

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PARQUE
EÓLICO OFFSHORE UBICADO EN COVEÑAS - SUCRE**



Autores:

Nikolle Alejandra Duarte Gutiérrez

Cod. 1102254

David Steven Lopez Olarte

Cod. 1102448

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de:
INGENIERÍA CIVIL**

Director:

Diego Palma Cuero

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2020**

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO
OFFSHORE UBICADO EN COVEÑAS - SUCRE



Autores:

Nikolle Alejandra Duarte Gutiérrez

Cod. 1102254

David Steven Lopez Olarte

Cod. 1102448

Trabajo de grado presentado para optar por el título de:
INGENIERIA CIVIL

Director:

Diego Palma Cuero

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2020

Nota aceptación

Firma de tutor

Firma de jurado 1

Firma de jurado 2

Bogotá D. C., noviembre de 2020

DEDICATORIA

Todo nuestro esfuerzo está dedicado principalmente a Dios, quien es el que nos da la sabiduría y la fortaleza para cumplir cada propósito. A nuestros padres por su amor inagotable y su constante apoyo en todo momento. A nuestros profesores que dedican de su tiempo y conocimiento para enseñarnos en este camino profesional.

AGRADECIMIENTOS

Siempre he creído que lejos de Dios nada podría hacer; por eso agradezco a él por cada instante darme la fuerza y la valentía de continuar y terminar cada paso con propósito. Agradezco a mis padres Mónica y Yesid, que siempre han formado en mí una mujer verraca y que no le teme a nada, por darme su apoyo en esta etapa profesional y seguir siendo un baluarte para mi vida. Agradezco a mi novio Manuel que siempre me motiva a no limitarme y a cumplir mis sueños sin desfallecer. Agradezco a mi compañero de Trabajo de grado y colega, David, quien fue un apoyo incondicional y una persona dedicada en este proyecto. Gracias a nuestro tutor Diego Palma, por hacer posible este trabajo con su sabiduría, tiempo y apoyo. Gracias a mis amigos que son como hermanos, Amistad Live Colombia, quienes estuvieron constantes apoyando en este proceso tan importante para mí.
Gracias.

Nikolle Alejandra Duarte Gutiérrez

Agradezco primeramente a Dios por brindarme la oportunidad de tener una maravillosa familia la cual me ha apoyado en cada decisión y darme la bendición de formarme como profesional en ingeniería civil, que desde que era niño me hacía especial ilusión, desde cuando acompañaba a mi padre a sus obras nació ese sentimiento y esa pasión por la ingeniería. Agradezco a mis compañeros que desde el primer semestre fueron un apoyo y una parte vital en el proceso de formación académica además de ser parte importante de mi vida social. Agradezco a mi compañera Alejandra por darme la oportunidad de crecer junto a ella, de ser parte integral en este proceso de aprendizaje. Agradezco a nuestros maestros por ser parte de una etapa de la vida irrepetible, donde fueron canon de lo que hoy somos como persona, agradezco a nuestro tutor Diego Palma y al ingeniero Juan Rueda los cuales son los principales protagonistas en este proyecto que con gran sabiduría y entusiasmo nos acompañaron e hicieron que el interés por este trabajo naciera y creciera hasta lograr lo que es hoy.

David Steven López Olarte

Tabla de contenido

1.	Problema	1
1.1	Identificación	1
1.2	Descripción	3
1.3	Planteamiento	3
2.	Delimitación	4
2.1	Conceptual	4
2.2	Geográfica	4
2.3	Cronológica	5
3.	Objetivos	6
3.1	Objetivo General	6
3.2	Objetivos Específicos	6
4.	Antecedentes	7
5.	Justificación	11
6.	Marco Referencial	13
6.1	Marco Teórico	13
6.1.1	Celda de Hadley	14
6.1.2	Vientos Zonales, Brisas del mar	15
6.1.3	Límite de Betz	16
6.1.4	Ley exponencial de Hellmann	19
6.1.5	Condiciones eólicas y energéticas	20
6.1.6	Estructuras Flotantes	27
6.1.7	Aerogenerador Marino	28
6.1.8	Cables en centenario y en diagonal	28
6.1.9	CapEx y OpEx	29
6.1.10	Valor Presente Neto (VPN)	29
6.1.11	Tasa Interna de Retorno (TIR)	31
6.1.12	Transmisión energética	32
6.1.13	Instalación	37
6.1.14	Actualidad energía eólica offshore	37
6.2	Marco institucional	39
6.3	Marco legal	41

6.4	Marco ambiental	45
7.	Metodología	47
8.	Resultados	50
8.1	Demanda energética	50
8.2	Selección de la turbina eólica offshore	56
8.3	Potencial eólico Coveñas, Sucre	61
8.4	Ubicación	65
8.5	Sistema de fundación para aerogenerador	67
8.6	Sistema de transmisión eléctrica	72
8.7	Costos de inversión (CAPEX)	75
8.8	Costos de operación y mantenimiento (OPEX)	76
8.9	Viabilidad económica	77
9.	Conclusiones	83
10.	Recomendaciones	86
	BIBLIOGRAFÍA	88
	ANEXOS	95

Tabla de Figuras

FIGURA 1 DENSIDAD DEL TRÁNSITO MARÍTIMO ENTRE PUERTOS-ÁREA DEL PROYECTO (NUMERO DE RUTAS/0.005 KM ² /AÑO)	5
FIGURA 2 MAPA CONCEPTUAL DEL CONTENIDO DEL MARCO TEÓRICO.	13
FIGURA 3 CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA	14
FIGURA 4 VIENTOS ZONALES. BRISAS DEL MAR.	15
FIGURA 5 FLUJO Y VARIABILIDAD DEL VIENTO EN UN AEROGENERADOR.	17
FIGURA 6 GRÁFICO DE EFICIENCIA EÓLICA POTENCIA VS VELOCIDAD.	17
FIGURA 7 MAPA DE VELOCIDADES PROMEDIO DE VIENTO MULTIANUAL A 10 METROS DE SUPERFICIE	21
FIGURA 8 HISTOGRAMA DE VELOCIDADES DE VIENTO Y DIRECCIÓN DE LA ROSA.	22
FIGURA 9 HISTOGRAMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MUNDIAL	23
FIGURA 10 HISTOGRAMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA COLOMBIA	23
FIGURA 11 ESQUEMA DE AEROGENERADORES EN EL MAR	24
FIGURA 12 CIMENTACIONES DE TURBINAS EÓLICAS	26
FIGURA 14 CABLE HVAC	33
FIGURA 15 CABLE HVDC	34
FIGURA 16 ESQUEMA 1 INTERCONEXIÓN CON SUBESTACIÓN OFFSHORE	35
FIGURA 17 ESQUEMA 2 CONEXIÓN ELÉCTRICA	36
FIGURA 18 EMISIONES DE CARBONO EN COLOMBIA A 2050	45
FIGURA 19 METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL PROYECTO	48
FIGURA 20 CONSUMO PER CÁPITA	50
FIGURA 21 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN, COVEÑAS, SUCRE	53
FIGURA 22 ROSA DE VIENTOS, AGOSTO	56
FIGURA 23 TURBINA EÓLICA SIEMENS SWT-2.3-113	60
FIGURA 24 CURVA DE POTENCIA, AEROGENERADOR SIEMENS SWT-2.3	61
FIGURA 25 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE VIENTO RESPECTO LA ALTURA A DIFERENTES EXPONENTES DE HELLMANN	62
FIGURA 26 VELOCIDAD MÁXIMA DE VIENTO	63
FIGURA 27 ÁREA DE UBICACIÓN DEL PARQUE EÓLICO OFFSHORE	65
FIGURA 28 CONFIGURACIÓN Y CONEXIÓN DEL PARQUE EÓLICO OFFSHORE	66
FIGURA 29 EFECTO ESTELA EN TURBINAS EÓLICAS	67
FIGURA 30 PARTES DE UNA ESTRUCTURA OFFSHORE	68
FIGURA 31 PROCESO DE INSTALACIÓN DE MONO PILOTES	70
FIGURA 32 CONFIGURACIÓN DEL PARQUE EÓLICO	71
FIGURA 33 GRAFICO DISTANCIA-COSTE, LÍNEAS HVAC-HVDC	73
FIGURA 34 ESQUEMA GENERAL DE CONEXIÓN ELÉCTRICA	73
FIGURA 35 SISTEMAS DE UN AEROGENERADOR	74
FIGURA 36 FLUJO DE CAJA PROYECTO PARQUE EÓLICO OFFSHORE COVEÑAS	79

Tabla de Tablas

TABLA 1 MATRIZ DOFA PARA IDENTIFICAR LOS FACTORES INTERNOS Y EXTERNOS QUE CONTRIBUYEN O DESFAVORECEN EL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD.	2
TABLA 2 VALORES EXPONENCIALES DE HELLMANN	20
TABLA 3 LÍNEAS DE TRASMISIÓN POR AGENTES OPERADORES	32
TABLA 4 PARQUES EÓLICOS OFFSHORE	38
TABLA 5 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA- REGIÓN CARIBE (GWH)	51
TABLA 6 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN, COVEÑAS	52
TABLA 7 COMPARACIÓN DEMOGRÁFICA	54
TABLA 8 PROYECCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO, COVEÑAS	54
TABLA 9 MEDIDORES ENERGÉTICOS EN COVEÑAS, SUI	55
TABLA 10 TOTAL COBRO PROYECTADO	55
TABLA 11 RANGOS DE VELOCIDADES DE VIENTO A DIFERENTES ALTURAS	57
TABLA 12 VELOCIDADES DE VIENTO A DIFERENTES ALTURAS	58
TABLA 13 MODELOS DE TURBINAS EÓLICAS	59
TABLA 14 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA POR TURBINA SWT-2.3	64
TABLA 15 COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN DEL PARQUE EÓLICO	72
TABLA 16 COSTOS DE CAPITAL PARA SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE	75
TABLA 17 COSTO TOTAL AEROGENERADORES	76
TABLA 18 COSTOS DE INVERSIÓN DE CAPITAL PARQUE EÓLICO OFFSHORE, COVEÑAS	76
TABLA 19 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARQUE EÓLICO OFFSHORE COVEÑAS	77
TABLA 20 INGRESOS ANUALES POR PRODUCCIÓN ENERGÉTICA	78
TABLA 21 PORCENTAJE DE COBERTURA ENERGÉTICA	81
TABLA 22 TABLA COMPARATIVA	81

Resumen

El siguiente proyecto denominado estudio de prefactibilidad para la construcción de un parque eólico offshore ubicado en Coveñas – Sucre, consiste en exponer y proponer estudios de investigación exploratoria, operativa y de construcción de un parque de energía no convencional; se pretende implementar una estructura que otorgue la futura disposición del recurso a la población objetivo. La ubicación tendrá un papel fundamental dada la velocidad del viento para su elección, también se incluyen propiedades de los materiales de fabricación y características de este tipo de estructuras offshore valorando aspectos positivos y negativos del mismo con el objetivo de determinar si es factible su implementación, debido que en la actualidad se presenta déficit de energía eléctrica por uso desproporcionado y mala gestión uso de los recursos continentales.

Abstract

The next project called pre-feasibility study for the construction of an offshore wind farm located in Coveñas - Sucre, consists of exposing and proposing exploratory, operational and construction research studies of an unconventional energy park; It is intended to implement a structure that grants the future disposition of the resource to the target population. The location will play a fundamental role given the wind speed for its choice, properties of the manufacturing materials and characteristics of this type of offshore structures are also included, evaluating positive and negative aspects of it in order to determine if its implementation is feasible, Due to the current deficit of electrical energy due to disproportionate use and mismanagement of continental resources.

Introducción

A través del tiempo la demanda energética se ha acrecentado de acuerdo con el desarrollo social y tecnológico que sobrelleva el nombre de las sociedades modernas. Con el fin de satisfacer y cumplir a cabalidad con el principal objetivo y el reto que se tiene de proveer de energía limpia a la comunidad, la producción de energía conlleva a una explotación de los recursos en su gran mayoría no renovables como los hidrocarburos, además que dichas prácticas hacen un daño al medio ambiente, lo anterior implica una serie de cambios y consecuencias para todo el ecosistema. Se espera que a medida que el tiempo pase la producción energética evolucione hacia las energías limpias y amigables con el medio ambiente.

Colombia al ser un país de un amplio recurso hídrico se apoya en su gran mayoría en el uso de este en la generación de electricidad. Actualmente sobre cifras de XM, en su reporte de sostenibilidad y mercado 2018, especifica que Colombia se aprovisiona de energía en los siguientes porcentajes, empleando hidroeléctricas se da un 63.39% correspondientes a 10,974 MW, en cuanto a energía térmica la cual se deriva de gas, carbón y otros, de los cuales se deriva un 29.38% correspondiente a 5,087 MW, el porcentaje restante se dan a otros recursos los cuales no son distribuidos centralmente entre ellos el eólico el cual es correspondiente a 0.11% con 18.42 MW.

El desarrollo del recurso eléctrico se cimienta en su gran mayoría en variables climáticas, topográficas y ambientales por lo cual en Colombia hay una mayor producción eléctrica mediante recursos hidrológicos, esto con los fenómenos presentes a lo largo del año en Colombia como lo

son los fenómenos del Niño/Niña, hacen pie a que se devengan proyectos con energía limpia y sostenible.

Considerando la baja producción eólica en referencia con otros recursos manejados para la producción energética se efectúa la investigación para la determinar la viabilidad de un parque eólico en Coveñas, Sucre como alternativa a la distribución eléctrica actual in-situ.

1. Problema

En Colombia están sobre la mesa grandes proyectos energéticos en el Atlántico, la Guajira, el Cesar y Boyacá, teniendo el 90% de permisos para que sean energías solares; solo 12 son proyectos de energía eólica. Ciertamente el aumento de esta área de las energías renovables centra toda la atención en estos proyectos ya que los costos han disminuido en el mundo, siendo competitivos y destacándose por ser una alternativa importante para el desarrollo.

Desde 1998 a día de hoy, el suministro energético en el Caribe colombiano esta a cargo de la empresa de servicios públicos Electricaribe; sin embargo, la calidad del servicio entregado se ha afectado por cortes del servicio por lo que se ha inferido en los problemas con la población y la opinión pública, a partir de Octubre de 2020 entra en concesión las empresas Caribe Sol y Caribe Mar las cuales están a cargo de EPM; mediante el sistema único de información (SUI) y la Superservicios se entregan unas cifras correspondientes al municipio de Sucre se da un consumo de 67.75 GWh a abril de 2020 a comparación del caribe colombiano el cual es presidido por el valor de 238.42 GWh al año 2017.

1.1 Identificación

A continuación, se presenta una matriz DOFA con el propósito de identificar y resaltar los aspectos que contribuyen o desfavorecen el estudio de prefactibilidad del parque eólico en Coveñas Sucre. Se tiene en cuenta factores de desarrollo y de amenazas para la población.

Tabla 1 Matriz DOFA para identificar los factores internos y externos que contribuyen o desfavorecen el estudio de prefactibilidad.

Elaboración propia

Factores	Positivos	Negativos
Internos	<ul style="list-style-type: none"> ● Proyecto sostenible. ● Reduce el uso de combustibles fósiles. ● Es un proyecto innovador. ● Favorece el sistema socioeconómico. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Recursos en la construcción. ● Tecnología para su implementación. ● Apoyo social. ● Inexactitud en la información.
Externos	<ul style="list-style-type: none"> ● Genera riqueza y empleo local. ● Preservación y cuidado ambiental. ● Contribuye al desarrollo sostenible. ● Alternativa para obtención de energías renovables. ● Bienestar en la salud y calidad de vida. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Impactos naturales. ● Participación del estado. ● Recursos del estado. ● Impacto en la construcción en el ámbito ambiental. ● Impacto en la contaminación visual.

Dados los índices referentes a las cifras energéticas y según su tipo, la generación de energía eólica es una de las más pobres en el país siendo el caribe colombiano el sitio de mayor efectividad en lo que a viento se refiere; según cifras reportadas en el reporte de sostenibilidad de 2018, donde se indica un porcentaje de 0.11% respecto de toda la energía generada en el país con una magnitud de 18.42 MW. La generación de energía eólica y energías renovables es canon del plan de Coveñas en su programa de gobierno “Coveñas para todos”.

