690.038,80	\$ 690.038,80	\$ 185.765,73
25	\$ 1.421.479,93		\$ 710.739,97	\$ 710.739,97	\$ 181.157,64
	\$ 25.495.013,23	\$ 9.067.819,44	\$ 7.352.046,35	\$ 8.213.596,89	\$ 3.575.232,58

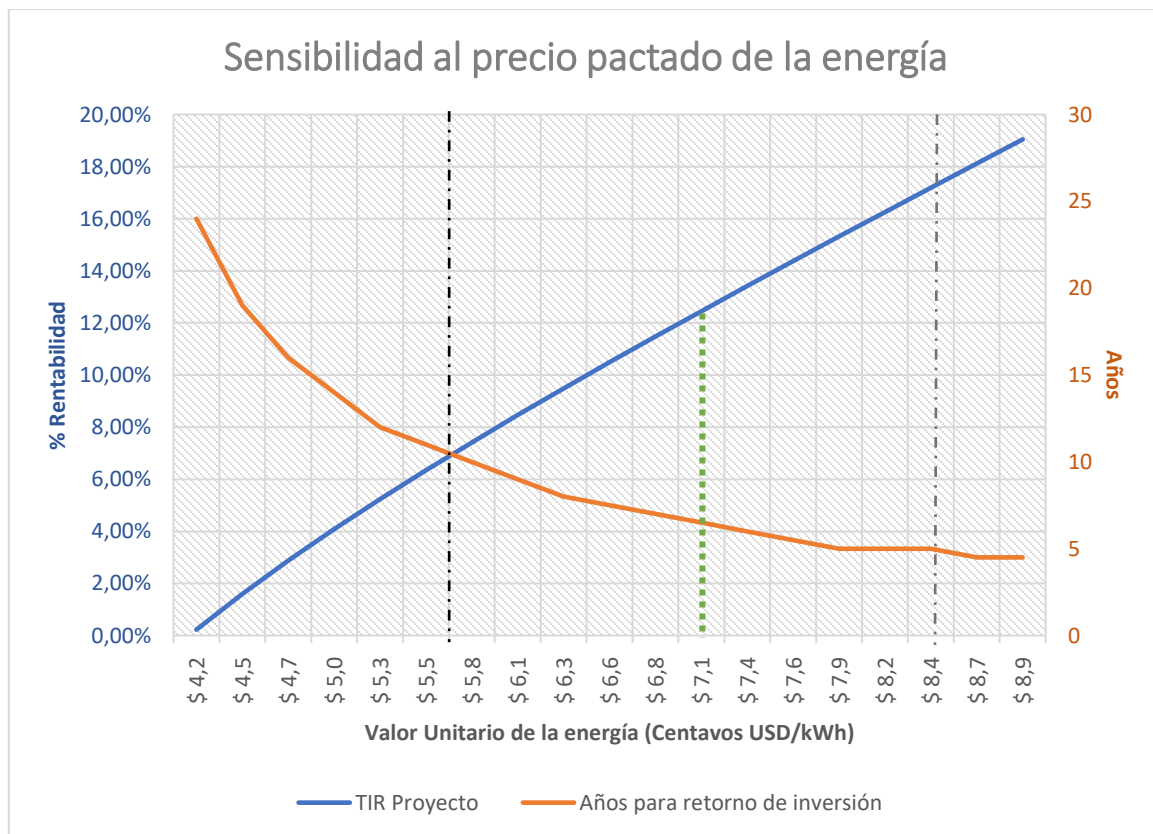
Fuente: El autor, 2022.

7.6. Análisis de sensibilidad al precio de venta de la energía

Como se mencionó brevemente en el capítulo [7.3 Precio de la Energía](#), el precio al que se pueda vender la energía eléctrica generada por el aerogenerador es determinante para definir la viabilidad del proyecto. Si el precio al que se venda la energía es muy bajo, el proyecto resultaría completamente inviable y nunca se recuperaría la inversión inicial. De forma similar, si el precio es muy alto, dejaría de ser competitivo frente a la generación diésel que se emplea en la isla de San Andrés. El objetivo de este análisis es encontrar un rango de precios en el que el proyecto es viable.

En la Gráfica 7 se presentan dos curvas: la curva descendente en color naranja representa los años que tarda en retornar la inversión con cada variación en el precio, y la línea ascendente azul es la TIR. Por ejemplo, cuando el precio al que se podría vender la energía es de 4,2 centavos de dólar, el tiempo para que la inversión retorne es de 24 años y la TIR es apenas positiva, siendo de 0,23%.

A medida que el precio aumenta, la TIR aumenta y los años para el retorno de la inversión disminuyen. Estas dos líneas se intersecan cuando el precio al que se puede vender la energía es de aproximadamente 5,8 centavos de dólar (véase línea punteada negra de la izquierda, Gráfica 7). Allí la TIR es de 7,41% y se requerirían 10 años para que la inversión retorne. Es a partir de este precio de 5,8 centavos de dólar que el proyecto es llamativo. Si bien podría aceptarse un precio inferior y aún se generarían ganancias, el proyecto perdería competitividad respecto a otras formas de inversión o proyectos de generación de energía renovable de otro tipo, como la energía solar fotovoltaica.



Gráfica 7: Curvas de TIR y Payback según variación del precio de venta de la energía.
Fuente: El autor, 2022.

La línea punteada de color verde, en la Gráfica 7, marca el valor empleado para realizar los cálculos del flujo de caja del proyecto. Donde la TIR es de 12,45% y la inversión retorna en 6,5 años.

El proyecto de generación de energía eólica será competitivo respecto a la generación diésel actual siempre y cuando el valor al que se venda la energía sea igual o inferior al precio del diésel marino. Para el mes de mayo de 2022, el costo de la materia prima para generar energía eléctrica, según se explicó en el capítulo [7.3 Precio de la Energía](#), era de 8,5 centavos USD/kWh (véase línea punteada de la derecha, Gráfica 7). Debe tenerse en cuenta que este valor también es susceptible de constante cambio por lo que el valor al que se podrá vender la energía puede ser inclusive superior a 8,5 centavos de dólar.

De esta forma, el rango de valores adecuado para que el proyecto funcione correctamente está entre los 5,8 y los 8,5 centavos USD/kWh. En este amplio rango de precios, la TIR va desde 7,41% hasta 17,19% y el tiempo para que retorne la inversión puede ir desde los 10 hasta los 5 años.

8. Cálculo de reducción de emisiones

Con la implementación del proyecto de generación eólica propuesto se logrará reducir parcialmente las emisiones de gases de efecto invernadero y partículas nocivas para el medio ambiente y la salud humana que actualmente emite la generación eléctrica de la isla de San Andrés. Se estima que se logrará una reducción total de las emisiones de CO₂ en una proporción cercana al 8%.

Partiendo de que en la isla la generación eléctrica anual es cercana a los 200 GWh y la única fuente de energía primaria que se emplea es el diésel, y sabiendo que en el año 2013 se requirieron más de 48 millones de litros de diésel para satisfacer la demanda energética (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016), es posible calcular la relación litros de diésel por cada kWh, así como las emisiones a la atmósfera de distintos compuestos, incluido el CO₂. En la Tabla 9, se prestan los factores de emisión de 3 diferentes compuestos: el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico. Estos fueron adaptados a partir de la información del *ministerio para la transición ecológica de España* (MITECO, 2022). Mediante estos factores se calcularon las emisiones anuales con la generación eléctrica actual y el ahorro en emisiones debido a la producción energética del aerogenerador.

Tabla 9: Cálculos de reducción de emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O.

Factores de emisión		
CO ₂	CH ₄	N ₂ O
(ton/kWh)	(kg/kWh)	(g/kWh)
0,00069	0,00009	0,00553
Realidad Actual (Solo Generación con Diésel)		
CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Total emisiones (ton)	Total emisiones (kg)	Total emisiones (g)
138.503	18.701	1.105.715
Emisiones evitadas por uso del aerogenerador		
CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Total emisiones evitadas (ton)	Total emisiones evitadas (kg)	Total emisiones evitadas (g)
10.471	1.414	83.592

Energía demandada (GWh)	200
Energía anual Turbina (GWh)	15,12
Porcentaje cubierto	7,6%

Fuente: El autor, 2022.

Las emisiones evitadas de cada uno de los compuestos representan una disminución de alrededor del 7,6% del total de emisiones por concepto de energía eléctrica en la isla. En el caso específico del dióxido de carbono, las 10.471 toneladas evitadas anualmente por la implementación del aerogenerador se podrían equiparar al trabajo de captura de dióxido de carbono de un bosque con más de 83 mil árboles maduros⁸, o es comparable a evitar más de 63 vuelos transatlánticos⁹ en la ruta Bogotá-Madrid.

⁸ Según [Tree-nation](#) a razón de 125 kg de CO₂ por árbol. (Tree Nation, 2022).