1.2 Descripción

La situación apropiada para mejorar esta problemática es la implementación y construcción de parques eólicos offshore, porque sus características ofrecen una mejor calidad de vida y una mejora en aspectos ambientales, el propósito es lograr crear este tipo de tecnologías. La idea es secundar y apoyar estudios que establecen que si las turbinas eólicas son ubicadas en el mar se aprovecha más la velocidad del viento y por ende se genera más energía, lo que permitiría utilizar mejor el potencial del que dispone el país. "En estas zonas se prevén grandes explotaciones de gas off shore, y este tipo de gas necesita energía para extraerse. Estas turbinas eólicas ayudarían a suministrar la energía a estas plataformas" (CEBALLOS, 2019). Por otra parte, se pretende contemplar la idea que estos aerogeneradores sean soportados por bases flotantes con el fin de disminuir ampliamente costos de operación y construcción.

1.3 Planteamiento

¿Generar energía offshore mediante un parque eólico es una alternativa óptima para los problemas presentados de energía en el municipio de Coveñas - Sucre?

2. Delimitación

2.1 Conceptual

Desde la academia y la investigación comprendida en la ingeniería civil se emplean conceptos y conocimientos al estudio tales como:

- Análisis financiero

2.2 Geográfica

Principalmente, el alcance de este proyecto está basado en desarrollar el estudio en la zona del Golfo de Morrosquillo, pues este lugar presenta condiciones óptimas para la implementación de energía offshore por sus características de velocidades de viento. El municipio de Coveñas ubicado en el departamento de Sucre fue elegido para desarrollar este proyecto, allí las condiciones de ubicación, turismo, innovación y cultura hacen del lugar un atractivo turístico.

Igualmente, en este lugar se resalta sus largas playas con aguas tranquilas y poco profundas, la playa Primera Ensenada es conocida como un centro de deportes acuáticos, la Ciénaga de la Caimanera es una laguna costera con abundante fauna y una reserva natural con mangles, caimanes y una variedad de peces y aves.

El estudio de prefactibilidad del parque eólico en Coveñas, Sucre región del caribe colombiano se sitúa en inmediaciones del mar adentro y la costa proveniente entre Coveñas y Tolú, la ubicación inmediata es $9^{\circ}29'19.10''N$ latitud y $75^{\circ}40'40.28''O$ longitud, en la siguiente figura se detalla el

recorrido de las rutas marítimas por lo que se escoge una especialización del terreno específico la cual se dispone de 38.8 km² para la realización del proyecto.

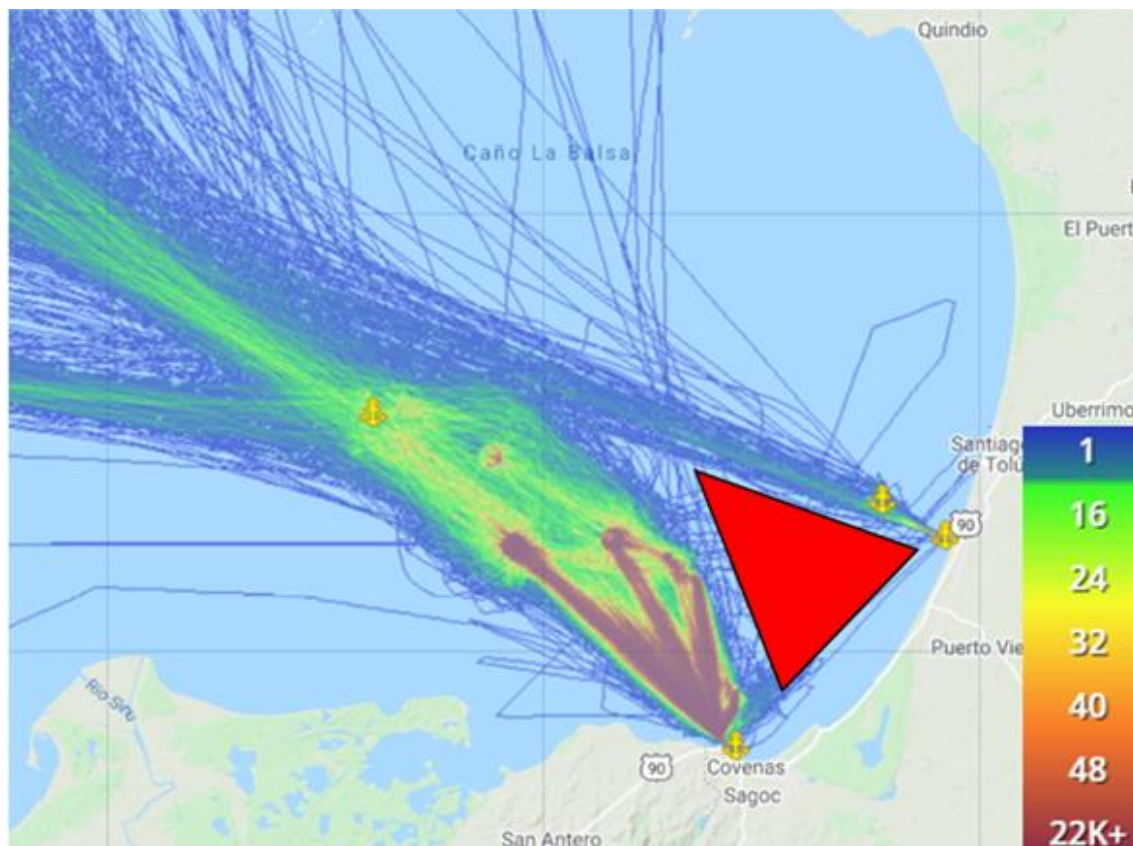


Figura 1 Densidad del tránsito marítimo entre puertos-área del proyecto (Número de rutas/0.005 km²/año)

Marine Traffic. (2020). Puerto de Coveñas. Recuperado de https://www.marinetraffic.com/es/ais/details/ports/18819/Colombia_port:COVENAS

2.3 Cronológica

El proyecto de investigación estará comprendido en los periodos del 27 de Julio de 2020 y el 20 de Septiembre de 2020.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar un estudio de prefactibilidad para la ejecución de un parque eólico offshore ubicado en Coveñas - Sucre.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el estado de la cobertura energética, para dar como solución la alternativa del parque eólico offshore en Coveñas, Sucre y su implementación en el sistema de distribución eléctrica.
- Determinar el valor de inversión total del proyecto en consideración con la operación y mantenimiento (CAPEX-OPEX)
- Definir la evaluación económica del proyecto según indicadores económicos como el Valor presente neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Contribuir al proyecto de investigación IMP-INV-3121.

4. Antecedentes

Para este trabajo distintos autores a través del tiempo han desarrollado este tema enfocado sobre el avance de la energía eólica en el mundo.

Actualmente es notorio el gran incremento de la población mundial, por consiguiente, la demanda energética es proporcional a la misma, en donde se debe actuar de manera inmediata y retrasarla dado que evitarla es inútil; como se mencionó, el mundo poblacional crece a medida que los recursos continentales se agotan. Considerando al mismo tiempo el fenómeno del Niño en Colombia que considera los altos costos de hidrocarburos que llevaron a país al borde de una crisis energética. Por ende, la reducción de la disponibilidad de energía hidroeléctrica genera efectos negativos como “La existencia de la presa, que ayuda a producir el salto necesario para la generación y la creación del reservorio o embalse, en los casos que existe, sin duda divide al río en dos secciones. Esto ocasiona la posible división de especies aguas arriba y debajo de la central.”. (Severiche, 2019)

En el territorio colombiano la mayor parte de la energía se da a cargo de ciertos tipos de recursos como el hídrico, fuentes de viento, energía solar y otros. En zonas tales como lo son las costas colombianas más exactamente en la región caribe la topografía no es la óptima por lo que el recurso de la generación de energía hidráulica; En el panorama de la energía eólica cabe resaltar que en Colombia en del departamento de la Guajira existe el parque eólico Jepírachi, este aporta desde

abril de 2004, este cuenta con una capacidad instalada de 19.5 MW correspondiente a 15 turbinas con una capacidad de 1.3 MW cada una. (Álvaro Pinilla 2008)

Las turbinas eólicas surgieron por primera vez hace más de un siglo. Tras la invención del generador eléctrico en la década de 1830, los ingenieros comenzaron a intentar aprovechar la energía eólica para producir electricidad. La generación de energía eólica tuvo lugar en el Reino Unido y los Estados Unidos en 1887 y 1888, pero se considera que la energía eólica moderna se desarrolló por primera vez en Dinamarca, donde se construyeron turbinas eólicas de eje horizontal en 1891 y comenzó una turbina eólica de 22,8 metros. (IRENA)

La existencia de los parques eólicos offshore se remonta hacia el año 1991 en Dinamarca, el primer parque eólico “Vindeby offshore wind farm” en el cual la inversión fue de más o menos 10 millones de dólares, compuesto de 11 aerogeneradores fabricados por Bonus Energy con una potencia de 450 kW cada uno y siendo en total 4.95 megavatios de potencia. Al año el parque eólico de Vindeby generó 9.61 GWh con una capacidad del 22% de capacidad; Posteriormente y luego de 25 años de servicio el cual fue el tiempo de concesión con DONG Energy se optó por remover la granja en el año 2017 dejando así 243 GWh de energía libre de emisiones.(Fernández, 2018)

Puede existir gran diversidad de razones más, por lo cual el Caribe colombiano debe actuar y aprovechar su privilegiada ubicación geográfica en pro de mitigar situaciones que afecten el

planeta, en especial Cartagena donde deberá asumir el reto y la responsabilidad de implementar energía, por medio de una alternativa innovadora y sostenible. De tal forma crear nuevas iniciativas y continuar con las ya existentes de este tema en particular, que se encuentran planteadas en el país. En Colombia el Gobierno otorgó beneficios, consagrados en la Ley 1715 y el Decreto 2143 del Ministerio de Minas, para promover la producción de energías alternativas. Una de esas garantías es la exención del IVA y de aranceles para equipos, máquinas y elementos necesarios para desarrollar este tipo de energía. (EL-UNIVERSAL, 2016).

Los fenómenos climáticos dado que son indeterminados en su magnitud sea el ejemplo más claro el fenómeno del Niño en 2015, el cual hizo estragos a lo largo de múltiples zonas produciendo así inundaciones, sequías e incendios en las zonas de afectación; el fenómeno del Niño es un calentamiento del océano pacifico en el cinturón del ecuador mayormente por lo que estas aguas calientes se confinan en el océano occidental dado que los vientos van en dirección Este-Oeste, durante el fenómeno del Niño se presenta una menor intensidad en los vientos y estos pueden cambiar su dirección. El fenómeno del Niño es variable de acuerdo con su periodo de retorno así como su magnitud en los que estos varían entre los dos a siete años y hasta 4 °C por encima de los niveles usuales, lo ocurrido con este fenómeno sobrepaso el ultimo registro del año 1997.

Según la Cumbre sobre la Acción Climática ONU 2019, con el objetivo de acelerar el objetivo del acuerdo de París en el cual se consideraron compromisos significativos como las principales

carteras para frenar las emisiones de gases de efecto invernadero, entre ellas se destaca la transición global hacia energías renovables. (IBERDROLA, 2019).

Según la Autoridad Nacional de Recursos Ambientales en el pasado Noviembre del 2018, aprobó la licencia ambiental para el primer proyecto en Colombia con Generación de Energía Eólica Alpha en la Guajira donde se incluyeron actividades de construcción y operación en un área de cuatro mil hectáreas con la capacidad de generar entre 200 y 250 megavatios por 65 aerogeneradores y adicional una subestación eléctrica que recogerá la energía en el parque eólico para conectarla con el sistema de transmisión nacional.

Estudios e hipótesis establecen o mencionan que la energía eólica en el departamento de Sucre no solo garantiza un mejor servicio a los ciudadanos y cuidado del medio ambiente, sino que beneficiaría a campesinos de la zona y promovería nuevas oportunidades laborales donde informaron que: “Quienes sean dueños de lotes o fincas que no estén ocupadas pueden arrendarlos para los parques eólicos, que ocupan alrededor del 3% del área y a partir de ese ingreso pueden explotar la tierra, lo que requiere contratar a campesinos de la zona”. (ELUNIVERSAL, 2016).

5. Justificación

El número creciente de habitantes en el mundo y el cambio climático subrayan la necesidad de contar con un suministro energético fiable y sostenible. Un fenómeno natural de lo más cotidiano puede convertirse en la fuente de energía que cambie el rumbo del futuro.

Para poder solucionar los problemas medioambientales, satisfacer la necesidad de vivir en un entorno más sano y alojar una población creciente, se debe reducir considerablemente la dependencia de los combustibles fósiles. El desafío reside en la necesidad de mantener la eficiencia en cuanto a costes durante la producción de energía.

En Colombia actualmente la generación de electricidad proviene un 69% de energía hidráulica y un 25% de plantas térmicas (ESPECTADOR, 2019), sin embargo, a pesar de los problemas ambientales que atraviesa el planeta, pensar en energías renovables no convencionales para Colombia es una solución a tener en cuenta, más específicamente la que se puede obtener a partir de fuentes eólicas. La implementación de energías renovables es vital para el desarrollo ambiental tanto como para el industrial por lo que la transición de energías es vital para Colombia, como se referencio anteriormente en Colombia apenas un 0.11% es el valor correspondiente para generación de energía eólica, por lo que se buscara una mayor implementación de este tipo de energías, como lo complementa el plan de desarrollo de Coveñas para los próximos años.

Desde la perspectiva ambiental y social es importante la implementación de energías limpias las cuales son renovables entre las más demarcadas de los últimos tiempos se encuentra la

fotovoltaica y la eólica siendo canon para el favorecimiento de la calidad del aire así mismo viéndose afectado en menor medida el recurso actual anteriormente mencionado el cual es de tema hídrico e hidrocarburos. “La explotación de una turbina de 1 MW instalada en un parque eólico puede llegar a evitar 2000 toneladas de dióxido de carbono (CO₂), si la electricidad producida ha sido emitida por centrales termoeléctricas.” En términos energéticos un aerogenerador con una vida útil de 20 años y una capacidad de 2.5 MW es capaz de generar energía equivalente a 1000-3000 hogares dependiendo el consumo (Ruiz, 2020).

6. Marco Referencial

6.1 Marco Teórico

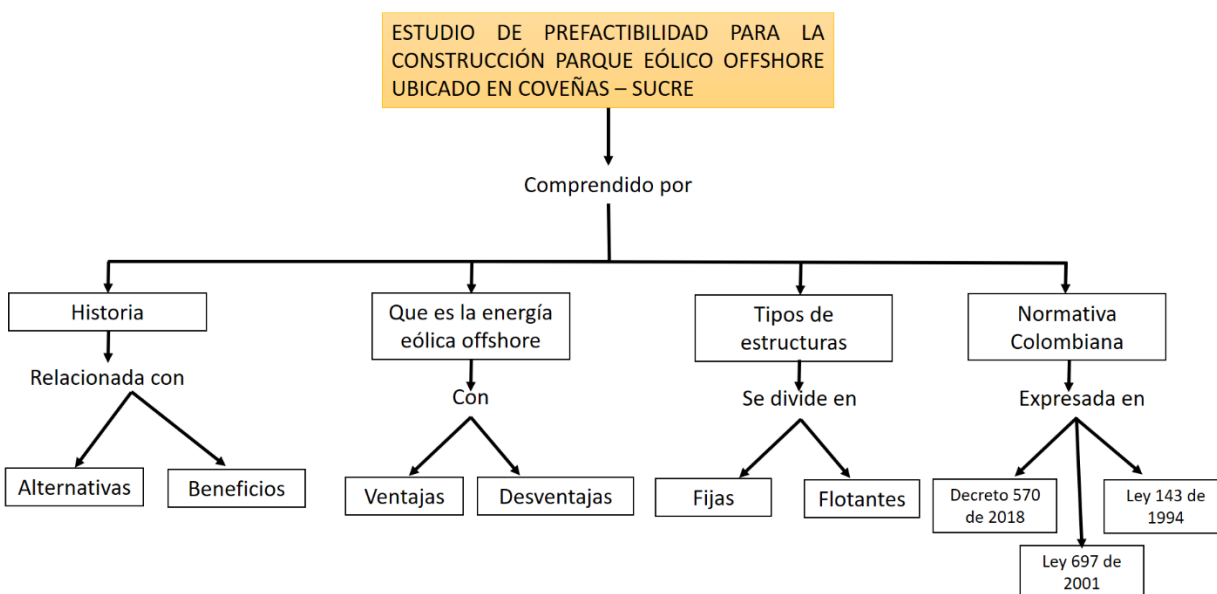


Figura 2 Mapa Conceptual del contenido del Marco Teórico.