⁹ De acuerdo con la calculadora de huella de carbono de [iberia](#) a razón de 473,54 kg por persona ruta Bogotá-Madrid en un avión Airbus 350 (348 asientos). (IBERIA, 2022).

9. Mecanismo de toma de decisiones

Como se mencionó en el capítulo [4.1. Proyectos eólicos en Colombia](#), no existe en Colombia ningún proyecto de generación de energía eólica en el que las personas de la comunidad local puedan participar económicamente como inversionistas en estos proyectos. Por lo que la presente propuesta de proyecto eólico con participación económica de la ciudadanía, tanto de la comunidad local como del resto del departamento y el país, es en sí misma una idea innovadora. Más aun, la presente propuesta aspira llevar el concepto de participación más allá, incentivando la participación de la comunidad local en el proceso de toma de decisiones en lo que respecta al proyecto.

Se espera que el involucramiento con la comunidad, fuera de la socialización y consultas previas que haya que realizar para el emplazamiento del proyecto eólico, sea para escuchar y tomar en cuenta las aportaciones de quienes convivirán junto con el aerogenerador. En otras palabras, que, así como se está ofreciendo la oportunidad de invertir en la realización del proyecto, se ofrezca la oportunidad de participar en la toma de decisiones antes, durante y después de la construcción del aerogenerador, y de esta forma evitar que las decisiones importantes sean tomadas únicamente por la empresa administradora del parque eólico.

En este orden de ideas, un instrumento que permite el desarrollo del proyecto armónicamente, es la formación de un comité o consejo de administración del parque eólico compuesto por 7 o 9 miembros¹⁰ tanto de la empresa como de la comunidad local. Es importante que el número de integrantes sea impar ya que esto permitirá que no haya empates cuando el consejo tenga opiniones divididas. También, el número de miembros que sean de la comunidad debe ser de 4 o 5, dependiendo si el consejo formado es de 7 o 9 miembros. Esto con el fin de que el voto de la comunidad tenga fortaleza suficiente.

Los miembros de la comunidad integrantes del consejo de administración se postularán y serán elegidos por voto, ponderando que su posible elección no es en búsqueda del beneficio propio o intereses personales, sino tendrá el espíritu de promover los intereses de toda la comunidad y en general el buen desarrollo y progreso del proyecto eólico. Su participación en este consejo no será remunerada ni les requerirá una dedicación completa, solamente deberán participar en las reuniones que el consejo requiera. Además, y sin ser excluyente, podrán celebrarse reuniones donde participe toda la comunidad y pueda ejercerse un proceso de *consulta* más amplio.

Para que el proceso de toma de decisiones sea efectivo hay que modificar la naturaleza de las conversaciones del consejo de administración y de la comunidad, aplicando el concepto de *la Consulta*. En primer lugar, la creación del consejo no es para añadirle innecesariamente burocracia a un proceso que de otra forma podría ser sencillo, el único objetivo del consejo es hacer prosperar el proyecto eólico y asegurar un correcto funcionamiento de todos los componentes del mismo. Así mismo, los miembros del consejo que sean parte de la empresa no deben empeñarse en convencer sobre sus propias ideas a los demás miembros. Por lo que en las reuniones del consejo deberá aplicarse un proceso de *consulta* efectiva.

Según la explicación del escritor Rodney Richards sobre el principio bahá'í de *la Consulta*: “no es simplemente una discusión, o transmitir las opiniones de los participantes. Es una investigación

¹⁰ Similar al número de miembros que componen las asambleas [bahá'ís](#): 9. (BIC, 2022).

colectiva de la realidad, cuyo propósito se centra en alcanzar la claridad y la verdad. El objetivo final de la consulta [...]: llegar a una decisión unánime. Cuando eso no sucede, prevalece la voluntad de la mayoría, teniendo en cuenta las necesidades de la minoría. Una vez que se toma una decisión, todos la respetan y la respaldan, de lo contrario no tendrían ninguna posibilidad de éxito” (Richards, 2018).

También, el pensador persa Abdu’l-Bahá explica: “Aquel que expresa una opinión no debería decir que es correcta y justa, sino presentarla como una contribución al consenso de opiniones, pues la luz de la realidad se hace aparente cuando coinciden dos opiniones [...]. El hombre debería pesar sus opiniones con extrema serenidad, calma y compostura. Antes de expresar sus propias opiniones debería considerar cuidadosamente las opiniones ya presentadas por otros. Si encuentra que una opinión presentada anteriormente es más veraz y meritoria, debería aceptarla inmediatamente y no aferrarse obcecadamente a su propia opinión. Mediante este excelente método, [se logra] llegar a la unidad y la verdad” (Abdu'l-Bahá, 1912).

“La consulta”, explica Joseph Roy, “sustituye a la mentalidad que considera apropiados mecanismos como el debate bilateral partidista, los ataques de personalidad, los halagos, la manipulación, la coacción, la colusión, la corrupción, [...]. En la fe bahá’í¹¹, estos son vistos como elementos éticamente en bancarrota de un viejo orden mundial. No hay una guía específica paso a paso del proceso de consulta bahá’í, pero la siguiente secuencia dará [...] una imagen bastante clara del proceso:

- Preparación espiritual y emocional
- Establecimiento de confianza mutua
- Participación sincera y no agresiva
- Consideración colectiva de ideas
- La no personalización de las ideas
- Definición del problema
- Recopilación de posibles soluciones
- Refinamiento de la solución
- Proceso de llegar a un consenso
- Humilde sumisión a la voluntad de la mayoría
- Acción colectiva y afirmativa

Cada participante ofrece su opinión como una aproximación y no como un absoluto, en el humilde entendimiento de que el resultado total será mayor que la suma de las contribuciones individuales” (Roy Shepherd, 2020).

La aplicación del concepto de *la Consulta*, con todos sus elementos e implicaciones puede asegurar el éxito en la administración y redefine el concepto de la toma de decisiones en un proyecto colectivo, en este caso, un proyecto eólico.

¹¹ La [fe bahá’í](#) es un sistema global de creencias independiente cuyo principio central es la unidad de la humanidad. Dentro de las enseñanzas bahá’ís más destacadas están: la armonía entre la ciencia y religión, la igualdad de género y la creencia de que todas las religiones, en esencia, son una sola. (Bahai teachings, 2022).

10. Conclusiones y Limitaciones

10.1. Limitaciones del presente anteproyecto

Existe una restricción de acceso a la información predial en gran parte de la isla de San Andrés, por lo cual no se tiene el detalle de la prediación rural y por ende no es posible hacer un análisis más detallado de la titularidad y la realidad jurídica de los predios en las zonas óptimas para la ubicación del aerogenerador. Por lo tanto, la ubicación exacta del aerogenerador deberá definirse más adelante, después de hacer una solicitud formal al IGAC de suministro de la información predial.

Después de consultar las fuentes meteorológicas instaladas en la isla de San Andrés por el IDEAM, se encontró que no tienen información o que no está disponible al público. Por ende, no se tienen series de viento, solamente se tienen promedios anuales de la velocidad del viento, y a partir de estos se calculó la distribución de Weibull para los vientos de San Andrés Isla. Sin embargo, para hacer más precisa la predicción de la producción de energía se recomienda conseguir series de datos de velocidad del viento o instalar una torre de medición de vientos a alturas cercanas a los 100 metros, y modelar nuevamente la distribución del viento.

La selección del aerogenerador se realizó con base en la información disponible de acceso público. Es difícil encontrar, en las hojas de datos de los fabricantes de aerogeneradores, información respecto a la curva de potencia, en especial de los modelos más recientes. Igualmente, no es posible encontrar información del precio de venta de los aerogeneradores. Ningún fabricante ofrece públicamente esta información, por lo que las estimaciones de producción energética y Capex pueden cambiar más adelante si se entra en negociación con los fabricantes.

El componente de análisis económico fue calculado con base en la información pública disponible y la extrapolación de información. El detalle del Opex puede sufrir modificaciones si se consigue nueva información respecto al costo real de operación de un parque eólico en Colombia. Las tasas de interés, la inflación de la economía, el precio de la energía y su porcentaje de incremento anual pueden ser ajustados en el futuro a medida cambien las diversas situaciones que afectan su valor. Similarmente, en el presente análisis no se están contemplando impuestos o en general un componente tributario para el parque eólico, ni se revisó en detalle la validez del contrato de la zona de servicio exclusivo de la empresa Sopesa, por lo que el flujo de caja de caja del proyecto también podría variar, especialmente las utilidades de la empresa y los inversionistas.

En el presente anteproyecto no se está analizando el valor residual del parque eólico y tampoco se está analizando el tratamiento de los residuos al finalizar la vida útil del aerogenerador. Por lo tanto, será objeto de otra fase posterior el incluir este análisis en el documento del proyecto.

10.2. Conclusiones

Colombia posee un buen recurso eólico en su zona insular y off-shore, así como también en la zona norte: alrededor de los departamentos de La Guajira, Atlántico y Bolívar especialmente. Prueba de ello, es el alto interés de las multinacionales energéticas quienes han ganado las últimas subastas de potencia eléctrica y actualmente se encuentran construyendo varios parques que se espera entren en funcionamiento antes del 2022 y 2023. Sin embargo, sería bueno que el gobierno nacional, a la par con todo el impulso de energías renovables que ha puesto en marcha en los últimos años, disponga de regulaciones e incentivos para que las empresas permitan la participación

económica de las comunidades locales que habitan en las inmediaciones de estos centros de generación de energía.

La ubicación escogida para el aerogenerador, a falta de información predial y por ende sin información de tenencia y estado jurídico, es la óptima respecto a las demás variables técnicas: el relieve, la distancia a edificaciones, la distancia a la subestación eléctrica y el acceso. Esta ubicación escogida también es validada por la velocidad del viento –7,44 m/s a 82 metros de altura– y dirección del viento –85% norte y noreste– que allí se tiene. Además de contar con una densidad de potencial eólico de 382 W/m².

El aerogenerador seleccionado V-136 de 3,45 MW de la empresa Vestas tiene el balance más adecuado entre el rendimiento estacional, el factor de carga y la producción energética anual. Estos valores son: 31%, 50% y 15,12 GWh/año, respectivamente. Además, con la implementación del proyecto eólico se logrará una reducción total de las emisiones de CO₂ en una proporción cercana al 8%, evitando 10.471 toneladas anuales.

Se estima que el Capex –costo total en el que se incurrirá para poner en marcha el proyecto eólico en la isla de San Andrés–, es de 4,31 millones de dólares. Valor que será cubierto en un 50% por un préstamo bancario a una tasa de 15% TAE por 15 años con 5 años de periodo de gracia iniciales, un 30% mediante un préstamo de financiación colectiva a una tasa de 12% TAE por 5 años y el 20% restante mediante inversión directa de la población local de la isla de San Andrés, a quienes se les ofrecerá en compensación un 50% de las utilidades que genere el proyecto además de hacer parte en la toma de decisiones del parque eólico. Por su parte, el Opex –costo total de explotación y mantenimiento anual–, será cercano a los 400 mil de dólares. Este último valor llevado a su composición unitaria, es decir, en unidades de centavos de dólar por kWh explotado, es de 2,62.

El precio al que podría aspirarse a vender la energía de forma de que el proyecto sea rentable está entre el rango de los 5,85 a los 8,5 centavos de dólar por kWh. En este mismo rango la TIR va desde 7,41% hasta 17,19% y el tiempo para que retorne la inversión puede ir desde los 10 hasta los 5 años.

El análisis efectuado en este anteproyecto asume un valor intermedio del precio de venta de la energía de 7,1 centavos de dólar por kWh, con lo cual el VAN total es de 8,1 millones de dólares, la TIR de 12,5% y el tiempo para que retorne la inversión es de 7 años.

Para los prestamistas de la financiación colectiva (30% del Capex), su VAN será de 470 mil dólares y la TIR de casi 12%. El banco (50% del Capex) tendrá un VAN de casi 1,4 millones de dólares y una TIR de 8,2%. Para los inversionistas de la comunidad local (20% del Capex) su VAN será de 2,7 millones de dólares y la TIR de más del 15%. La empresa, quien no participó con recursos propios desde un inicio tendrá un VAN de 3,5 millones de dólares.

Permitir la participación económica de la comunidad local en proyectos de generación de energía eólica puede aumentar la prosperidad material de quienes conviven cerca del aerogenerador y convierte a la comunidad en un aliado de estos proyectos. Además de que la generación de riqueza se distribuye más equitativamente y potencialmente puede tener efectos sociales positivos más allá de los límites del proyecto mismo.

Referencias

- A2censo. (2022). *A2censo y BVC*. Obtenido de <https://a2censo.com/>
- Abdu'l-Bahá. (1912). *La promulgación de la paz universal*. Estados Unidos: Traducido y publicado en Español por Ebila. 1991.
- Aguilera Díaz, M. (2008). *Geografía económica del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina*. Bogotá: Banco de la República de Colombia.
- Ayuntamiento de Barcelona. (Mayo de 2022). *Economía, Trabajo, Competitividad y Hacienda*. Obtenido de Desarrollo económico local: <https://ajuntament.barcelona.cat/economiatreball/es/desarrollo-econ-mico-local>
- Bahai teachings. (2022). *Bahaiteachings.org*. Obtenido de ¿Qué es la Fe Bahá'í?: <https://bahaiteachings.org/es/fe-bahai/>
- Banco de Desarrollo de America Latina. (2012). *La economía local: la función de las agencias de desarrollo*. Cyngular.
- Banco Interamericano de Desarrollo . (2016). *Hacia la sostenibilidad eléctrica en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia: análisis de alternativas*. BID.
- Banco Mundial. (2021). *Datos*. Obtenido de Tasa de interés activa (%) - Colombia: <https://datos.bancomundial.org/indicador/FR.INR.LEND?locations=CO>
- BIC. (2022). *La Fe Bahá'í*. Obtenido de El sitio web de la comunidad mundial bahá'í: <https://www.bahai.org/es/>
- BN Americas. (10 de Julio de 2020). *Noticias BN Americas*. Obtenido de Los 7 principales proyectos eólicos de Colombia: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/los-principales-proyectos-eolicos-de-colombia>
- Business Insider. (10 de Agosto de 2018). *Capex vs Opex*. Obtenido de <https://www.businessinsider.es/capex-vs-opex-significan-estos-terminos-cual-deberia-287605>
- Cano Liébana, L. (03 de Junio de 2022). *La Razón - Medio Ambiente*. Obtenido de Diego Mesa, ministro de Minas y Energía de Colombia La contra: «Colombia era un país rezagado en renovables y hoy es líder»: <https://www.larazon.es/medio-ambiente/20220603/g7omojg2irep5p5b3gkce4o4xu.html>
- Castillo, G. C., & Martínez, J. M. (2011). ¿Qué es la TIR de un proyecto de inversión? *eXtoikos*, 129-130.
- Chun Sing, L., & McCulloch, M. D. (2017). Levelized Cost of Electricity for Solar Photovoltaic and Electrical Energy Storage. *Applied Energy*, 191-203.
- Ecopetrol. (2022). *Indicadores Ecopetrol*. Obtenido de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal>

- Empresas Públicas de Medellín - EPM. (13 de Enero de 2022). *EPM*. Obtenido de Parque Eólico Jepírachi: <https://www.epm.com.co/site/home/nuestra-empresa/nuestras-plantas/energia/parque-eolico>
- Franco García, A. (2016). *Análisis de los datos - Matlab*. Obtenido de Función de distribución de Rayleigh: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/viento/estadistica_1.html
- Global Wind Atlas. (2022). *Global Wind Atlas*. Obtenido de <https://globalwindatlas.info/>
- IBERIA. (2022). *Calculadora de Huella de Carbono*. Obtenido de <https://grupo.iberia.es/page/sustainability-co2-calculator-spanish>
- IDAE. (2011). *Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables*. . Madrid: BCG.
- IDEAM. (2012-2022). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Atlas de vientos: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>
- IRENA. (2021). *International Renewable Energy Agency*. Obtenido de Global Trends: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Global-Trends>
- Mercado Castro, J. A. (2016). El costo de la energía amenaza la productividad en el sector comercial en la isla de San Andrés. *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Administración*.
- MITECO. (Mayo de 2022). *Factores de Emisión*. Obtenido de Registro de Huella de Carbono, Compensación y Proyectos de Absorción de CO2: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemision_tcm30-479095.pdf
- Pérez, A. (24 de Abril de 2021). *OBS Business School*. Obtenido de VAN y TIR, dos herramientas para la viabilidad y rentabilidad de una inversión: <https://www.obsbusiness.school/blog/van-y-tir-dos-herramientas-para-la-viabilidad-y-rentabilidad-de-una-inversion#:~:text=Las%20siglas%20VAN%20corresponden%20al,en%20recuperar%20su%20inversi%C3%B3n%20inicial.>
- Reuters. (05 de Enero de 2022). *La República - Hacienda*. Obtenido de Colombia cierra 2021 con inflación de 5,62%, la más alta registrada en cinco años: <https://www.larepublica.co/economia/colombia-cierra-2021-con-inflacion-de-5-62-las-mas-alta-registrada-en-cinco-anos-3283454>
- Richards, R. (10 de Agosto de 2018). *Bahaiteachings.org*. Obtenido de ¿Qué es la consulta bahá'í?: <https://bahaiteachings.org/es/que-es-la-consulta-bahai/>
- Roy Sheppherd, J. (22 de Julio de 2020). *Bahaiteachings.org*. Obtenido de La brillante chispa de la verdad: cómo funciona la consulta bahá'í: <https://bahaiteachings.org/es/la-brillante-chispa-de-la-verdad-como-funciona-la-consulta-bahai/>