La historia del primer parque eólico offshore fue construida en Dinamarca, convirtiéndose en uno de los países fundadores en implementar esta metodología de energía renovable y sostenible. En el año 1987 la empresa Kraft, una de las predecesoras del hoy gigante de la eólica marina DONG Energy, comenzó con los estudios para instalar aerogeneradores en las aguas de la isla solar y en Suecia.

6.1.1 Celda de Hadley

El aire al ser un gas tiene un comportamiento al variar sus características siguiendo la ley de Charles el aire se expandirá cuando se calienta y se contrae cuando se enfría en un sistema isobárico.

En la línea del Ecuador se crea una banda de baja presión, en dicha zona debido al aire caliente y húmedo el clima nublado y lluvioso predomina; una vez llegada a la tropopausa, es decir, entre 10 a 15 km sobre la superficie, el aire fluye de forma horizontal hacia los polos norte y sur, posteriormente la celda de Hadley lleva los vientos hacia la superficie de la tierra en los subtrópicos hasta que alcanza 30 grados latitud. El aire cerca de la superficie fluye hacia el ecuador sustituyendo al aire que sube en la zona de baja presión, dicha zona se llama zona intertropical de convergencia (ZITC); los vientos dirigidos a la zona del ecuador se desvían gracias al efecto Coriolis, que fue definido por Gustave Gaspard de Coriolis en 1835, convirtiéndose en vientos alisios. (Hatheway, 2008)

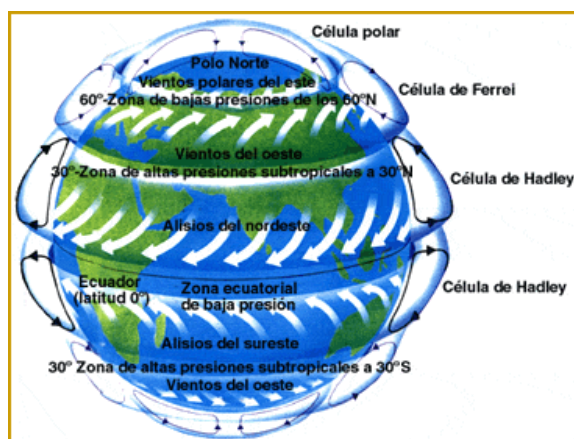


Figura 3 Circulación general de la atmósfera

Strahler. (1984). Recuperado de http://www7.uc.cl/sw_educ/contam/atm/atm25.htm

6.1.2 Vientos Zonales, Brisas del mar

Las brisas del mar son generadas en las costas, como resultado de las incidencias de la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra; la tierra tiene una capacidad térmica menor que el mar, es decir, esta se calienta más rápido durante el día y en la noche se enfría más rápido. En el día el aire frío fluye hacia la costa y el aire cálido viaja al mar completando el ciclo, este es inverso a lo que ocurre en las noches. (Boyle, 2004)

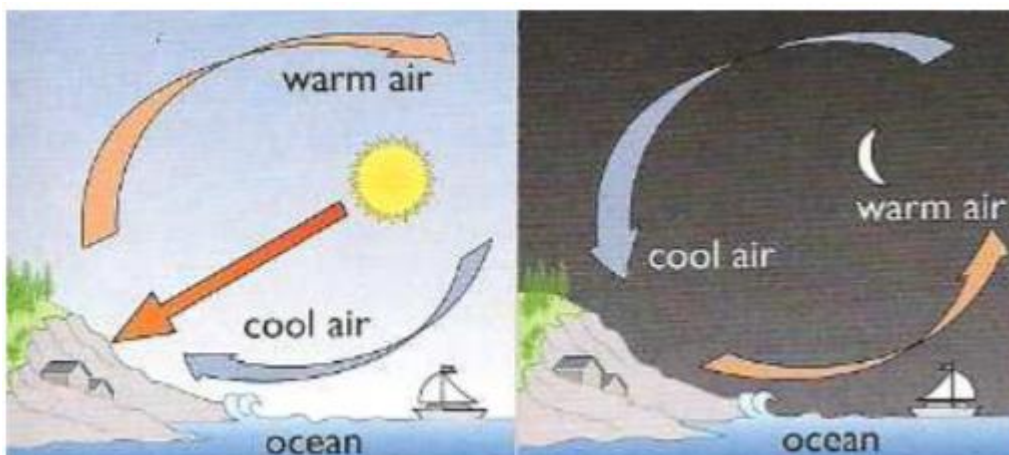


Figura 4 Vientos zonales. brisas del mar.

Boyle. (2004). Energía renovable para un futuro sostenible

El viento se utiliza para producir electricidad, usando la energía cinética generada por el movimiento del aire; esta se transformará en energía eléctrica utilizando turbinas eólicas o en su defecto cualquier sistema de conversión de energía. El viento al generar un movimiento en las aspas de una turbina hace que estas giren, esto hace que la energía pase de cinética a energía de

rotación, dicho movimiento sobre un eje y este estando conectado a un generador, todo en conjunto produce energía por electromagnetismo.

“La mayoría de los países cuentan con grandes potenciales eólicos. La utilización masiva de la energía eólica, el desarrollo de generadores cada vez más grandes y los avances en eficiencia, han conseguido que la electricidad eólica sea ya la fuente de menor coste en las zonas de mejores condiciones de viento y esta situación se está ampliando a toda la energía eólica, debido a su reducción de costes, que contrasta con el encarecimiento de las convencionales.” (Gómez de segura, 2009)

La energía cinética proviene de una masa en movimiento y siendo el viento una masa en movimiento la energía que es capaz de generar es cinética; La energía eólica proviene de la transformación de energía cinética en energía mecánica, la cual mediante una turbina eólica será capaz de transformar dicha energía mecánica en energía eléctrica. (Rosa, 2009)

6.1.3 Límite de Betz

El teorema de Betz nos indica que el flujo de viento el cual pasa a través de un aerogenerador es diferente una vez pasa la zona viéndose la velocidad perturbada por el paso al plano del rotor. Dicho flujo pasa a través de las aspas y es modificado cambiando las características de este como se observa en la siguiente ilustración:

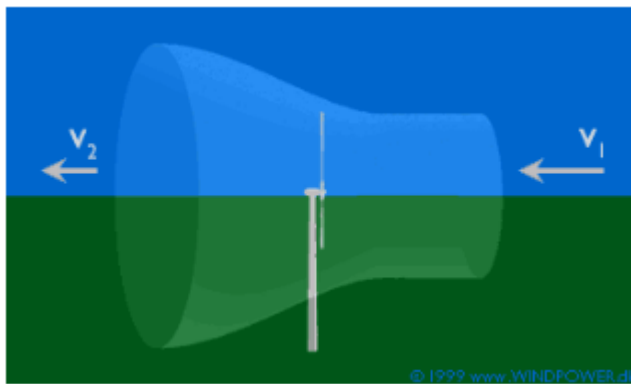


Figura 5 Flujo y variabilidad del viento en un aerogenerador.

Danish wind industry association. (2003). Recuperado <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/stat/betzpro.htm>

La eficiencia de un aerogenerador, así como la mayoría de los mecanismos se ve castigada por una eficiencia máxima a continuación, se da una curva a la que Albert Betz difirió con los datos encontrados de la potencia real y la potencia teórica; dando estos datos se compara entre la relación de potencia y velocidad dando así la curva de eficiencia eólica.

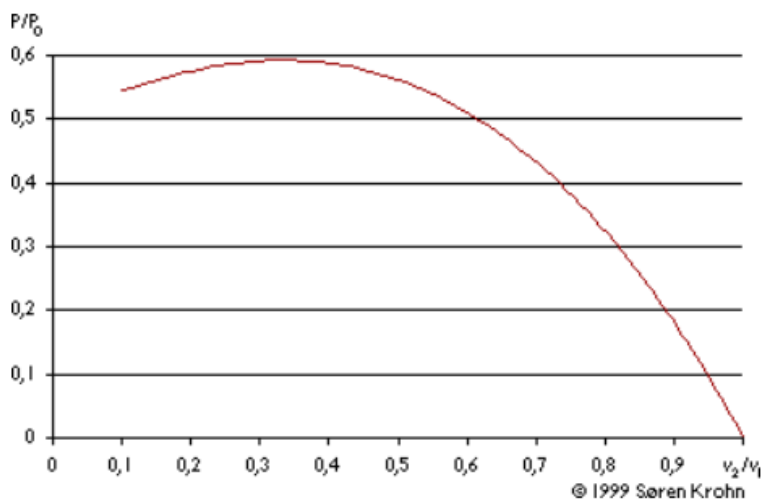


Figura 6 Gráfico de eficiencia eólica potencia vs velocidad.

Danish wind industry association. (2003). Recuperado <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/stat/betzpro.htm>

El límite de Betz o eficiencia de Betz, por Albert Betz físico Alemán, se da para sistemas eólicos en donde se especifica un factor de $(16/27)$ correspondiente a que los sistemas tendrán una eficiencia en su potencia disponible de 59.3%, por lo que la potencia será dada en la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A \eta_{Betz} \quad (1)$$

Donde

ρ : Densidad del viento (kg/m^3)

v : Velocidad media del viento (m/s)

A : Área del rotor/aspas (m^2)

η : Relación de Betz

A continuación, se dará el desarrollo de la anterior ecuación la cual parte del principio de energía ambientado y desarrollado por una fuerza y una distancia:

$$E = W = F * X \quad (2)$$

E : Energía; W : Trabajo; F : Fuerza; X : Distancia

Siguiendo la segunda ley de Newton se tiene la siguiente expresión

$$F = m * a \quad (3)$$

m : Masa; a : Aceleración

Reemplazando (3) en (2) se obtiene:

$$E = m * a * X \quad (4)$$

Se aplicará la ecuación de movimiento $V^2 = V_0^2 + 2 * a * x$, en la ecuación de energía se obtendrá la ecuación de energía cinética:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5)$$

La potencia se deriva del cambio de energía a través del tiempo, por lo que se obtiene:

$$P = \frac{dE}{dT} = \frac{1}{2}v^2 \frac{dm}{dT} \quad (6)$$

$$\frac{dm}{dT} = \rho A \frac{dx}{dT} = \rho Av \quad (7)$$

Finalmente, de la última expresión (7) y aplicándola a la ecuación de potencia se llega a la ecuación de potencia eólica expresada en julios por segundo dispuesta de modo:

$$P = \frac{1}{2}\rho v^3 A \quad (8)$$

6.1.4 Ley exponencial de Hellmann

La velocidad del viento varía de acuerdo con su condición de altura, por lo que se tendrá el modelo estadístico de Hellmann para el desarrollo de las velocidades a las cuales se tendrá el funcionamiento de las turbinas eólicas, el modelo se define como:

$$Vh = Vo\left(\frac{h}{10}\right)^\alpha \quad (9)$$

Donde:

Vh: Velocidad de viento a la altura h en m/s

Vo: Velocidad de viento conocida a 10 metros de superficie en m/s

h: Altura en metros a la cual se lleva el modelo

α : Exponente de Hellmann, depende del terreno

Tabla 2 Valores exponenciales de Hellmann

Mancilla et al	
Terreno	Factor α
Lugares llanos con hielo o hierba	0.8 a 0.12
Lugares llanos (mares, costa)	0.14
Terrenos poco accidentados	0.13 a 0.16
Zonas rusticas	0.2
Terrenos accidentados o bosques	0.2 a 0.26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0.25 a 0.4

6.1.5 Condiciones eólicas y energéticas

La energía offshore hoy en día es una de las mejores alternativas debido a su gran beneficio, en diversidad de aspectos. Actualmente este tipo de energía poco común es una de las más prometedoras de las próximas décadas. La necesidad rentable de encontrar la ubicación adecuada y precisa para un mejor aprovechamiento de la energía eólica dio lugar a seleccionar la ciudad de Coveñas como una de las mejores opciones, ya que la velocidad del viento en las zonas costeras es 1m/s superior al terrestre debido a que, en las costas, no existe tanta resistencia al no ser una superficie rugosa como en el interior, lo que nos garantiza una constante de un 30 a 50% superior a parques convencionales.

Actualmente los potenciales energéticos dados por la UPME, son correspondientes mayormente a la zona del caribe colombiano donde según el Atlas del viento y energía eólica, se provee de una velocidad del viento superficial de 3 a 5 m/s* correspondiente para la zona de estudio en Coveñas, Sucre, el periodo comprendido entre diciembre y abril es donde se encuentra

el anterior rango mencionado, en el siguiente mapa se dará una variación de velocidades y su respectiva localización estimada para un promedio multianual.

*Las velocidades de viento están sujetas a restricción de posición en altura

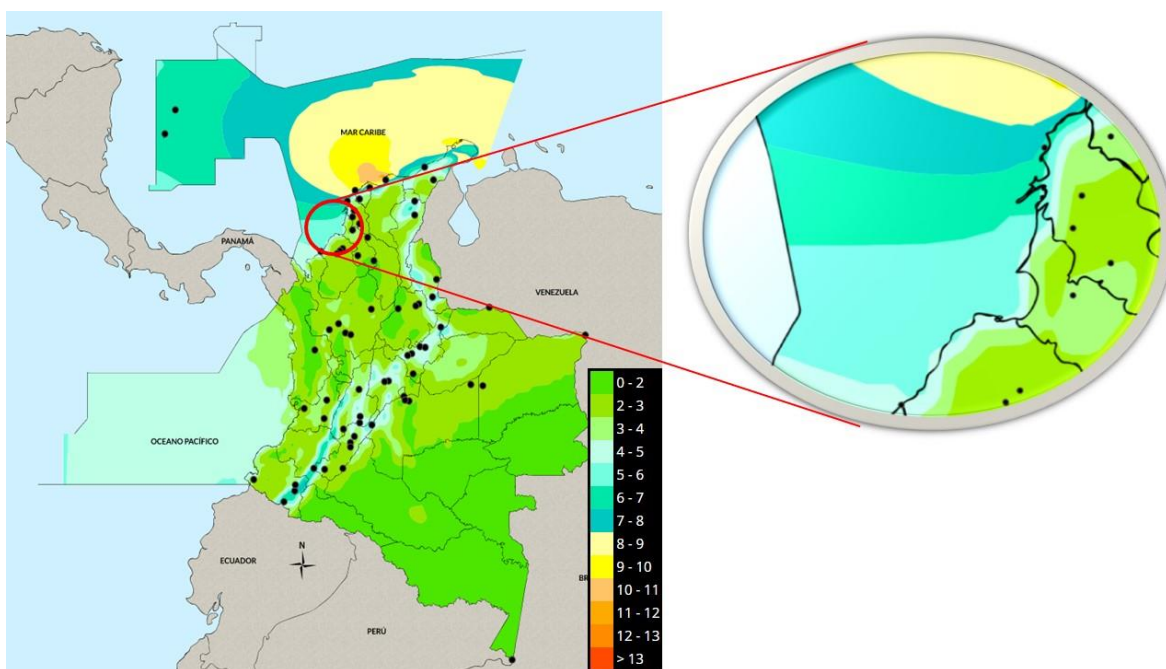


Figura 7 Mapa de velocidades promedio de viento multianual a 10 metros de superficie

IDEAM. (2015). Atlas del viento. Recuperado en la siguiente página:
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

Para las zonas marítimas se tendrá que las velocidades de viento serán superiores tanto así que el rango en el cual varía es de 5 a 14 m/s, dependiendo de la época del año se tendrán ciertos rangos los cuales se tomarán en trimestres, siendo el trimestre 1 el de mayor velocidad de viento respectivamente. La rosa de vientos será respectiva para los 4 trimestres del año adjuntando la dirección y la magnitud en que incide el viento por un histograma (Ramírez, 2015)

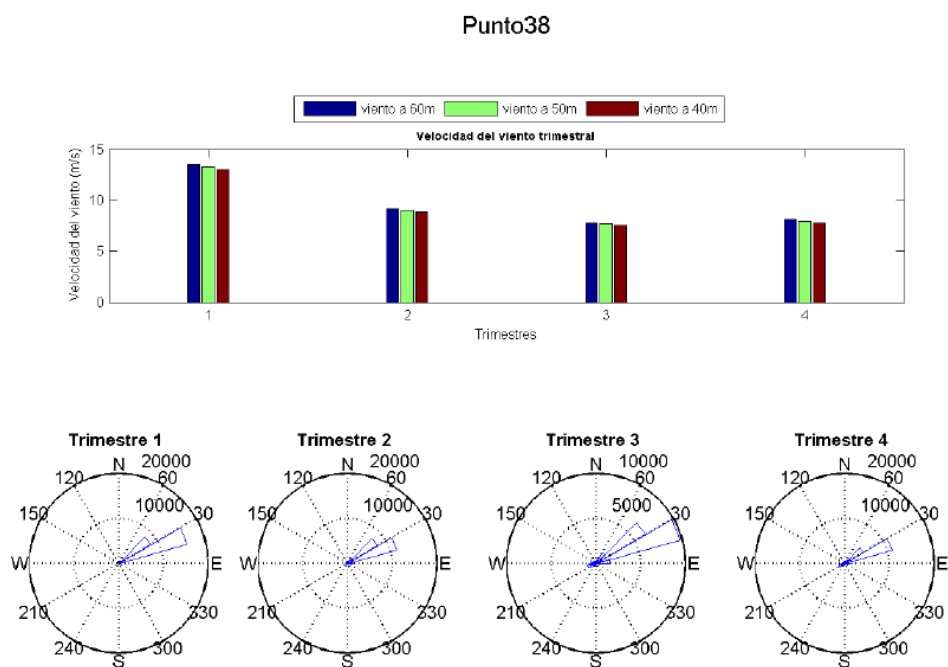


Figura 8 Histograma de velocidades de viento y dirección de la rosa.