- Seguro, J. V., & Lambert, T. W. (2000). Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 75-84.
- Sevilla Arias, A. (15 de Julio de 2014). *Economipedia.com*. Obtenido de Tasa interna de retorno (TIR): <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Torres, F. R. (2021). *Estudio de Caso. San Andrés, Colombia: 10 años de un incinerador sin estrenar y una isla que se desborda en residuos*. Alianza GAIA.
- Tree Nation. (2022). *Plantar Árboles*. Obtenido de <https://tree-nation.com/plant/myself>
- UPME. (2019). *Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética*. Bogotá y Karlsruhe: UPME.
- Urrego, A. (22 de Enero de 2022). *La República - Energía*. Obtenido de El Gobierno inauguró ayer en La Guajira el primero de 16 nuevos parques eólicos:
<https://www.larepublica.co/economia/el-gobierno-inauguro-ayer-en-la-guajira-el-primer-de-16-nuevos-parques-eolicos-3290204>
- Valora Analitik. (22 de Enero de 2022). *Colombia inauguró primer parque eólico en más de 17 años*. Obtenido de <https://www.valoraanalitik.com/2022/01/22/colombia-inauguro-primer-parque-eolico-en-mas-de-17-anos/>
- Velayos Morales, V. (15 de Junio de 2014). *Economipedia.com*. Obtenido de Valor Actual Neto (VAN): <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- Villarubia López, M. (2012). *Ingeniería de la energía eólica*. Barcelona: Marcombo.
- Wind Turbine Models. (2022). *wind-turbine-models.com*. Obtenido de <https://es.wind-turbine-models.com/>
- XM. (2022). *XM*. Obtenido de Portal de Indicadores: <https://www.xm.com.co/portal-de-indicadores>

Anexos

Anexo I – Marco Conceptual

A. Distribución de Weibull y Rayleigh

La distribución de Weibull es una distribución estadística de probabilidades. Entre las muchas aplicaciones que tiene esta función de distribución está la caracterización de la velocidad del viento a partir de dos parámetros (Seguro & Lambert, 2000). Es decir, a partir de dos parámetros (k y c) se estima cuánta probabilidad hay de que se tenga determinadas velocidades del viento en un periodo de tiempo determinado.

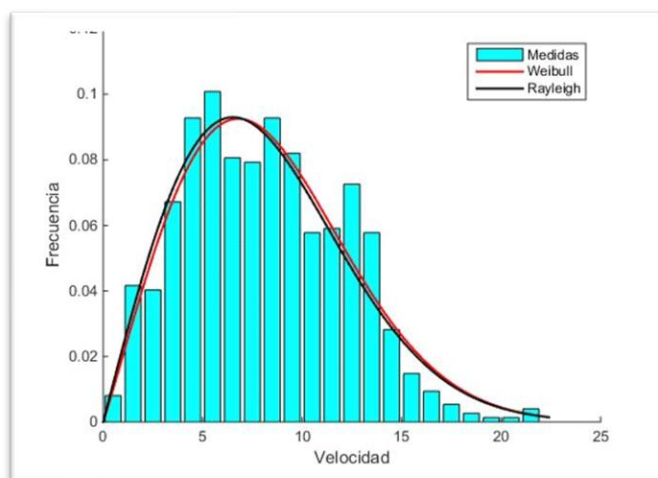
La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull es:

$$p(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Dónde c es el parámetro de escala de Weibull, dado en las mismas unidades que la velocidad del viento –generalmente en m/s y suele ser un valor próximo a la velocidad media del viento– y k es el parámetro de forma de Weibull, que no tiene unidades. v es una velocidad del viento específica.

Cuando el parámetro k tiene un valor de '2', la distribución de Weibull coincide con la distribución de Rayleigh o, en otras palabras, la distribución de Rayleigh es un caso particular de la distribución de Weibull. “Muchos estudios de potencial eólico y fabricantes de aerogeneradores refieren las prestaciones de los mismos a una distribución de velocidades según una ley de Rayleigh, ya que los lugares en los que se dan unas condiciones adecuadas para la explotación de la energía eólica, presentan en general distribuciones de velocidad que son próximas a distribuciones de Weibull con parámetro de forma igual a 2” (Villarubia López, 2012).

En la Gráfica 8 se presenta un ejemplo de las curvas de distribución de Weibull y Rayleigh junto con unas medidas de la velocidad del viento en una zona determinada.



Gráfica 8: Distribuciones de Weibull y Rayleigh para un viento determinado.
Fuente: (Franco García, 2016)

B. Coste Nivelado de la Energía - LCOE

El *LCOE* (del inglés *Levelized cost of electricity*) es una medida de costes que intenta comparar diferentes métodos de generación eléctrica sobre una base comparable. Se trata de una evaluación económica del coste total medio de construcción y explotación de un activo generador de energía durante su vida útil, dividido por la producción total de energía del activo durante esa vida útil. El *LCOE* también puede considerarse como el coste mínimo al que la electricidad debe venderse para alcanzar el punto de equilibrio durante la vida útil del proyecto (Chun Sing & McCulloch, 2017).

El objetivo del *LCOE* es dar una comparación de diferentes tecnologías (por ejemplo, eólica solar, gas natural) que tienen vidas útiles diferentes, variados tamaños de proyectos, diferentes costes de capital, riesgo, entre otros.

Existen diversas formas de calcular el *LCOE*, pero la más difundida es la siguiente:

$$LCOE = \frac{\text{Sumatoria de costos durante la vida útil}}{\text{Producción energética durante la vida útil}}$$
$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad \left[\frac{\$}{kWh} \right]$$

Donde I son las inversiones de capital, M son los costos de operación y mantenimiento, E es la energía generada y r es la tasa de descuento.

C. Capex y Opex

Los *gastos de capital* o *inversiones de capital*, conocidas como *Capex* (contracción del inglés de *Capital expenditure*), son las inversiones en bienes físicos que aumentan la capacidad productiva de un proyecto o una empresa (Business Insider, 2018).

Por su parte, los *gastos de operación*, conocidos como *Opex* (contracción del inglés de *Operational expenditures*), son los costos fijos y variables asociados a la explotación de un activo. El *Opex* suele ser bastante inferior al *Capex*.

D. VAN y TIR

Los parámetros de VAN y TIR se usan con frecuencia para analizar cuán viable es un proyecto en términos económicos y financieros. Estos parámetros son dinámicos y contabilizan el efecto del paso del tiempo.

El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en traer a valor presente los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se podría ganar o perder. También se conoce como valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN). (Velayos Morales, 2014).

El VAN está dado por la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Dónde F_t es el saldo del flujo de caja en cada periodo t , I_0 es la inversión en el momento inicial o tiempo 0, y k es la tasa de descuento.

Si el VAN es mayor a 0, entonces el proyecto generará beneficios. Por lo tanto, siempre se ha de buscar el VAN más alto.

Por su parte, la TIR es la abreviatura de Tasa Interna de Retorno, y también se le conoce como Tasa Interna de Rentabilidad (Castillo & Martínez, 2011). Permite conocer la rentabilidad de un proyecto de inversión que requiere de desembolsos y genera una serie de ingresos a lo largo del tiempo. La función de la TIR es señalar la tasa a la cual se recuperará la inversión inicial de un proyecto después de cierto tiempo (Pérez, 2021).

Matemáticamente la TIR es equivalente a k , cuando el VAN es igual a 0 (Sevilla Arias, 2014). De forma que la ecuación se puede reescribir así:

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n}$$

En este caso, el objetivo es que la TIR sea superior a la tasa de descuento o al interés promedio ofrecido por el mercado.

E. Economía local

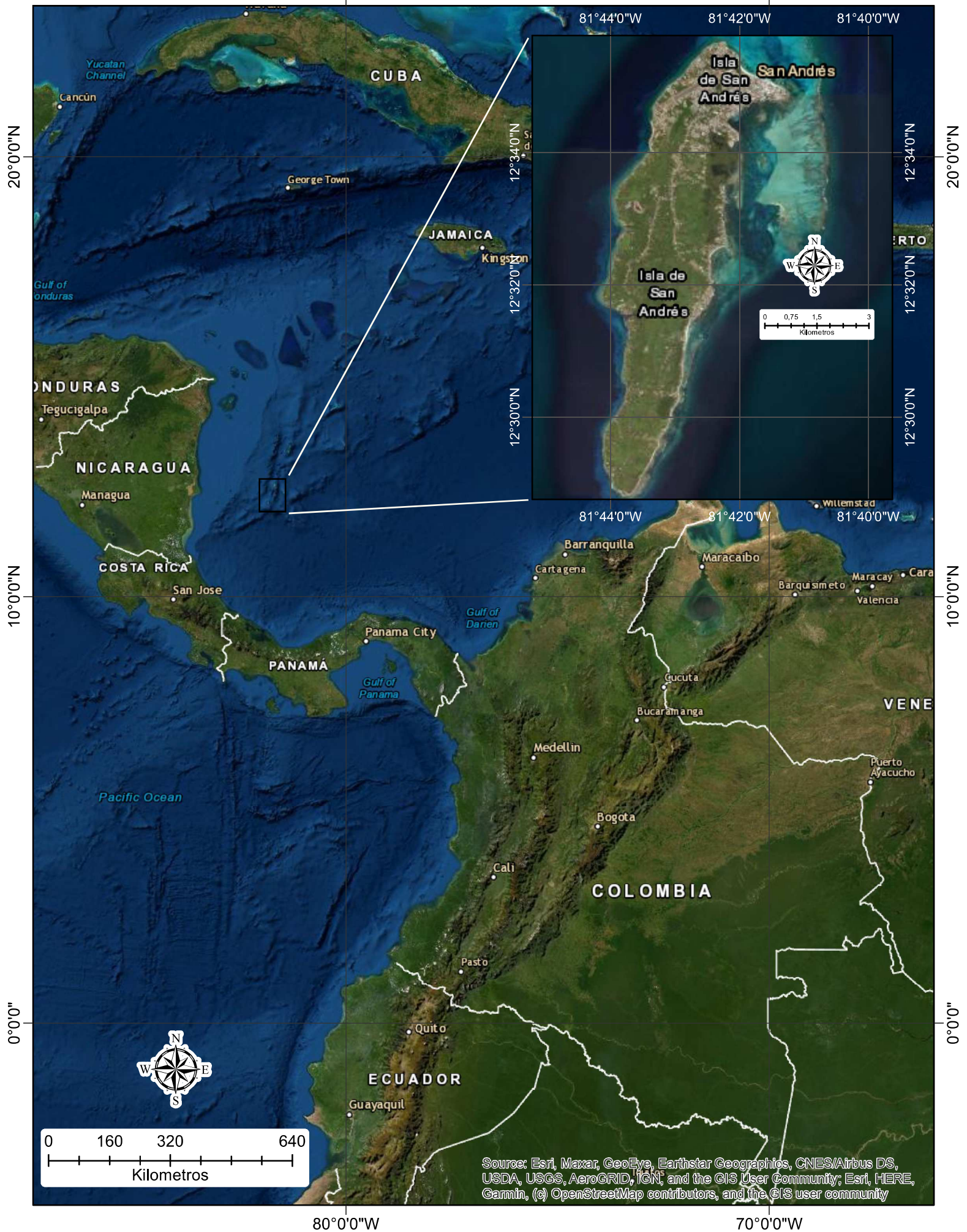
Según el Ayuntamiento de Barcelona, “El desarrollo económico local es el conjunto de acciones, políticas y estrategias que promueven la actividad económica orientada a solucionar las necesidades de las personas que viven en [determinada localidad], con perspectiva de distribución de riqueza, de género e intercultural y de sostenibilidad ambiental” (Ayuntamiento de Barcelona, 2022).

Según el Banco de Desarrollo de América Latina, “el objetivo del desarrollo local es construir las capacidades institucionales y productivas de un territorio definido, con frecuencia una región o municipalidad, para mejorar su futuro económico y la calidad de vida de sus habitantes. Esta definición nace de un consenso entre diversas instituciones globales tales como el Banco Mundial, Naciones Unidas, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) y CAF – banco de desarrollo de América Latina–, así como de académicos y profesionales con experiencia en el área”. Además, “La promoción de la economía local puede ser una actividad mejor coordinada a través de un sistema de desarrollo local con alto grado de asociación entre los sectores públicos, privados e inversionistas institucionales” (Banco de Desarrollo de America Latina, 2012).

Anexo II

80°0'0"W

70°0'0"W



80°0'0"W

70°0'0"W

20°0'0"N

10°0'0"N

0°0'0"N

12°34'0"N

12°32'0"N

12°30'0"N

20°0'0"N

12°34'0"N

12°32'0"N

12°30'0"N

10°0'0"N

0°0'0"N

SAN ANDRES ISLA, COLOMBIA PREDIOS, RESTRICCIONES Y ZONA POTENCIAL PARA INSTALACIÓN AEROGENERADOR

12°34'0"N

12°34'0"N

12°32'0"N


12°32'0"N

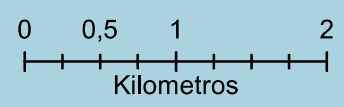
12°30'0"N

12°30'0"N



LEYENDA

-  Area Potencial
-  Predios Urbanos
-  Predios Rurales
-  Protegido ó Restricciones
-  Reserva_Forestal



SAN ANDRES ISLA, COLOMBIA

UBICACIÓN PROPUESTA AEROGENERADOR

12°34'0"N

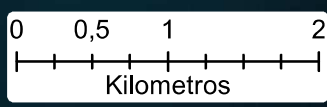
12°34'0"N

12°32'0"N

12°32'0"N

12°30'0"N

12°30'0"N




Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community; Esri, HERE, Garmin, (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS user community

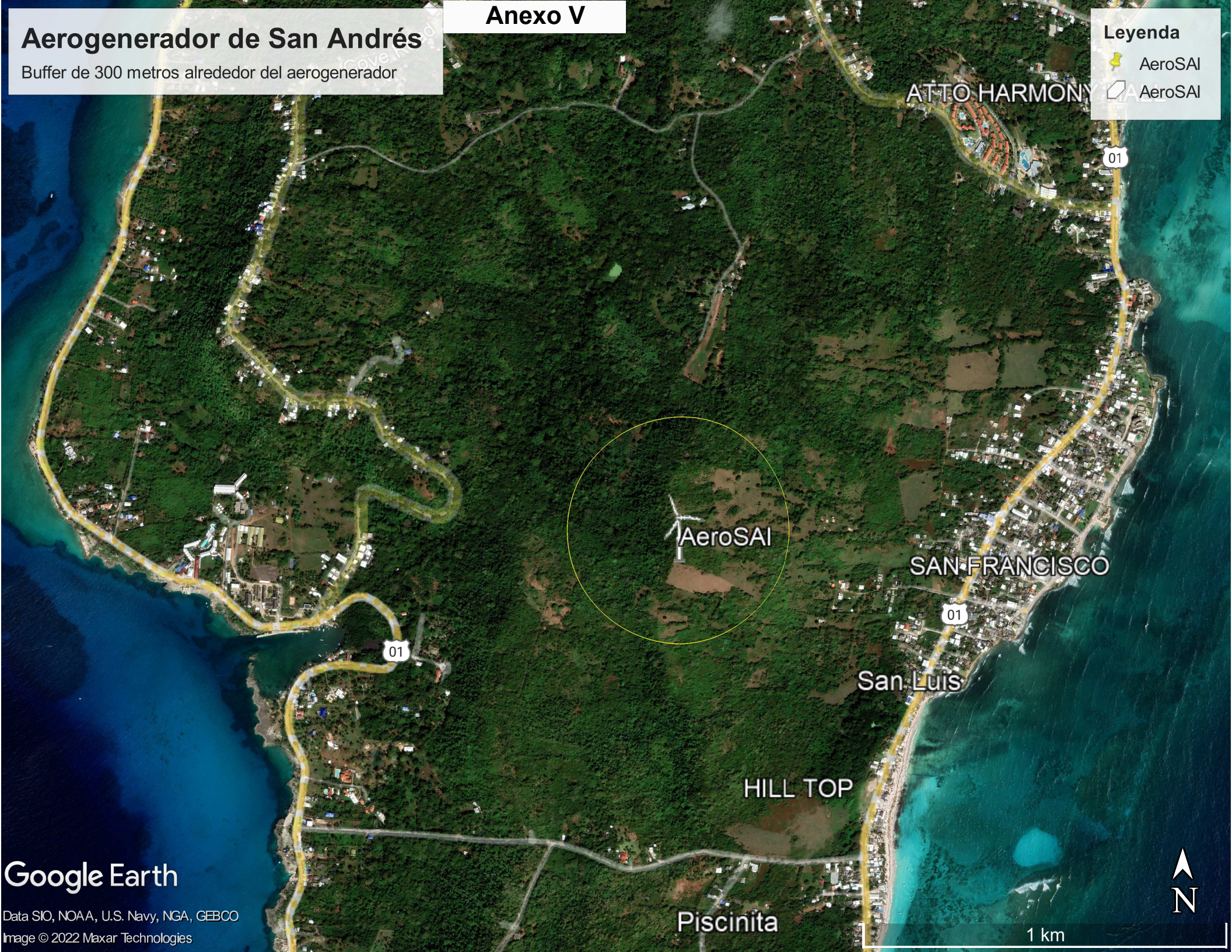
Aerogenerador de San Andrés

Buffer de 300 metros alrededor del aerogenerador

Anexo V

Leyenda

-  AeroSAI
-  AeroSAI



Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2022 Maxar Technologies



1 km

Anexo VI

PARTE 1 - DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

k	2	A 10 metros de altura
c (m/s)	5,27	A 10 metros de altura
Velocidad Media <v> (m/s)	4,67	A 10 metros de altura