Franco. S. (2015). Potencial energía de eólica offshore en el mar caribe colombiano-Santa Marta recuperado de https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/2359/1/FrancoSantiago_2015_PotencialEnergiaEolica.pdf

A continuación, se darán unos histogramas referentes a la energía eólica en el mundo y también de Colombia siendo estos datos ajustados a la generación respectiva en GWh; Colombia al no tener proyectos en alta mar sólo puede ser analizada desde la International Renewable Energy Agency (IRENA) a través de energía onshore a lo largo del territorio colombiano.

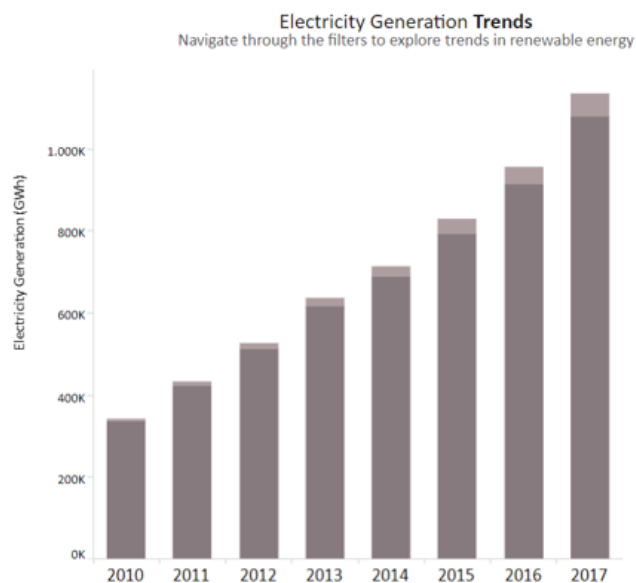


Figura 9 Histograma de generación eléctrica mundial

IRENA. (2020). Recuperado de <https://www.irena.org/wind>

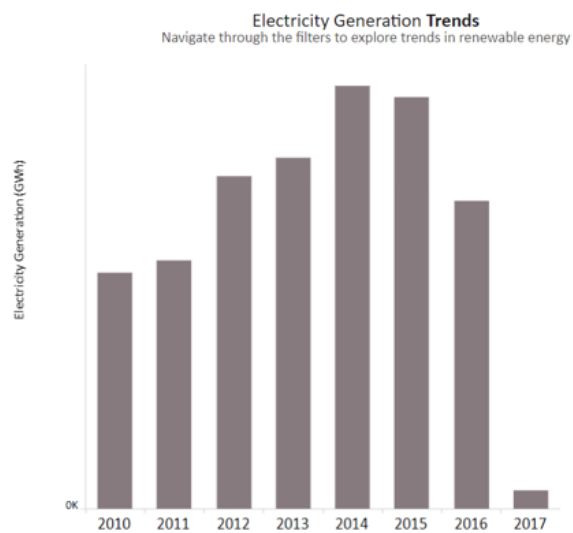


Figura 10 Histograma de generación eléctrica Colombia

IRENA. (2020). Recuperado de <https://www.irena.org/wind>

En el territorio colombiano se da un comportamiento creciente en la energía eólica generada en tierra, el pico más alto se da en el año 2014 donde se generó electricidad por un valor de 70 GWh, posterior a este se ha dado un decremento dados algunos factores en la producción eléctrica.

La industria eólica es el sector energético renovable que más ha hecho uso de las estructuras offshore a través de turbinas o molinos de viento. En los proyectos de extracción de energía eólica offshore, se instalan varias turbinas interconectadas formando una red que conduce energía hacia una subestación offshore. (Rueda-Bayona, 2017)



Figura 11 Esquema de aerogeneradores en el mar

Ecoticias. Revista nuevas Energías. (2019). Recuperado de <http://revistanuevasenergias.com/2019/04/16/un-investigador-espano>

La energía eólica ha dado un gran progreso a lo largo de los años en los cuales se han dado numerables problemas asociados al ecosistema marino ya que en este medio existe riesgo a la intrusión de estas estructuras en el comportamiento de especies marinas y también el riesgo con las especies de aves marinas que puede haber en dichas zonas, así como también el impacto visual.

Como se dispuso anteriormente es de vital importancia que se cuide mucho la localización ya que en ciertas zonas las velocidades de viento son superiores, esto referente a que en zonas marinas se cuenta con un coeficiente de rugosidad (μ) menor a comparación de las zonas terrestres. El potencial energético de las estructuras offshore y onshore difiere dado los rangos de potencial energético de cada uno, siendo las estructuras offshore las de mayor rango.

El diseño de una estructura de soporte depende de la localización de dicha estructura, así como las condiciones in-situ, algunos tipos de fundaciones los cuales se tendrán en cuenta en la siguiente ilustración donde se dan unos rangos de profundidades y así mismo sus tipos de cimientos. Dado el fondo marino se darán las estructuras para cimentar dichos generadores eólicos los cuales son:

- Monopila
- Cuadro o armadura
- Cuadro en trípode
- Gravedad
- Cuadro en tripila



Figura 12 Cimentaciones de turbinas eólicas

Global Energy. (2020). Recuperado de <https://www.windpowermonthly.com>

Teniendo en cuenta lo anterior y dependiendo de la profundidad y el tipo de cimiento a utilizar se dará un prediseño de las turbinas eólicas, como se sabe dada la longitud de un

elemento y si este gira sobre un eje dada la velocidad se dará un par más alto o bajo. En las estructuras offshore se proporcionan las turbinas eólicas de mayor tamaño, estas tendrán unas velocidades de giro más bajas, es decir, una relación inversamente proporcional, al ser este el caso se dará un par más alto y por lo tanto puede que en su funcionamiento se tengan problemas haciendo que la estructura sufra torsión.

6.1.6 Estructuras Flotantes

Este tipo de estructuras han permitido reducción en costos, tiempo y producción de los aerogeneradores. En sus comienzos su construcción se basaba en cimentación en tierra o mar y esta opción incrementa notablemente los costos operativos y de construcción particularmente si es en terreno marítimo, sin embargo, en el mar es donde se ofrece la mejor ubicación, para obtener los beneficios de los mismos en su máxima expresión, por ello se plantea las estructuras o soportes flotantes.

Según el MIT (Massachusetts Institute of Technology, 2018), se clasifican en tres tipos de soporte:

1. Ballast Stabilized (estabilización por lastre): Permite la verticalidad del soporte por medio de un peso en la parte inferior que equilibran las fuerzas mediante un momento estabilizador.
2. Mooring Line Stabilized (estabilización por línea de amarre): consiguen la estabilidad a través de la sujeción al fondo con unos cables en tensión.
3. Bouyancy Stabilized o Spar floater (estabilización por flotabilidad): obtienen el equilibrio gracias a su apoyo sobre la superficie plana del mar.

6.1.7 Aerogenerador Marino

El aerogenerador es el elemento principal en un parque eólico, convierte la energía cinemática del viento en energía eléctrica.

La forma de un aerogenerador marino es muy parecida a uno que esté ubicado en tierra firme y sus mecanismos se mantienen, como la caja de cambios y el generador. La diferencia principal radica en la robustez que deben tener estas turbinas para soportar la corrosión, ya que parte de ellos está en contacto con el agua salada del mar, alcanzando a provocar la rotura del aparato porque está sometido a cargas laterales del viento.

“La corrosión no solo destruye a la parte exterior de la estructura, el interior de la torre y de la estructura flotante “las partes de acero” así como los cables pueden verse sometidos a dicho efecto. Sin embargo, la protección que requiere cada parte del aerogenerador es diferente, la sometida a las condiciones atmosféricas se trata con una base de zinc y pintura, mientras que en la zona sumergida lo más común es dar una protección catódica en forma de zinc” (MEC, 2015)

6.1.8 Cables en centenario y en diagonal

En su gran mayoría las estructuras flotantes marinas utilizan cables en catenaria o de tensión diagonal (taut mooring lines). “Esto es debido a que se pueden utilizar anclas DEA (Drag Embedment Anchor) que su fiabilidad ha sido puesta a prueba a lo largo de los años, además resisten cargas superiores a la máxima capacidad y pueden ser reutilizados. Sin embargo, no

soportan cargas verticales, por lo tanto, para cables que se encuentran sometidos a tensión vertical no son útiles” (SERRANO, 2016). Estos cables tienen por característica poseer una tensión horizontal únicamente para los cables centenario a diferencia de los cables tensionados diagonalmente donde pueden ser vertical y horizontalmente.

6.1.9 CapEx y OpEx

Se definen como un estimador económico en cualquier proyecto, se pueden definir de acuerdo con la enciclopedia financiera consultada en 2020, en perspectiva económica se define como:

CapEx (Capital Expenditures): Es el capital que se necesita como inversión para adquirir o mejorar los activos, tales como una inversión inicial o la compra de bienes físicos.

OpEx (Operating Expenses): Se refiere al indicador económico el cual representa un gasto continuo en lo que se refiere a operación y mantenimiento del proyecto en cuestión.

6.1.10 Valor Presente Neto (VPN)

“Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Siendo los criterios para fines de evaluación si el Valor Presente Neto (VPN) es mayor o igual que cero se acepta la inversión y por el contrario si es menor a cero se rechaza” (Baca, 2002)

El VPN o VAN es un indicador económico empleado en la evaluación de proyectos a largo plazo determinando si es factible su inversión o por si lo contrario genera pérdidas a lo largo de su vida útil.

Para el cálculo del VPN se disponen de todos los flujos al momento presente, estos se verán afectados por un interés determinado por lo que ingresos y salidas, esta tasa de interés o más bien de descuento es un costo de oportunidad dada la rentabilidad a la que se renuncia por invertir en un proyecto diferente a otro esta es denominada tasa de capitalización o de descuento; “La tasa de capitalización es la tasa de interés o costo de oportunidad que se utiliza para capitalizar una inversión a futuro.” (Retana, 2007)

El concepto del valor del dinero a través del tiempo refleja que dichos flujos pueden ser trasladados a cualquier punto del tiempo, estos llevados al presente son el equivalente al valor del proyecto en el mercado, la formula general para obtener el valor presente neto es la siguiente:

$$VPN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FEN_t}{(1+r)^t} = -I + \frac{FEN_1}{(1+r)^1} + \frac{FEN_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FEN_n}{(1+r)^n} \quad (10)$$

Donde:

I: Inversión inicial

FEN: Flujo de Efectivo Neto

r: Tasa de capitalización o descuento (costo de capital)

t: Periodos (años)

Cuando un proyecto tiene un VPN es positivo significa que los rendimientos son mayores a la inversión inicial realizada, es decir, los flujos de efectivo son superiores al costo del capital.

Mientras que si el indicador es negativo este tendrá perdidas y no será factible, los flujos no soportaran las deudas en que se incurrió al invertir y los accionistas se verán afectados.

6.1.11 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno se encuentra directamente relacionada con el VPN, esta representa la tasa de descuento la cual hace que el valor presente de los flujos de efectivo netos sea igual al costo del mismo, es decir, que es la tasa a la cual el VPN se hace cero y se representa mediante la siguiente ecuación:

$$VPN = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FEN_t}{(1 + TIR)^t} \quad (11)$$

Donde:

I: Inversión inicial

FEN: Flujo de Efectivo Neto

TIR: Tasa Interna de Retorno

t: Periodos (años)

El valor de la TIR que satisfaga la anterior igualdad será aquella necesaria para que los flujos sean equivalentes a la inversión inicial por lo cual no habrán pérdidas y el efectivo de los accionistas no se verá afectado. Es importante recalcar que la relación entre la TIR y el VPN es directamente inversa por lo que si la TIR se acrecienta el VPN se disminuirá y si decrece la TIR el VPN se incrementará.

6.1.12 Transmisión energética

La transmisión energética en Colombia se divide por agentes y según los parámetros técnicos del Sistema de Transmisión Nacional (SIN) son 6 las categorías manejadas:

Tabla 3 Líneas de transmisión por agentes operadores

Tomado de: Paratec XM, Agosto 2020

Línea de transmisión	Longitud (km)
Transmisión 110 kV	3.538,42
Transmisión 115 kV	7.694,78
Transmisión 138 kV	15,49
Transmisión 220 kV	2.646,8
Transmisión 230 kV	10.466,78
Transmisión 500 kV	2.535,39

El total de las líneas de transmisión es de 26.897,66 kilómetros al 17 de agosto de 2020, estas podrían clasificarse como se presentan en la costa en la cual se manejan la corriente alterna (HVAC), conmutadores de corriente alterna (HVDC LCC) y convertidor de voltaje en corriente continua (HVDC VSC). La manera de la conducción eléctrica generada por el parque eólico se verá afectada por la configuración que implica dado que los cables submarinos dada su potencia se disipa en ambos extremos por lo que a grandes longitudes no es usada.

La energía de alto voltaje definida como HVAC (High Voltage three-phases Alternating Current transmisión) la cual opera a una tensión de 30-60 kV, el tipo de cableado que es usado es el trifásico el cual cuenta con tres conductores aislados separados formando parte de un solo cable hasta una tensión máxima de 170 kV, como se especificó anteriormente a largas distancias

estos actúan como condensador y generan una potencia reactiva, esto limita la distancia de transmisión a 120 km. (Gonzales, 2018)

Este se maneja de la siguiente manera:

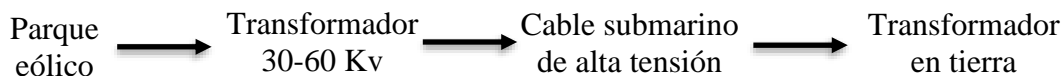


Figura 13 Cable HVAC

Jiangsu Zhongchao Holding Co. Ltd. (2020). Recuperado de <https://zccable.en.made-in-china.com/product/MbDJlcaYaXkt/China-High-Voltage-Power-Cable.html>

La transmisión energética por HVDC entre los dos tipos anteriormente mencionados se dan por el tipo dado que sea corriente alterna o corriente continua. La principal ventaja de la corriente continua de alta tensión, HVDC (High Voltage Direct Current transmisión) dado que es de alta tensión pueden soportar el orden de 800 kV, con potencia oscilante entre los 800 a 1000 MW, por el contrario, al no poder generar tensión y frecuencias de red del parque eólico. Para el

arranque de aerogeneradores se necesitará una alimentación de corriente alterna por lo que será necesario un generador diésel. (Gonzales, 2018)



Figura 14 Cable HVDC

Sumitomo Electric Industries, Ltd. (2020). Recuperado de <https://global-sei.com/products/submarine-cable/>

La conexión eléctrica de un parque eólico offshore se divide en dos escenarios tales como:

- La transmisión de la energía generada por los aerogeneradores se realiza a través de una línea eléctrica hacia una subestación eléctrica offshore; esta continua su paso por una nueva línea hasta la subestación en tierra (subestación onshore), la cual puede estar ya definida por prestadores del servicio.
- El transporte de energía eléctrica producida por los aerogeneradores se realiza de forma directa a la subestación onshore.

La configuración más usada en el mundo a lo largo de proyectos offshore de generación eléctrica prefiere el primer escenario, dichos proyectos al ser lejos de la costa poseen mayores potenciales de energía y por lo tanto el transporte de esta será a mayor tensión asociando a esto se verá menos afectado el transporte al tener una reducción en pérdidas de energía.

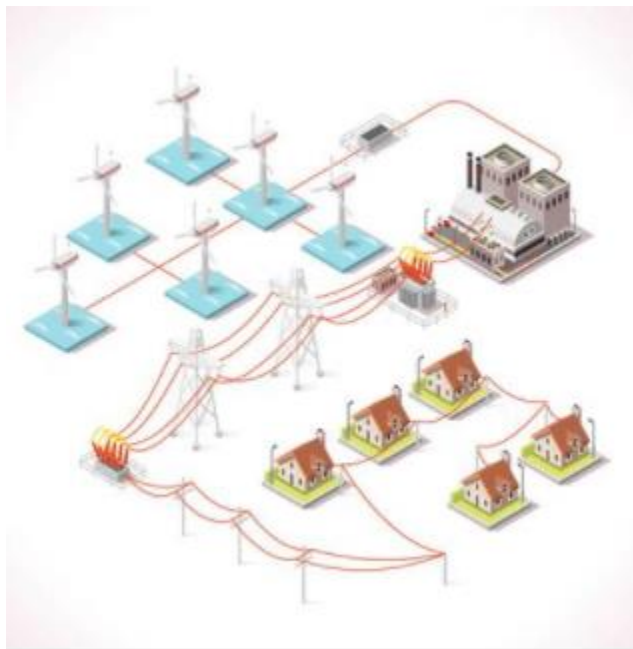


Figura 15 Esquema 1 interconexión con subestación offshore

123RF. (2020). Recuperado de <https://url2.cl/xSNVr>

El objetivo de una subestación eléctrica sea offshore o onshore es regular los niveles de tensión provenientes de los aerogeneradores haciendo que se simplifique el transporte y la distribución de la energía, el principal canon es el transformador; se derivan dos tipos de subestaciones eléctricas las cuales son elevadoras y reductoras, las elevadoras corresponden a la función directa de elevar la tensión a 132, 220 o hasta 440 kV antes de ir la red de distribución, mientras que las reductoras son las habituales para convertir tensiones a 13,2, 15, 45 o 66 kV

para ser entregados a la red de distribución eléctrica las cuales la distribuye hacia su consumo doméstico o comercial. (Gonzales, 2018)



Figura 16 Esquema 2 conexión eléctrica

123RF. (2020) Recuperado de <https://url2.cl/CqWps>

Las subestaciones onshore o subestaciones en tierra son conformadas por la planta de distribución asociada, transformadores, conmutadores y medidores; estas también pueden contar con equipos de compensación de energía dadas las características del operador en cuestión el cual en este caso es la Electrificadora del Caribe S.A. E.S.P. ó la empresa a cargo actualmente.

6.1.13 Instalación

Para la instalación de los primeros parques eólicos en el mundo se hacía uso de barcos y grúas flotantes como lo fue para la instalación del parque Vindeby en Dinamarca en 1991. Al paso de los años se fue mejorando la operación de instalación, lo que dio lugar a un nuevo tipo de buque los cuales son los buques instaladores de turbinas eólicas o Turbine Installation Vessels (TIV), dada su amplia cubierta trasladan componentes necesarios para la instalación de las turbinas eólicas, una vez posicionados se fijan al lecho marino y se eleva sobre el nivel del mar para que con la ayuda de grúas coloquen las bases y las palas de las turbinas eólicas.

Entre los buques usados para la construcción de parques eólicos encontramos al Mayflower Resolution de la empresa MPI Offshore, construido en 2003; este puede subir entre 3 y 46 metros sobre nivel del mar, su diseño fue enfocado al mar del norte y puede ser utilizado en otras ubicaciones de ser necesario tiene capacidad de transporte e instalación de hasta 10 turbinas, algunas características que posee son, peso muerto de 4.857 toneladas y capacidad de carga de 8.920 toneladas y una altura de 68.94 metros. (Gonzales, 2018)

6.1.14 Actualidad energía eólica offshore

Actualmente la capacidad energética instalada en el mundo data según datos del IRENA, 2019 son 28.155 MW, así como también su principal estructura de cimentación la cual es de monopilote y la concentración de estos se centra en Europa y Asia; algunos de los proyectos comparables con la propuesta del parque eólico en Coveñas, Sucre son:

Tabla 4 Parques eólicos offshore

Tomado de: C4 Offshore, Agosto 2020

Nombre	País	Operador	Capacidad Instalada (MW)	# Turbinas	Modelo de turbina	Tipo de cimentación
Avedore Holme	Dinamarca	DONG Energy	10,8	3	Siemens SWT-3.6-120	Gravedad
Beatris Demostration	Inglaterra	SSE Renewables	10	2	Repower 5M	Multipilotes
Blyth	Inglaterra	E.ON	4	2	Vestas V66-2.0 MW	Monopila
Breitling Demostration	Alemania	WIND-Project	2,5	1	Nordex N90/2500 (Offshore)	Gravedad
Choshi Offshore demostration	Japón	Tokyo Electric Power Company	2,4	1	MWT92 2.4 MW	Gravedad
Lely	Países Bajos	Nuon	2	4	Nedwind N40/500	Monopila

6.2 Marco institucional

La Universidad Militar Nueva Granada en sus políticas de fomentar funciones de investigación y extensión, implementando el diálogo de saberes, la construcción de formar una comunidad académica, la retroalimentación y calificación continua de los procesos institucionales, teniendo como visión ejercer la responsabilidad social, que le permita a los estudiantes y futuros profesionales anticipar, proponer y desarrollar soluciones que respondan a las necesidades de la sociedad, ya sea en temáticas de carácter importante como es lo ambiental, tema que se compagina directamente con este proyecto de investigación para el desarrollo de un parque eólico offshore en Coveñas Sucre.

Esta afirmación coincide con el programa de Ingeniería Civil de la Universidad Militar que forma profesionales con sentido de liderazgo, actitud ética y conciencia ambiental, desarrollando habilidades y competencias necesarias para planear, crear, diseñar, implementar y ejecutar proyectos como estos que impulsen el desarrollo y crecimiento de un país, por medio de apoyo e ideas creativas con propósitos de proveer nuevas fuentes de energía, de conservar y preservar el medio ambiente que lamentablemente en la actualidad se encuentra en estado crítico, por falta de información, conciencia y sentido de pertenencia que presenta un gran porcentaje de la población mundial.

De tal forma, este proyecto no solo busca mejorar las fuentes de obtención de la energía sin alterar los recursos continentales, de los cuales se posee gran privilegio por ser Colombia un país

localizado en la zona trópica siendo la única nación de América del sur en tener dos accesos a los océanos más grandes del mundo como lo son el pacífico y el atlántico, anexando también que es el segundo en biodiversidad después de Brasil. Si no se crea e induce cultura ciudadana para evidenciar las problemáticas actuales, con el fin de responsabilizarse y actuar de manera consciente, efectiva y rápida.

6.3 Marco legal

En Colombia actualmente la normativa que hace referencia a la generación de energía eléctrica renovables se presenta a continuación:

1. Ley 143 de 1994; por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. (CONGRESO DE LA REPÚBLICA, Secretaria Senado, 1994).

2. Ley 697 de 2001; Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Este documento es de tipo Leyes y pertenece a Normatividad del Marco Legal de la Entidad. (CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 2001).

3. Ley 1665 de 2013; Por medio de la cual se aprueba el "ESTATUTO DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE Energías RENOVABLES (IRENA)", hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, Secretaria Senado, 2013)

4. Ley 1715 de 2014; Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, Secretaria senado, 2014)

5. Ley 1955 de 2019; Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. “Pacto por Colombia, pacto por la equidad”. El artículo 174 modifica el artículo 11 de la ley 1715 de 2014. (Congreso de Colombia, 2019)

6. Decreto 2492 de 2014; “Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda.” (Ministerio de Minas y Energía, 2014)

7. Decreto 2469 de 2014; “Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración.” (Ministerio de Minas y Energía, 2014)

8. Decreto 1623 de 2015; “Por el cual se modifica y adiciona el decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional y en las zonas no interconectadas.” (Ministerio de Minas y Energía, 2015)

9. Decreto 2143 de 2015; “Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el capítulo III de la ley 1715 de 2014” (Ministerio de Minas y Energía, 2015)

10. Decreto 570 de 2018; Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones. (Ministerio de Minas y Energía, 2018).

11. Resolución 40095 de 2016; Por medio el cual el Ministerio de minas y energía. adopta el plan de expansión de referencia transmisión 2015-2029, elaborado por la unidad de planeación minero-energética, UPME. (Ministerio de minas y energía, 2016)

12. Resolución 1283 de 2016“Por la cual se establece el procedimiento y requisitos Para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables, FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones”.(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

13. Resolución 1312 de 2016; “Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones.” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016)

14. Resolución 703 de 2018 UPME; Por el cual se establece el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No convencionales de energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario que tratan los artículos 12 y 13 de la ley 1715 de 2014 y se adoptan otras disposiciones. (UPME, Ministerio de Minas y Energía, 2018)

15. Resolución 1303 de 2018; Por la cual se modifica la resolución 1283 de 2016 y se dictan otras disposiciones. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

16. Norma Técnica Colombiana 5363 (NTC-5363); AEROGENERADORES, Requisitos de diseño. (ICONTEC, 2013).

17. Norma Técnica Colombiana 5120 (NTC-5120); Clases de molinos, y soportes flotantes o in situ a usar. (ICONTEC, 2013).

6.4 Marco ambiental

A través de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático en 1992, comprometidos con minimizar los efectos de la contaminación existente y con el fin de estabilizar las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y con el objetivo de mantener el aumento de la temperatura global en menos de 2 grados centígrados, consecuente con lo que vendría después en el protocolo de Kioto donde la necesidad de la toma de decisiones orientadas a un cambio energético urgente teniendo en cuenta parámetros de eficiencia, investigación, promoción, desarrollo y aumento de nuevas tecnologías renovables.

Teniendo en cuenta la reducción de los GEI en medida a un 20% proyectado a 2030, teniendo en cuenta el crecimiento energético bajo en carbono por lo que se muestra en el siguiente grafico una reducción significativa implementando medidas de mitigación.

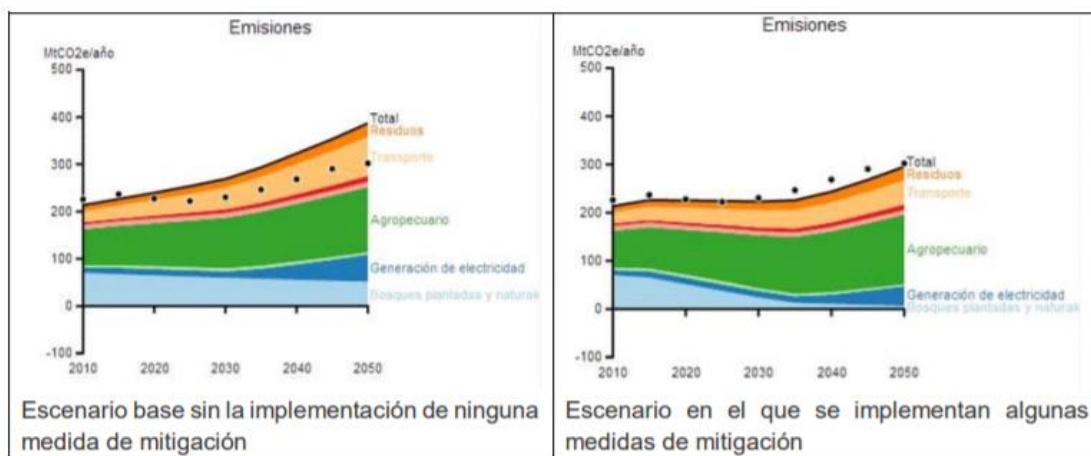


Figura 17 Emisiones de carbono en Colombia a 2050

Asociación de energías renovables. (2017) Recuperado de <https://www.ser-colombia.org/images/Anexo-4.pdf>

El ente encargado de velar por la condición ambiental en Colombia fue creado a través de la ley 99 de 1993 por el cual se dictaminó la creación del Ministerio de ambiente con ello se daría pie al Sistema Nacional ambiental (SINA). Colombia a través del convenio de diversidad biológica por la ley 165 de 1994 se consolidó el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP).

Las licencias de explotación ambiental o proyectos que tengan común factor ambiental con proyectos, se da la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), la cual contribuye en común acuerdo con la normatividad ambiental y proporciona licencias o permisos a proyectos que contribuyan con el desarrollo sostenible del país.

7. Metodología

La metodología del trabajo se centrará especialmente en los objetivos planteados inicialmente, con el fin de alcanzar los resultados esperados, en la cual principalmente se abordará la etapa de prefactibilidad del proyecto expuesta donde se mostrará un mapa desglosándose cada uno de los propósitos estipulados como se mencionó anteriormente dando así, un esquema visual más entendible y rápido al lector, donde se puede observar el proceder de las ideas y actividades que buscan culminar este estudio de prefactibilidad de la manera más acertada a continuación se presentara el mapa conceptual:

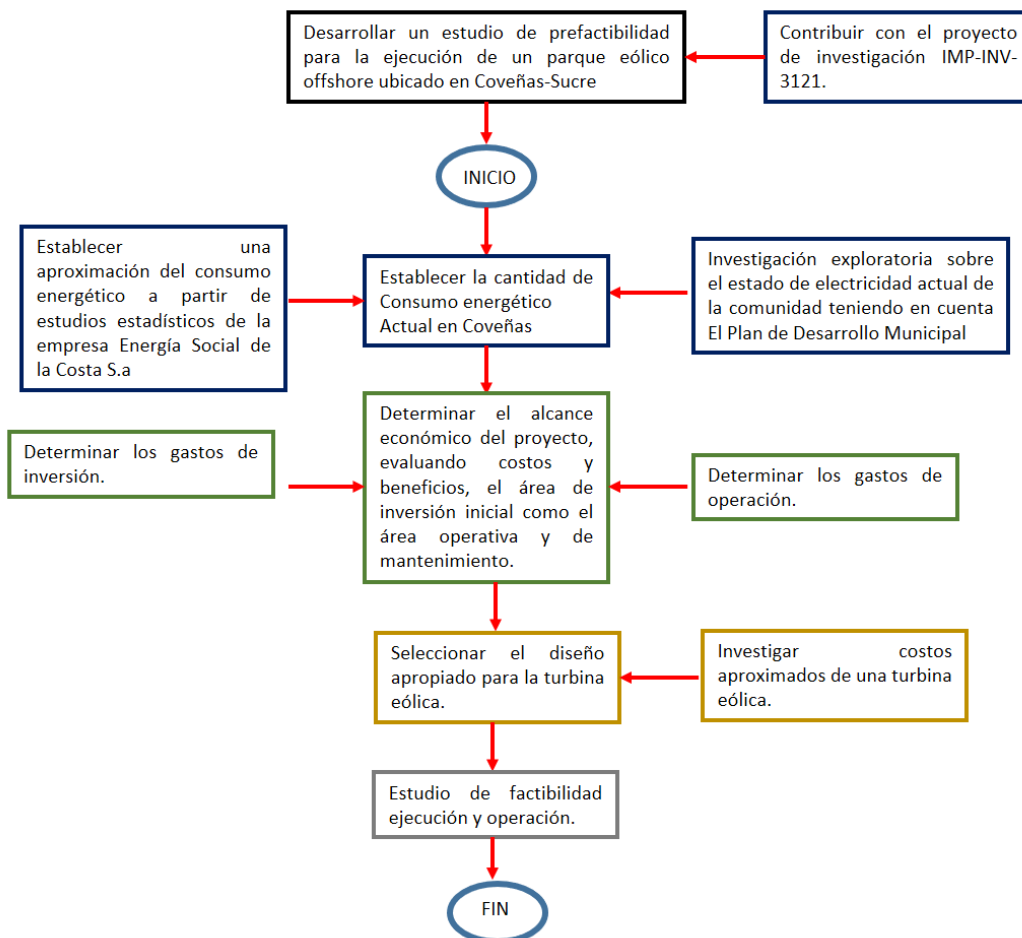


Figura 18 Metodología Empleada en el Proyecto

Elaboración propia

En el anterior mapa se expone de manera gráfica el proceso, donde se ejecutará el actual trabajo de investigación; en primera instancia se busca analizar la situación energética que tiene actualmente en Coveñas Sucre y de esta forma plantear como solución alternativa la implementación de un parque eólico offshore, para así consecutivamente establecer por medio de

datos aproximados del UPME el futuro consumo energético que se tendrá previsto y de tal manera se pueda seleccionar o sugerir un diseño óptimo para suplir la demanda energética.