Vel viento	Distribución de Weibull
0	0,00000
1	0,06948
2	0,12473
3	0,15626
4	0,16192
5	0,14637
6	0,11819
7	0,08634
8	0,05749
9	0,03507
10	0,01965
11	0,01015
12	0,00484

Vel viento	Distribución de Weibull
13	0,00213
14	0,00087
15	0,00033
16	0,00011
17	0,00004
18	0,00001
19	0,00000
20	0,00000
21	0,00000
22	0,00000
23	0,00000
24	0,00000
25	0,00000

PARTE 2 - DATOS ESTADÍSTICOS

Moda de la Velocidad (Vm)	3,73	Vm/c	0,7071
Velocidad media (<v>)	4,67	<v>/c	0,8862
Desviación estandar (σ)	0,1119	Indice de variabilidad	0,5227
Factor de energía (Fe)	1,9099		
Velocidad eficaz (v*)	5,79	Relación v*/<v>	1,2407
Valor medio del cubo de la velocidad	194,51		
Vmp	7,45	Vmp/c	1,4142

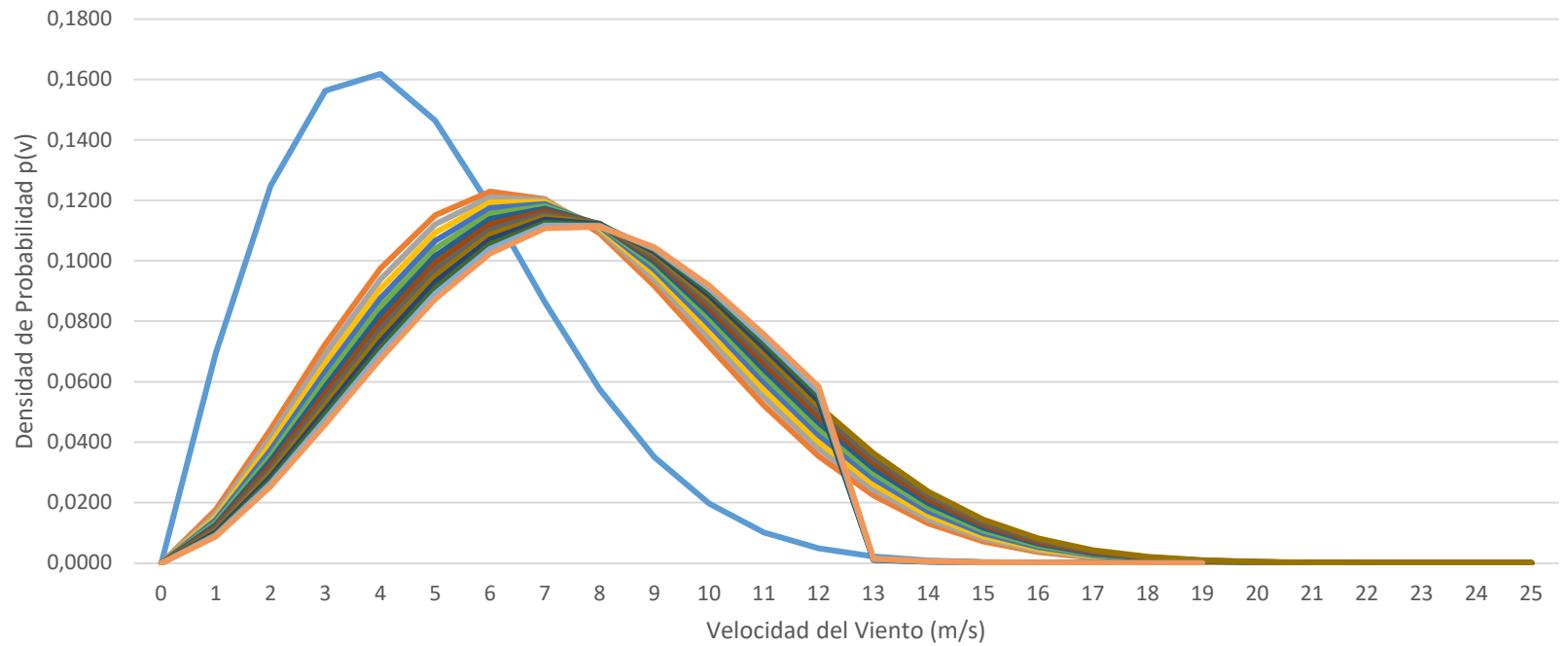
Altura de Datos	10
k - 10 metros	2,0
c - 10 metros	5,27
Beta - 10 metros	0,2237

PARTE 3-A VARIACIÓN DE LAS ALTURAS

Altura de Buje (m)	k'	c' (m/s)
10	2,0000	5,27
60	2,3744	7,87
65	2,3944	8,01
70	2,4132	8,14
75	2,4311	8,27
80	2,4480	8,39
85	2,4640	8,51
90	2,4794	8,62
95	2,4941	8,72
100	2,5082	8,82
105	2,5218	8,92
110	2,5349	9,01
115	2,5475	9,10
120	2,5597	9,19
125	2,5716	9,27
130	2,5830	9,35
135	2,5942	9,43
140	2,6050	9,51
145	2,6155	9,59
150	2,6257	9,66

Acá se calculan los parámetros k y c para diferentes alturas de buje. Estos parámetros se usarán para hallar las distribuciones de Weibull de esas mismas alturas.

Distribuciones de Weibull a diferentes alturas - SAI

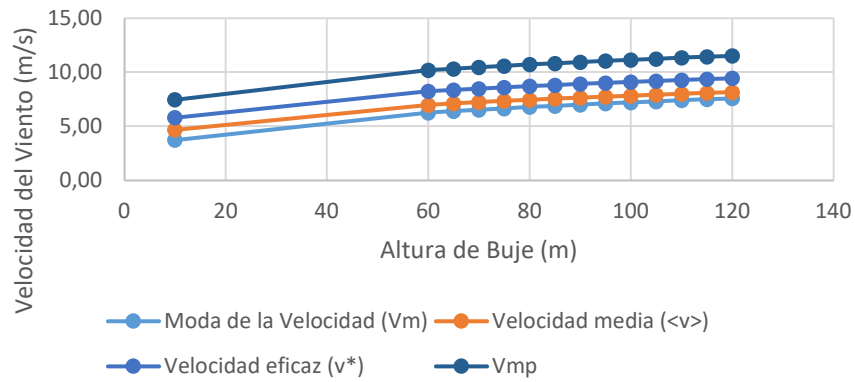


- W-10
- W-60
- W-65
- W-70
- W-75
- W-80
- W-85
- W-90
- W-95
- W-100
- W-105
- W-110
- W-115
- W-120

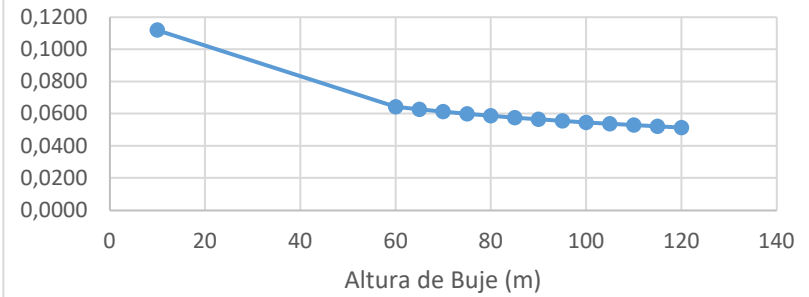
PARTE 3-C OTROS DATOS ESTADÍSTICOS

Altura Buje (m)	Moda de la Velocidad (Vm)	Velocidad media (<v>)	Desviación estandar (σ)	Factor de energía (Fe)	Velocidad eficaz (v*)	Vlr medio del cubo veloc	Vmp
10	3,73	4,67	0,1119	1,9099	5,79	194,51	7,45
60	6,25	6,97	0,0643	1,6400	8,22	556,23	10,18
65	6,39	7,10	0,0626	1,6293	8,36	583,37	10,32
70	6,52	7,22	0,0612	1,6195	8,48	609,70	10,46
75	6,65	7,33	0,0598	1,6105	8,60	635,32	10,59
80	6,77	7,44	0,0586	1,6021	8,71	660,28	10,71
85	6,89	7,54	0,0575	1,5943	8,81	684,65	10,83
90	7,00	7,64	0,0564	1,5870	8,91	708,47	10,94
95	7,10	7,74	0,0554	1,5801	9,01	731,79	11,04
100	7,20	7,83	0,0545	1,5737	9,10	754,64	11,14
105	7,30	7,91	0,0536	1,5675	9,19	777,05	11,24
110	7,39	8,00	0,0528	1,5618	9,28	799,06	11,34
115	7,48	8,08	0,0521	1,5563	9,36	820,69	11,43
120	7,57	8,16	0,0514	1,5510	9,44	841,97	11,51
125	7,66	8,23	0,0507	1,5460	9,52	862,90	11,60
130	7,74	8,31	0,0500	1,5413	9,60	883,53	11,68
135	7,82	8,38	0,0494	1,5367	9,67	903,85	11,76
140	7,90	8,45	0,0488	1,5323	9,74	923,89	11,84
145	7,97	8,52	0,0483	1,5281	9,81	943,65	11,91
150	8,05	8,58	0,0477	1,5240	9,88	963,16	11,98