Una vez se tenga establecido los anteriores parámetros, se analizará la viabilidad económica del proyecto, en la cual inicialmente se partirá en determinar los gastos de inversión en la que se evaluarán los costos aproximados de una turbina eólica basados en la información otorgada por proveedores internacionales, posteriormente se realizará una proyección del posible costo operativo del parque Eólico Offshore y así finalmente culminar la etapa de pre factibilidad del proyecto de investigación.

8. Resultados

8.1 Demanda energética

La ubicación dispuesta como lo es el municipio de Coveñas en Sucre dispone de características diferentes a las de las demás regiones por lo que se centra en variables y su consumo está representado por la siguiente figura:

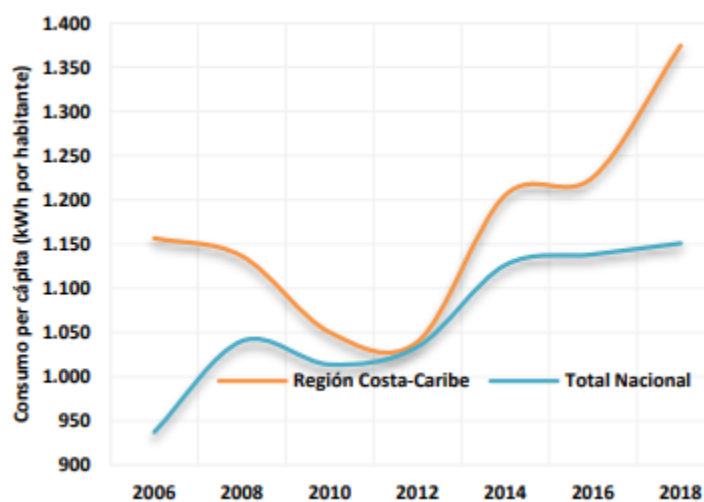


Figura 19 Consumo per cápita

UPME. Base de datos del SUI. 2019, Recuperado de http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Proyeccion_Demanda_Regional_Energia_Abr_2019.pdf

Respecto del año 2006 se da un incremento de 39,95 % del consumo de energía frente al 17,77 % de la población regional; adicional a tal incremento puede especificarse que el incremento es relacionado con fenómenos naturales adyacentes, así como la digitalización. (UPME, 2019)

La región de la costa caribe tiene la siguiente proyección de demanda energética:

Tabla 5 Proyección de la demanda energética- Región Caribe (GWh)

Tomado de: Proyección regional de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia, UPME, 2019

REGION COSTA CARIBE			
Año	Esc. Alto	Esc. Medio	Esc. Bajo
2019	17.918	17.468	17.022
2020	18.372	17.911	17.454
2021	19.015	18.542	18.073
2022	19.623	19.136	18.654
2023	20.150	19.649	19.153
2024	20.734	20.219	19.708
2025	21.354	20.822	20.296
2026	22.006	21.458	20.915
2027	22.725	22.159	21.598
2028	23.486	22.901	22.321
2029	24.252	23.649	23.051
2030	25.062	24.440	23.822
2031	25.964	25.320	24.681
2032	26.888	26.222	25.561
2033	27.843	27.155	26.472

Dado el horizonte del proyecto en años el cual se espera sea desarrollado entra 2020 a 2040 y la poca información disponible sobre la ubicación del mismo se emplean métodos de proyección de población y estimación energética, dada la población actual el proyecto se considera de complejidad media-alta la cual, según métodos del RAS, 2017 hará que se empleen modelos lineales, geométricos y exponenciales además de compararlos con otras poblaciones mediante una comparación demográfica.

Tabla 6 Proyección de población, Coveñas

Elaboración propia

Años de proyeccion	Método aritmético	Método geométrico	Método exponencial	Promedio
2018	17091	17091	17091	17091
2020	17987	18222	13885	16698
2021	18434	18815	14080	17110
2022	18882	19427	14277	17529
2023	19330	20060	14477	17955
2024	19778	20713	14680	18390
2025	20225	21387	14885	18832
2026	20673	22083	15094	19283
2027	21121	22802	15305	19743
2028	21569	23544	15520	20211
2029	22016	24310	15737	20688
2030	22464	25102	15957	21174
2031	22912	25919	16181	21670
2032	23360	26762	16408	22177
2033	23808	27633	16637	22693
2034	24255	28533	16870	23220
2035	24703	29462	17107	23757
2036	25151	30420	17346	24306
2037	25599	31411	17589	24866
2038	26046	32433	17836	25438
2039	26494	33489	18086	26023
2040	26942	34579	18339	26620
2041	27390	35704	18596	27230
2042	27837	36867	18856	27853
2043	28285	38067	19121	28491
2044	28733	39306	19388	29142
2045	29181	40585	19660	29809

Dados los censos se procede a efectuar cálculos correspondientes a proyecciones de población, como Coveñas es consolidado en 2002 como municipio de Sucre por lo que se tomaron los censos correspondientes a los años 2005 y 2018.

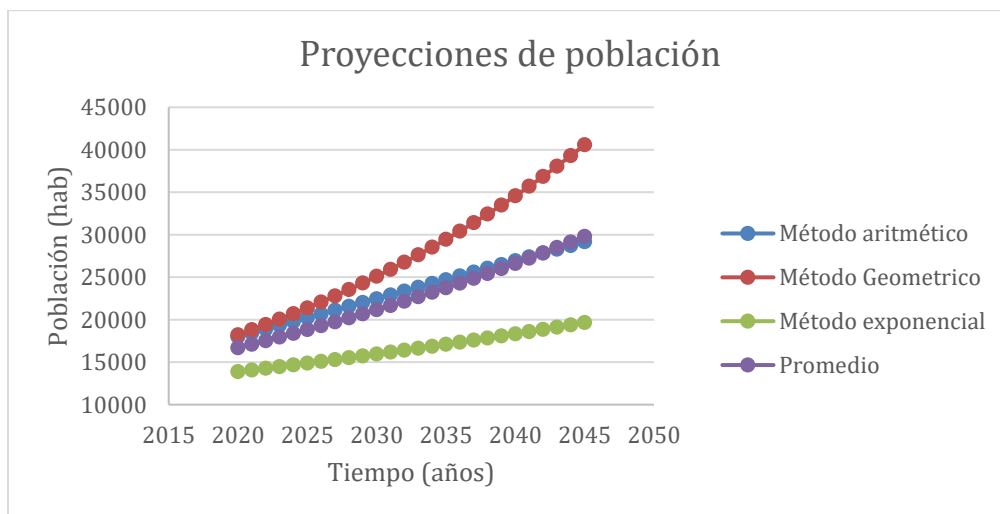


Figura 20 Proyección de población, Coveñas, Sucre

Elaboración propia

La comparación demográfica se dio con algunos municipios los cuales son comparables con Coveñas y se dan en la siguiente tabla:

Tabla 7 Comparación demográfica

Elaboración propia

Tabla resumen				
Año	Población A	Población B	Población C	Población D
	Coveñas	Juan de Acosta	El reten	San Pedro
2005	11270	14184	18417	16211
2018	17091	18828	19345	18029
2020	16698	18519	19285	17911
2025	18832	20133	19580	18501
2030	21174	21846	19878	19104
2035	23757	23670	20178	19719
2040	26620	25615	20482	20348
2045	29809	27696	20788	20991

Siendo así el municipio de Juan de Acosta el más acertado dado que los otros dos comparados no tienen un crecimiento de población parecido al de Coveñas. A continuación, se proporciona los cálculos y proyecciones correspondientes para los consumos y el valor económico esperado:

Tabla 8 Proyección del consumo energético, Coveñas

Elaboración propia

Consumo Energético Total Proyectado (KWh)			
Año	método Lineal	método Exponencial	Promedio
2020	67,558,696.7	63,592,765.4	65,575,731.1
2025	76,206,973.9	67,486,621.6	71,846,797.8
2030	84,855,251.1	71,618,903.0	78,237,077.0
2035	93,503,528.2	76,004,208.6	84,753,868.4
2040	102,151,805.4	80,658,031.4	91,404,918.4
2045	110,800,082.6	85,596,812.9	98,198,447.7

El consumo energético esperado en Coveñas dado el promedio de ambos métodos se espera sea de 98,198 GWh, dado que el método geométrico de proyección comparándolo gráficamente con los otros es muy sesgado y poco útil dado su disparidad, también dados los datos históricos representados según información proporcionada por el Sistema Único de Información (SUI), se da un precio por Kilovatio hora de 398 \$ COP en comparación con los registros mostrados a continuación se tiene un incremento de 6,2 % respecto de los años 2016 a 2019.

Tabla 9 Medidores energéticos en Coveñas, SUI

Tomado de: SUI, 2020

Año	Consumo Total (KWh)	Suscriptores	Total Cobro
2016	60,640,075.0	4965	\$ 22,682,296,429
2017	63,514,713.8	5160	\$ 21,609,193,970
2018	65,617,263.0	5314	\$ 23,667,082,205
2019	65,829,041.3	5797	\$ 26,293,189,062

Tabla 10 Total cobro proyectado

Elaboración propia

Total Cobro Proyectado (\$-COP)			
Año	Método Lineal	Método Exponencial	Promedio
2020	\$ 27,496,819,939	\$ 24,707,982,851	\$ 26,102,401,395
2025	\$ 33,514,974,327	\$ 27,496,355,110	\$ 30,505,664,719
2030	\$ 39,533,128,715	\$ 30,599,403,800	\$ 35,066,266,258
2035	\$ 45,551,283,103	\$ 34,052,641,130	\$ 39,801,962,116
2040	\$ 51,569,437,490	\$ 37,895,586,968	\$ 44,732,512,229
2045	\$ 57,587,591,878	\$ 42,172,221,127	\$ 49,879,906,503

Basados en los consumos energéticos y el cobro respectivo de este se da una proyección a la totalidad del cobro efectuado dado en la tabla (10), donde se ve evolucionado un cobro promedio

de 508 \$-COP/KWh donde el incremento se dará con relación a un 21 % al último año especificado por información del SUI.

8.2 Selección de la turbina eólica offshore

La ciudad de Coveñas dada su ubicación posee características de viento capaces de soportar un proyecto de generación energética eólica, a continuación, se dará aspectos meteorológicos dados por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) las cuales son equivalentes sobre la ciudad de Coveñas.

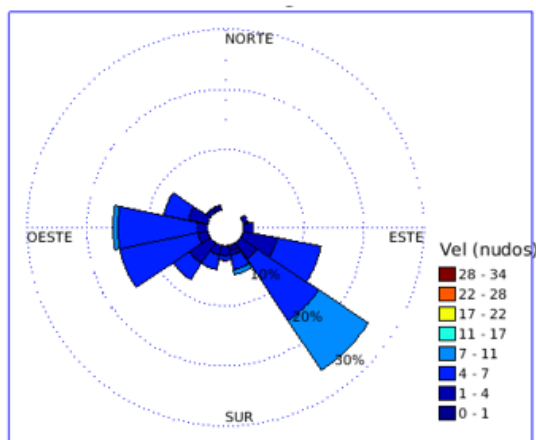


Figura 21 Rosa de vientos, agosto

CIOH. (2020). Recuperado de <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ResumenCovenas4.php>

Los datos dados por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e hidrográficas son equivalentes a datos sobre superficie, los datos con los cuales se escogerá la turbina eólica serán

proporcionados por el IDEAM sobre la ubicación del proyecto sienta una superficie marítima, en la siguiente tabla se darán los parámetros de velocidad a distintas alturas:

Tabla 11 Rangos de velocidades de viento a diferentes alturas

Tomado de: IDEAM-Atlas del Viento, 2020

Mes	50 m	100 m
	Velocidad media (m/s)	Velocidad media (m/s)
1	7 a 8	8 a 9
2	7 a 8	8 a 9*+
3	7 a 8*-	8 a 9*+
4	6 a 7*+	8 a 9
5	6 a 7	7 a 8
6	6 a 7*-	7 a 8
7	6 a 7*-	7 a 8
8	6 a 7*-	7 a 8
9	6 a 7*-	7 a 8
10	5 a 6*+	7 a 8*-
11	5 a 6*+	7 a 8
12	6 a 7	7 a 8*+

*Variable sujeta a disposición en rango de aproximación sea mayor o menor

Determinados rangos de velocidad y dadas las proyecciones energéticas consagradas en la tabla (8) se da una primera aproximación a la turbina eólica a escoger, entre los fabricantes más destacados se encuentra Vestas, Siemens, Nordex y Leitwind donde los modelos de cabecera de cada uno son de gran confiabilidad y rendimiento esperado variando desde los 800 kW hasta los 6000 kW siendo los de rangos más bajos manejados por Leitwind y los más altos manejados por Siemens y Vestas. Dado el modelo la altura de funcionamiento es diferente por lo cual un parámetro para su determinación será la velocidad media anual.

Dadas las velocidades de viento nominal tomadas del IDEAM se procede a hacer una aproximación a la velocidad a la cual trabajara la turbina eólica, se especifica a continuación la correlación y el respectivo cálculo de velocidades siguiendo el modelo de Hellmann.

Tabla 12 Velocidades de viento a diferentes alturas

Mes	Elaboración propia		
	10 m	60 m	80 m
	Velocidad media (m/s)	Velocidad media (m/s)	Velocidad media (m/s)
1	4.5	7.9	8.7
2	5.1	9.0	9.9
3	5.4	9.5	10.5
4	5.0	8.8	9.7
5	4.5	7.9	8.7
6	4.1	7.2	7.9
7	3.3	5.8	6.4
8	2.8	4.9	5.4
9	3.2	5.7	6.2
10	3.0	5.3	5.8
11	3.5	6.2	6.8
12	4.0	7.1	7.7
Promedio Anual	4.0	7.1	7.8

Las velocidades consignadas en la tabla (12) son congruentes con los datos promedio del atlas del IDEAM, por lo que detallando las curvas de potencia de las turbinas eólicas el potencial varia para un rango entre los 800 kW y los 5000 kW donde algunas coinciden con la caracterización del viento; proveedores tales como Leitwind, Vestas y Siemens Gamesa son los mejores dada la disponibilidad de información.

Dadas las velocidades anuales de viento se escogen los siguientes modelos de turbinas eólicas:

Tabla 13 Modelos de turbinas eólicas

Tomado de: Models, 2020

	Leitwind	Leitwind	Vestas	Siemens Gamesa
Ficha técnica	LWT80 1.0 MW	LWT77 1.5 MW	V117-4.2 MW	SWT 2.3-113
Altura (m)	80.0	80.0	91.5	99.5
Potencia nominal (MW)	1.0	1.5	4.2	2.3
Velocidad mínima de corte (m/s)	3.0	3.0	3.0	3.0
Velocidad máxima de corte (m/s)	25.0	25.0	25.0	25.0
Numero de palas	3.0	3.0	3.0	3.0
Área barrida (m ²)	4608.0	4608.0	10751.0	10000.0
Densidad de potencia (W/m ²)	217.0	325.5	390.7	230.0
Tipo de convertidor	IGBT trifásico	IGBT trifásico	IGBT	IGBT
Voltaje (V)	690 ±10%	690 ±10%	-	690.0
Frecuencia (Hz)	50-60 ±5%	50-60 ±5%	50-60	50.0
Capex	1,500,000.0 €	1,500,000.0 €	-	-
Opex	32,000.0 €	37,500.0 €	-	-
Velocidad de viento (m/s)	7.8	7.8	8.9	8.9
Producción (MW/año)	1102.8	1205.5	4785.1	3669.8
Turbinas necesarias	60	55	14	18

En un análisis simplificado se data una variable importante la cual es las turbinas necesarias para llegar a cubrir el 100% de la capacidad energética actual al año 2020 donde el parámetro de diseño será de 65.575 MW/año, para dicha producción se necesitarán ciertas turbinas dada la curva de potencia correspondiente donde los que se verán afectados son del fabricante Leitwind por lo que este se descarta inmediatamente, quedando así los proveedores VESTAS y Siemens Gamesa. Un parámetro para decidir sobre cual elegir será la producción dada su potencia nominal donde el fabricante Siemens Gamesa proporciona 1000 MW/año menos que Vestas, la

diferencia entre modelos radica en aproximadamente la mitad de su potencia nominal por lo que se optará por una configuración con el productor Siemens Gamesa con su modelo SWT-2.3-113.



Figura 22 Turbina eólica Siemens SWT-2.3-113

Models. (2013). Recuperado de <https://es.wind-turbine-models.com/turbines/110-siemens-swt-2.3-113>

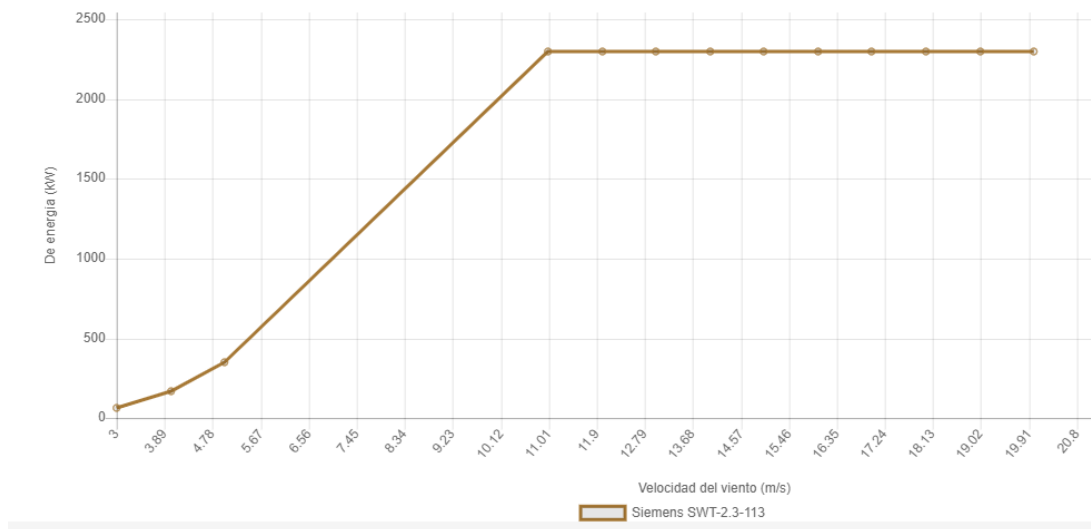


Figura 23 Curva de potencia, aerogenerador Siemens SWT-2.3

Models. (2013). Recuperado de <https://es.wind-turbine-models.com/turbines/110-siemens-swt-2.3-113>

Dada la curva de potencia se puede ver que su velocidad de inicio es de 3 m/s generando 66 Kw y el pico de energía donde alcanza la potencia nominal es a la velocidad de 11 m/s.

8.3 Potencial eólico Coveñas, Sucre

La velocidad anual promedio de la zona de estudio según el Atlas del Viendo (IDEAM) es de 4 m/s dado que en una zona marítima al poseer una rugosidad menor que la superficie terrestre el viento se comporta de manera diferente. Siguiendo el uso del modelo exponencial de Hellmann se estima la velocidad a la cual trabajara la turbina, dicho modelo hace uso de un exponente relacionado a las diferentes zonas, se representa su comportamiento en la siguiente figura.

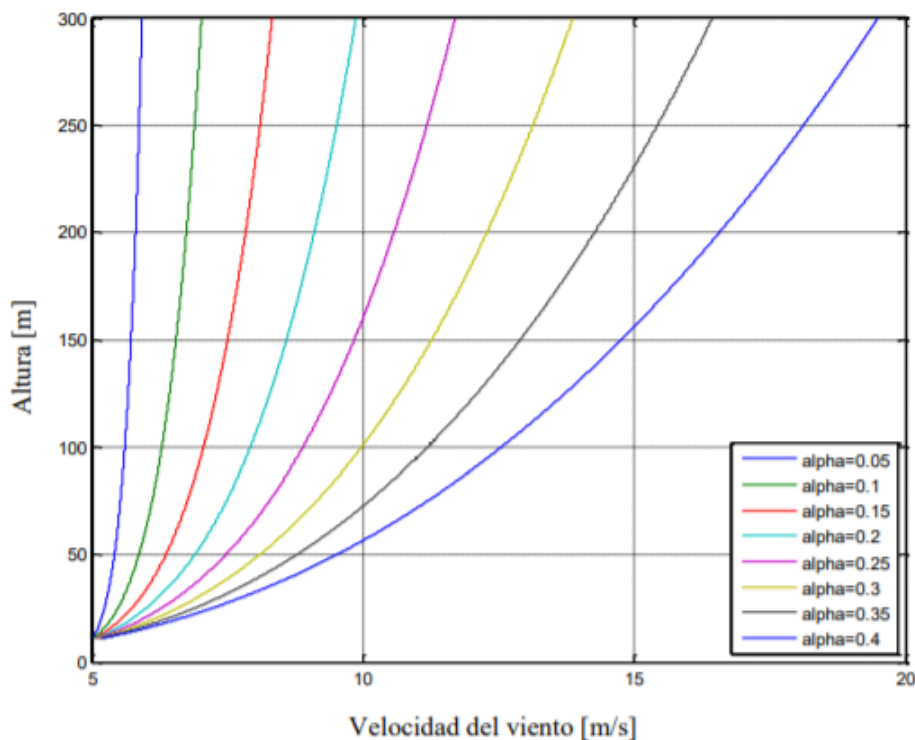


Figura 24 Variación de la velocidad de viento respecto la altura a diferentes exponentes de Hellmann

Caracterización del viento. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5116/fichero/Cap%C3%ADtulo+2.pdf>

Dado el comportamiento de estos se da que a partir del coeficiente de 0.2 se empieza a notar una diferencia notable en las velocidades de viento calculadas, el parámetro (α) se calcula de dos maneras distintas donde una es usando una altura y una velocidad de referencia con la siguiente ecuación según la correlación de Justus, 1978.

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 * \log (V_{ref})}{1 - 0.088 * \log \left(\frac{h_{ref}}{10} \right)} \quad (12)$$

Donde:

V_{ref} : Velocidad de viento de referencia en m/s.

H_{ref} : Altura de la medición de la velocidad de viento en metros.

Siendo la ecuación (12) compatible dados los datos disponibles ya que otra manera de determinar el parámetro exponencial de Hellmann es que se posea una base de datos con velocidades de viento a diferentes altura para una correlación más acertada.

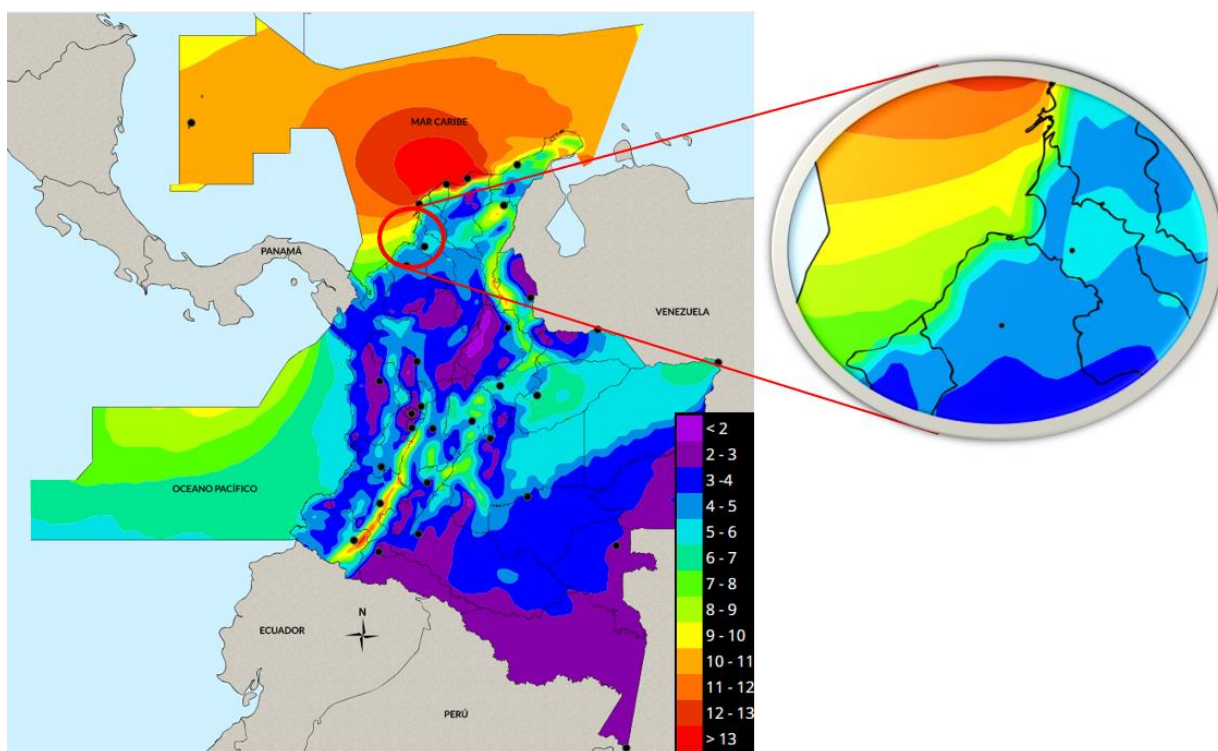


Figura 25 Velocidad máxima de viento

IDEAM. (2015). Atlas del viento. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

El potencial eólico se desarrollará de acuerdo con la teoría vista anteriormente dado el límite de Betz y los cálculos relacionados con la potencia eólica en Coveñas, Sucre estos se consignarán en la siguiente tabla:

Tabla 14 Producción energética por turbina SWT-2.3

Elaboración propia

Velocidad media (m/s)	Velocidad según teorema de Betz (m/s)	Mes	Horas	Potencia (MW)	Producción energética (MWh/mes)
9.9	5.9	Enero	744	0.644	479.1
11.2	6.7	Febrero	672	0.903	606.8
11.9	7.1	Marzo	744	0.103	76.9
11.0	6.6	Abril	720	0.871	627.1
9.9	5.9	Mayo	744	0.644	479.1
9.0	5.4	Junio	720	0.482	347.0
7.3	4.3	Julio	744	0.226	168.1
6.2	3.7	Agosto	744	0.140	104.2
7.0	4.2	Septiembre	720	0.208	149.8
6.6	3.9	Octubre	744	0.161	119.8
7.7	4.6	Noviembre	720	0.280	201.6
8.8	5.2	Diciembre	744	0.417	310.2
Total					3669.8

Estimada la producción energética anual se da un recalcu para hallar las turbinas necesarias para cubrir la demanda energética actual en Coveñas la cual es de aproximadamente 65.000 MWh/año, se necesitarán 18 turbinas para cubrir tal demanda energética por lo cual se propone un arreglo de 6x3.

8.4 Ubicación

La ubicación seleccionada para la instalación del parque eólico esta aproximadamente a 4.5 km del puerto de Coveñas y a 2.5 kilómetros de la zona costera entre Coveñas y Santiago de Tolú, la ubicación se aproxima a las coordenadas $9^{\circ}29'19.10''N$ latitud y $75^{\circ}40'40.28''O$ longitud, la zona disponible para no afectar el tránsito de embarcaciones se da en la siguiente figura.



Figura 26 Área de ubicación del parque eólico offshore

Google Earth. (2020)

El área demarcada corresponde a 34.8 km^2 por lo que es área suficiente para la disposición de las turbinas eólicas offshore, la ubicación de estas se dará por el siguiente esquema.



Figura 27 Configuración y conexión del parque eólico offshore

Elaboración Propia

La disposición de las turbinas eólicas offshore se ubica exactamente sobre las zona de planteamiento dada la figura (26) por lo que no se encontraran problemas con las rutas de buques marítimos y barcos pesqueros. Estas turbinas se ubican de acuerdo a la dirección del viento el cual viene el noreste y se dirige hacia el suroeste, la separación entre turbinas es de 4 a 5 veces el diámetro de la turbina en específico se da una separación alrededor de un perímetro de 1,2 km alrededor de cada turbina; el efecto estela en los parques eólicos se da a razón de la variación de velocidades al pasar por cada turbina y se representa en la siguiente figura.

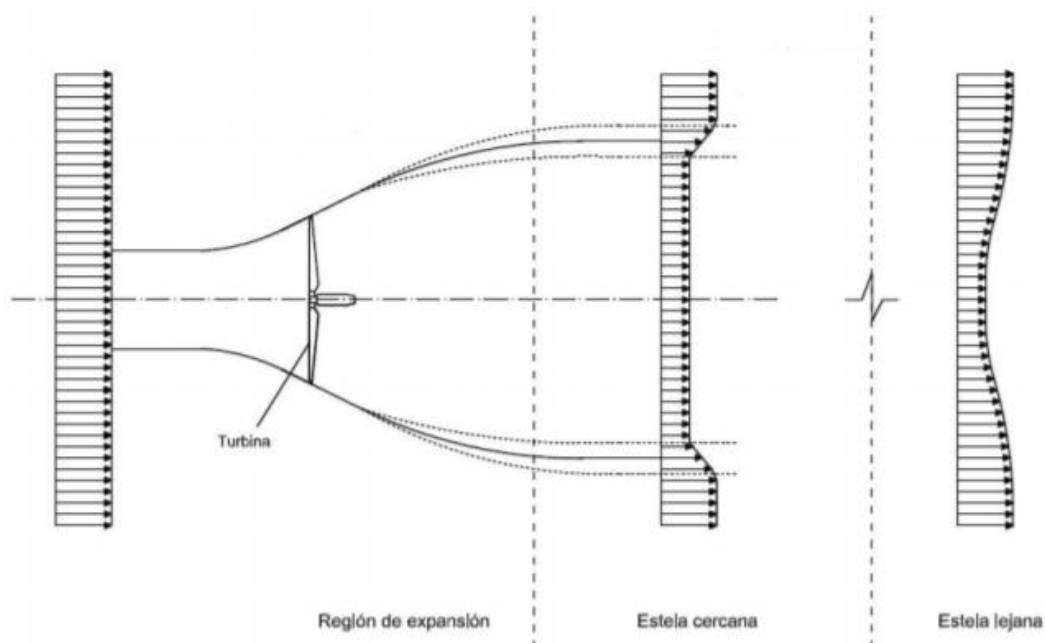


Figura 28 Efecto estela en turbinas eólicas

Gonzales. I. (2018) ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE FLOTANTE EN LA COSTA DE CANTABRIA

8.5 Sistema de fundación para aerogenerador

El sistema de fundación a seleccionar se dará dada la ubicación del parque eólico, por la herramienta Google Earth y el área demarcada vista en la figura (26), donde los resultados de profundidad y batimetría varían desde los 5 metros hasta los 30 metros, este rango servirá para determinar la estructura de fundación. Se propone una fundación de tipo mono pilote donde el impacto en el lecho marino será menor a que si se usara un sistema por gravedad u otro.