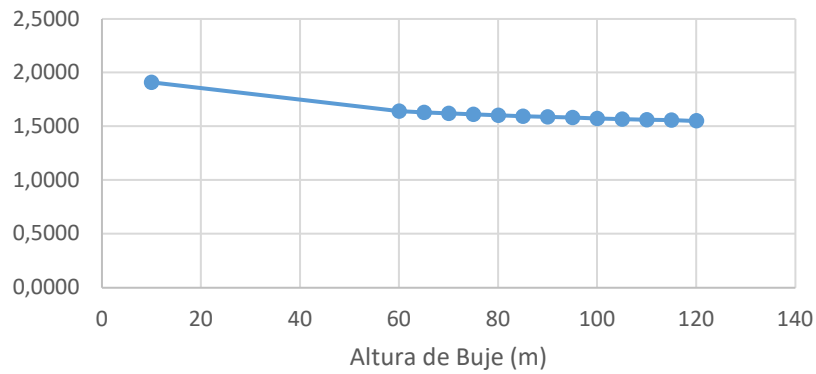
Evolución de las Velocidades Estadísticas según la Variación en Alturas



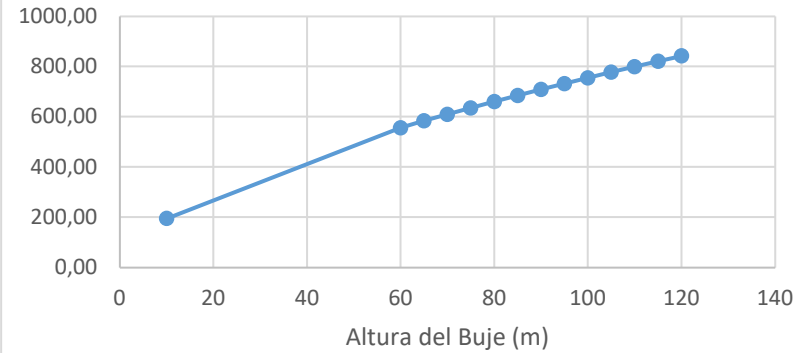
Evolución de la Desviación Estandar según la Variación en Alturas



Evolución del Factor de energía según la Variación en Alturas



Evolución del Valor medio del cubo de la Velocidad según la Variación en Alturas

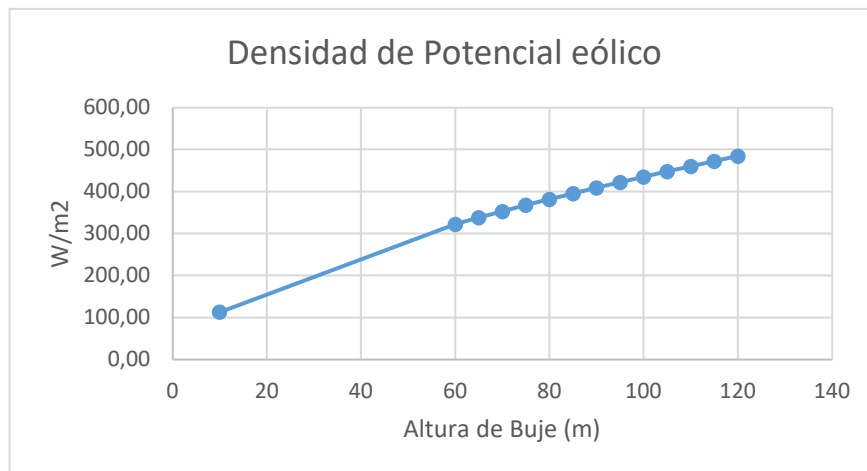


PARTE 4 - DENSIDAD DE POTENCIAL EÓLICO A DIFERENTES ALTURAS

Altitud (m)	65
Temperatura (°C)	27,00

Esta información es de la isla de San Andrés.

Altura de Buje (m)	ρ	Densidad de Potencial eólico (W/m ²)
10	1,1656	113,36
60	1,1587	322,25
65	1,1580	337,77
70	1,1573	352,81
75	1,1566	367,42
80	1,1560	381,63
85	1,1553	395,48
90	1,1546	408,99
95	1,1539	422,20
100	1,1532	435,13
105	1,1525	447,79
110	1,1519	460,20
115	1,1512	472,38
120	1,1505	484,34
125	1,1498	496,09
130	1,1491	507,64
135	1,1484	519,01
140	1,1478	530,20
145	1,1471	541,22
150	1,1464	552,09

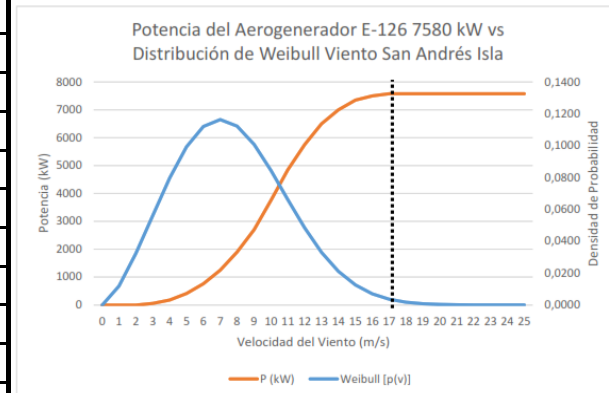


SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR

Aerogenerador E-126, 7580 kW, Enercon

k -90 metros	C -90 metros	Area de Barrido (m ²)	Diametro del Rotor (m)	Potencia Nominal (kW)	Viento Nominal (m/s)
2,479407783	8,62	12668	127	7580	17

Velocidad del Viento (m/s)	Weibull [p(v)]	P (kW)	Pa (kW)
0	0,0000	0	0,00
1	0,0118	0	0,00
2	0,0323	0	0,00
3	0,0562	55	3,09
4	0,0797	175	13,94
5	0,0993	410	40,70
6	0,1121	760	85,18
7	0,1164	1250	145,56
8	0,1122	1900	213,21
9	0,1007	2700	271,98
10	0,0844	3750	316,54
11	0,0661	4850	320,52
12	0,0483	5750	278,00
13	0,0330	6500	214,75
14	0,0211	7000	147,50
15	0,0125	7350	92,11
16	0,0069	7500	52,06
17	0,0036	7580	27,12
18	0,0017	7580	12,98
19	0,0008	7580	5,77
20	0,0003	7580	2,37
21	0,0001	7580	0,90
22	0,0000	7580	0,32
23	0,0000	7580	0,10
24	0,0000	7580	0,03
25	0,0000	7580	0,01



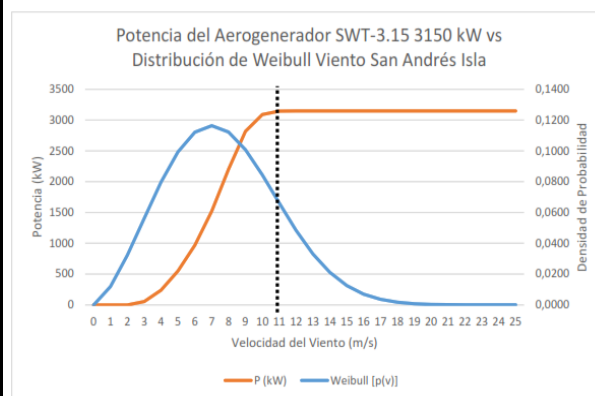
Potencia media de funcionamiento (kW)	Energía producida anualmente (MWh)
2244,75	19663,97

Potencia eólica media anual a 90 m (Pd) [kW]	η_{EST}	Factor de Carga
5181,14	43%	30%

Aerogenerador SWT-3.15-142, 3150 kW, Siemens

k -90 metros	C -90 metros	Area de Barrido (m ²)	Diametro del Rotor (m)	Potencia Nominal (kW)	Viento Nominal (m/s)
2,479407783	8,62	15829	142	3150	11

Velocidad del Viento (m/s)	Weibull [p(v)]	P (kW)	P _a (kW)
0	0,0000	0	0,00
1	0,0118	0	0,00
2	0,0323	0	0,00
3	0,0562	55	3,09
4	0,0797	239	19,04
5	0,0993	549	54,49
6	0,1121	968	108,49
7	0,1164	1522	177,23
8	0,1122	2201	246,99
9	0,1007	2816	283,66
10	0,0844	3090	260,83
11	0,0661	3145	207,84
12	0,0483	3150	152,30
13	0,0330	3150	104,07
14	0,0211	3150	66,38
15	0,0125	3150	39,48
16	0,0069	3150	21,87
17	0,0036	3150	11,27
18	0,0017	3150	5,39
19	0,0008	3150	2,40
20	0,0003	3150	0,99
21	0,0001	3150	0,38
22	0,0000	3150	0,13
23	0,0000	3150	0,04
24	0,0000	3150	0,01
25	0,0000	3150	0,00



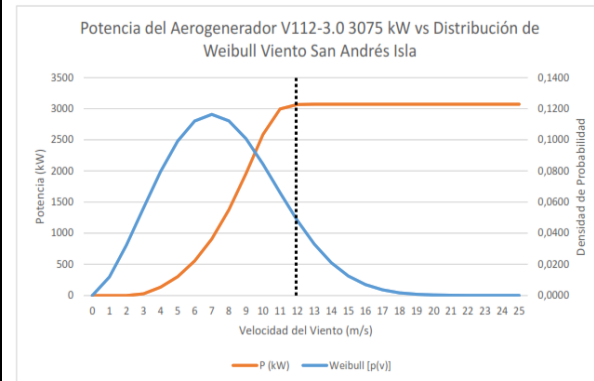
Potencia media de funcionamiento (kW)	Energía producida anualmente (MWh)
1766,37	15473,39

Potencia eólica media anual a 90 m (P _d) [kW]	η_{EST}	Factor de Carga
6473,97	27%	56%

Aerogenerador V112-3.0, 3075 kW, Vestas

k -90 metros	C -90 metros	Area de Barrido (m ²)	Diametro del Rotor (m)	Potencia Nominal (kW)	Viento Nominal (m/s)
2,479407783	8,62	9852	112	3075	12

Velocidad del Viento (m/s)	Weibull [p(v)]	P (kW)	Pa (kW)
0	0,0000	0	0,00
1	0,0118	0	0,00
2	0,0323	0	0,00
3	0,0562	26	1,46
4	0,0797	133	10,60
5	0,0993	302	29,98
6	0,1121	554	62,09
7	0,1164	907	105,62
8	0,1122	1375	154,30
9	0,1007	1958	197,24
10	0,0844	2585	218,20
11	0,0661	2997	198,06
12	0,0483	3067	148,28
13	0,0330	3075	101,59
14	0,0211	3075	64,80
15	0,0125	3075	38,54
16	0,0069	3075	21,35
17	0,0036	3075	11,00
18	0,0017	3075	5,27
19	0,0008	3075	2,34
20	0,0003	3075	0,96
21	0,0001	3075	0,37
22	0,0000	3075	0,13
23	0,0000	3075	0,04
24	0,0000	3075	0,01
25	0,0000	3075	0,00



Potencia media de funcionamiento (kW)	Energía producida anualmente (MWh)
1372,21	12020,59

Potencia eólica media anual a 90 m (P _d) [kW]	η_{EST}	Factor de Carga
4029,41	34%	45%

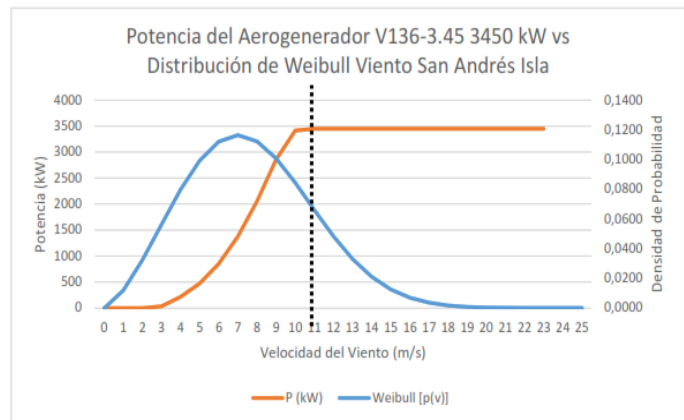
Aerogenerador V136-3.45, 3450 kW, Vestas

k -90 metros	C -90 metros
2,47940778	8,62

Area de Barrido (m2)	Diametro del Rotor (m)	Potencia Nominal (kW)	Viento Nominal (m/s)
14527	136	3450	11

Velocidad del Viento (m/s)	Weibull [p(v)]	P (kW)	Pa (kW)
0	0,0000	0	0,00
1	0,0118	0	0,00
2	0,0323	0	0,00
3	0,0562	35	1,94
4	0,0797	212	16,87
5	0,0993	473	46,91
6	0,1121	851	95,34
7	0,1164	1377	160,34
8	0,1122	2058	230,94
9	0,1007	2854	287,49
10	0,0844	3414	288,18
11	0,0661	3450	228,00
12	0,0483	3450	166,80
13	0,0330	3450	113,98
14	0,0211	3450	72,70
15	0,0125	3450	43,24
16	0,0069	3450	23,95
17	0,0036	3450	12,34
18	0,0017	3450	5,91
19	0,0008	3450	2,62
20	0,0003	3450	1,08
21	0,0001	3450	0,41
22	0,0000	3450	0,14
23	0,0000	3450	0,05
24	0,0000	3450	0,01
25	0,0000	3450	0,00

Este es el aerogenerador seleccionado, pero con una distribución de Weibull a una altura arbitraria de 90 metros.



Potencia media de funcionamiento (kW)	Energía producida anualmente (MWh)
1799,25	15761,40

Potencia eólica media anual a 90 m (Pd) [kW]	η_{EST}	Factor de Carga
5941,46	30%	52%

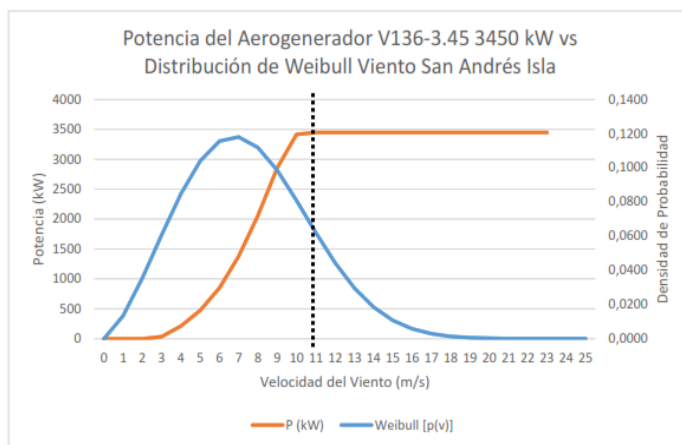
Aerogenerador V136-3.45, 3450 kW, Vestas

k -80 metros	C -80 metros
2,44795302	8,39

Area de Barrido (m2)	Diametro del Rotor (m)	Potencia Nominal (kW)	Viento Nominal (m/s)
14527	136	3450	11

Velocidad del Viento (m/s)	Weibull [p(v)]	P (kW)	Pa (kW)
0	0,0000	0	0,00
1	0,0133	0	0,00
2	0,0355	0	0,00
3	0,0607	35	2,09
4	0,0848	212	17,95
5	0,1040	473	49,16
6	0,1156	851	98,34
7	0,1181	1377	162,65
8	0,1118	2058	230,15
9	0,0985	2854	281,17
10	0,0809	3414	276,28
11	0,0620	3450	214,06
12	0,0444	3450	153,20
13	0,0297	3450	102,32
14	0,0185	3450	63,73
15	0,0107	3450	36,98
16	0,0058	3450	19,97
17	0,0029	3450	10,03
18	0,0014	3450	4,68
19	0,0006	3450	2,02
20	0,0002	3450	0,81
21	0,0001	3450	0,30
22	0,0000	3450	0,10
23	0,0000	3450	0,03
24	0,0000	3450	0,01
25	0,0000	3450	0,00

Este es el aerogenerador seleccionado, con la distribución de Weibull calculada a 80 metros de altura. Es decir, a la altura que se ha decidido se va a emplazar el buje.



Potencia media de funcionamiento (kW)	Energía producida anualmente (MWh)
1726,02	15119,97

Potencia eólica media anual a 90 m (Pa) [kW]	η_{EST}	Factor de Carga
5543,90	31%	50%