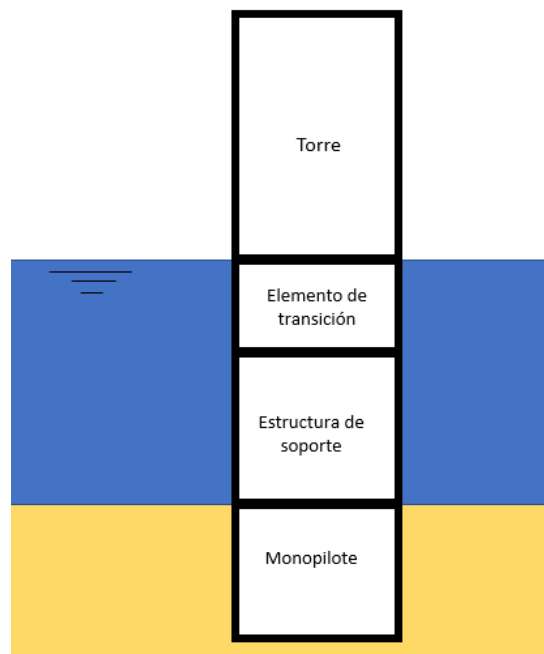


Figura 29 Partes de una estructura offshore

Elaboración Propia

El sistema de fundación de mono pilote se da en una representación de una estructura metálica así como la propia estructura del aerogenerador, la profundidad máxima a la cual se dispone de esta estructura de cimentación es de 25 metros; el diámetro del pilote dependerá directamente de la estructura en cuestión el cual varía de 4 a 5 metros el cual su sistema de soporte será hincado o perforado con carga de oleaje moderada. Además se presentan características estructurales como bajos momentos, esfuerzos y rigidez (Candel, 2014)

Para los casos donde la profundidad sea excedida o la carga de oleaje sea superada se dispondrá un sistema de cimentación de tipo tripila con una subestructura de tipo chaqueta el cual es esencial en profundidades de aguas intermedias, mientras que el suelo no sea de tipo rocoso será

factible este tipo de cimentación y en el caso extremo donde no se cuenten con estos se dispondrá del uso de plataformas de tipo petroleras.

Las cimentaciones de tipo mono pilote en los cuales se basarán el proyecto del parque eólico offshore en Coveñas, Sucre tiene ciertas facilidades donde la secuencia de instalación puede tardar menos de 24 horas y su proceso se subdivide en:

- Transporte de mono pilotes en barcazas
- Elevación de la parte superior del pilote con ayuda de una grúa situada en el buque
- El mono pilote desciende hasta el fondo del lecho marino produciendo una penetración inicial
- Instalación de mono pilotes por métodos convencionales de vibración, perforación o siendo hincados
- Instalación del elemento de transición tal como se muestra en la figura (30), alineamiento y cementación



Figura 30 Proceso de instalación de mono pilotes

Gonzales. I. (2018) ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE FLOTANTE EN LA COSTA DE CANTABRIA

Una alternativa a la cimentación de mono pilotes en acero como lo es actualmente es la implementación de mono pilotes de hormigón armado, estos resultan ser más económicos que los usados con el material en acero y su precio no tiene la variabilidad que poseen los de acero, la principal ventaja de estos es que pueden ser usados en fondos rocosos.

Dados los datos presentados y la batimetría del terreno aproximado se dispondrá del siguiente esquema para efectuar la referencia directa a las cimentaciones a utilizar respectivamente.

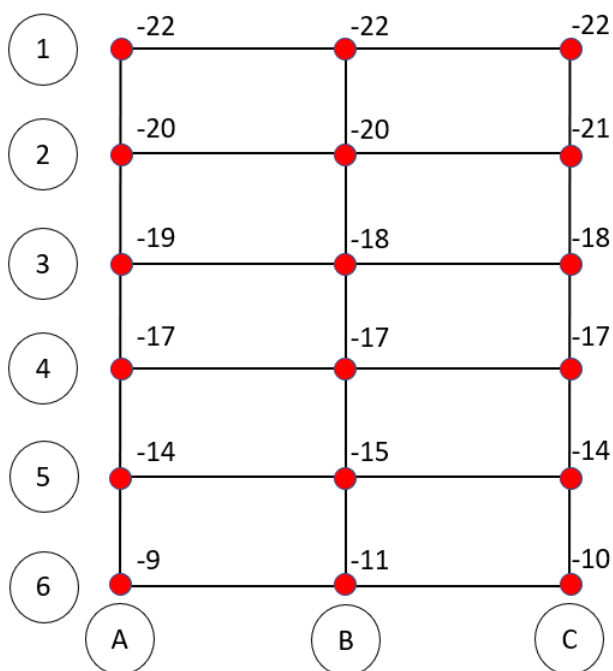


Figura 31 Configuración del parque eólico

Elaboración Propia

Determinadas las profundidades respectivas en el arreglo del parque eólico se determina el rango de profundidades el cual es de 9 a 22 metros por lo cual la cimentación de tipo mono pilote es suficiente para el sistema de soporte de las turbinas eólicas; “Para una turbina de 5 MW y profundidad de 30 metros los mono pilotes de referencia contarán con un peso aproximado de 1000 toneladas, incluyendo el elemento de transición.” (Gonzales, 2018)

Los costes de fabricación se evaluarán de acuerdo al factor de complejidad de cada estructura este se refleja características de fabricación en masa, idoneidad y la fabricación de componentes,

este porcentaje es correspondiente para mono pilotes de 80 %, donde se especificará un costo unitario de 1000 €/ton. Dado que se tiene que hacer un ajuste por pendiente en la implementación del parque eólico offshore este valor será diferencial en rangos de 10 metros, es decir que su peso tendrá una variabilidad de acuerdo al precio posterior de producción e instalación.

Tabla 15 Costos totales de producción del parque eólico

Elaboración Propia

Mono pilote	Profundidad (m)		
	30 a 20	20 a 10	10 o menor
# de estructuras	4.0	12.0	2.0
Peso por estructura	1000.0	750.0	500.0
Factor de complejidad	80.00%		
Costo	4,000,000.0 €	9,000,000.0 €	1,000,000.0 €
Coste de fabricación	3,200,000.0 €	7,200,000.0 €	800,000.0 €
Coste total de producción	7,200,000.0 €	16,200,000.0 €	1,800,000.0 €
Total costo de producción	25,200,000.0 €		

8.6 Sistema de transmisión eléctrica

El sistema de conexión eléctrica como se especificó en la teoría se dan tres tipos de conexiones eléctricas entre el parque eólico offshore y la costa, entre ellas la más opcionada para este proyecto es la de corriente alterna de alto voltaje AC-(HVAC), dado que según la ubicación del proyecto este no sobrepasa los 10 km de conexión por lo que la eficiencia no se ve castigada y los costos no se verán extralimitados, por especificación se da una conexión de tipo IGBT trifásica.

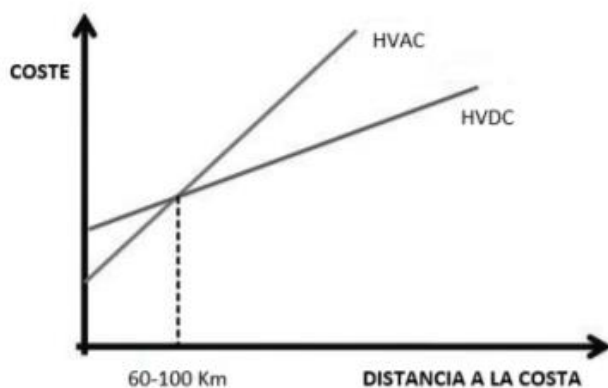


Figura 32 Grafico distancia-coste, líneas HVAC-HVDC

Gonzales. I. (2018) ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE FLOTANTE EN LA COSTA DE CANTABRIA

Los aerogeneradores producen electricidad y como especifica en la ficha técnica es de 690 V, esta es insuficiente para el transporte de la misma, por esto el aerogenerador dispone de un transformador el cual es el encargado de aumentar la tensión, posteriormente el transporte eléctrico se da hasta la subestación en este caso Onshore, finalmente la tensión a la cual se lleva a puntos de distribución es alta adecuada para su transporte.

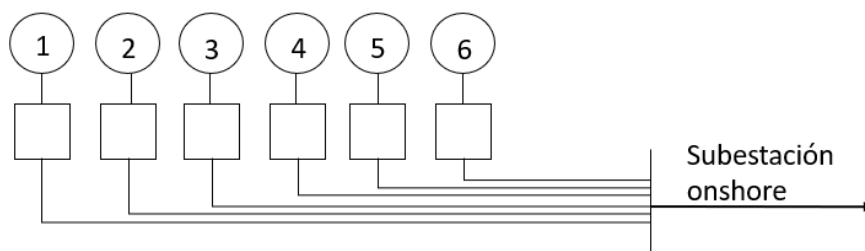


Figura 33 Esquema general de conexión eléctrica

Elaboración Propia

La ubicación de las turbinas estará perpendicularmente a la dirección de los vientos siendo específicos de la figura (27), por recomendación se determina que el cableado o la línea submarina este enterrada a una profundidad mínima de 2 a 4 metros debajo del lecho marino para evitar impactos ambientales en cuanto a que especies marinas como tiburones puedan dañarlo mordiénolo además de poder llegar a afectar el ecosistema marino. El sistema que compone cada aerogenerador se especifica con el siguiente esquema.

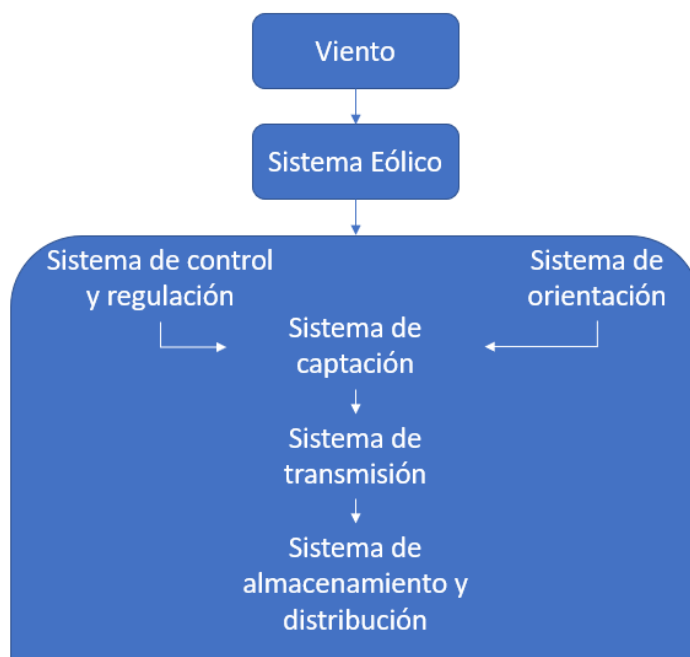


Figura 34 Sistemas de un aerogenerador

Elaboración Propia

El costo estimado para una conexión en base a un tipo de cableado de 36 KV es de 210.000 €/km dado que la distancia total de cableado es de 31 km aproximadamente el costo asociado será de 6'510.000.00 € y dado que no se contempla una subestación offshore se tomará como

referencia la ya existente en tierra por parte del prestador del servicio actual

Electricaribe.(Gonzales, 2018)

8.7 Costos de inversión (CAPEX)

Los costos de inversión presentes en el proyecto están clasificados en cuatro aspectos principales dados los costos de inversión, tales como el costo compartido de aerogeneradores donde los costos de la turbina eólica incluye su fabricación, transporte y la instalación de la turbina dados los factores adyacentes al lugar de estudio; el costo compartido de la conexión a la red dichos costos cubren la distribución de cableado, subestaciones y estructuras necesarias para la red; el costo compartido de construcción el cual incluye el transporte e instalación de la turbina y la torre, también en este apartado se da la infraestructura relacionada necesaria para la instalación de las turbinas eólicas y otros costos recaen el desarrollo e ingeniería, procedimientos de licencias y permisos, consultorías, así como la supervisión y control de datos y sistemas de seguimiento, dichos valores se especificaran en los siguientes porcentajes. (Blanco,2009)

Tabla 16 Costos de capital para sistema de energía eólica offshore

Tomado de: Renewable energy technologies: cost analysis series, Blanco, 2009

Distribución de costos de inversión para estructuras offshore	
Costos de inversión de capital (€/kW)	2800--4250
Costo unificado de aerogenerador (%)	30--50
Costo unificado de conexión a la red (%)	15--30
Costo unificado de construcción (%)	15--25
Otros costos unificados (%)	8--30

El costo de los aerogeneradores varía de acuerdo al fabricante, debido a que el proceso de suministro de información no es abierto al público se tomaron los datos de costo de producción de aerogeneradores correspondiente de la empresa de Leitwind donde especifican un costo asociado por MW, el cual varía entre 1,0 a 1,5 millones de euros según referencia.

Tabla 17 Costo total aerogeneradores

Elaboración Propia			
Concepto	# Aerogeneradores	Costo unitario	Total
Costo turbina SWT 2.3-113	18	2,300,000.0 €	41,400,000.0 €

Dados los parámetros ofrecidos por Blanco y siguiendo los lineamientos del EWEA, se darán los siguientes porcentajes respectivamente para el desarrollo del capital necesario para la inversión el cual se especifica en la siguiente tabla:

Tabla 18 Costos de inversión de capital parque eólico offshore, Coveñas

Elaboración Propia		
Distribución de costos de inversión para estructuras offshore		
Concepto	Porcentaje	Costo total
Costo unificado de aerogenerador (%)	45.00%	41,400,000.0 €
Costo unificado de conexión a la red (%)	25.00%	23,000,000.0 €
Costo unificado de construcción (%)	20.00%	18,400,000.0 €
Otros costos unificados (%)	10.00%	9,200,000.0 €
Costos de inversión de capital (CAPEX)		92,000,000.0 €
Costos de inversión de capital (CAPEX) COP		\$ 404,064,000,000.00

8.8 Costos de operación y mantenimiento (OPEX)

En etapa de operación y mantenimiento se deben tener en cuenta costos asociados al funcionamiento de la turbina eólica, estos se desglosan en un mantenimiento anual especializado

con personal capacitado además de inspeccionar la infraestructura como la torre, aspas y cimentación. El mantenimiento se dará con equipo especial tales como grúas, barcasas y buques necesarios. El coste de operación y mantenimiento varia en gran medida si la turbina es colocada en tierra o alta mar, el proyecto es sobre la costa de Coveñas por lo que la teoría según (Jiménez, 2017) se estima a los 15 €/MWh, es decir, por turbina se da un costo de mantenimiento y operación estimado de 55.047 €/año.

Los seguros se estiman en 10.000 €/MW por año, donde se incluyen seguros de responsabilidad civil, perdidas de producción y reposición de activos. (Ceballos Vázquez, 2011).

Tabla 19 Costos de operación y mantenimiento parque eólico offshore Coveñas

Elaboración Propia

Distribución de costos de operación y mantenimiento para estructuras offshore			
Concepto	Años	Costo anual	Costo total
Operación y mantenimiento	25	990,845.8 €	24,771,144.6 €
Seguros	25	414,000.0 €	10,350,000.0 €
Total costos (OPEX)			35,121,144.6 €
Total costos (OPEX) COP			\$ 154,252,067,083.20

8.9 Viabilidad económica

Con los indicadores económicos tales como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) se dará la evaluación económica del proyecto del parque eólico en Coveñas, Sucre para hacer la evaluación económica se necesitará establecer los ingresos anuales del proyecto.

Los ingresos del proyecto del parque eólico se desglosan del cobro directo sobre la venta de energía eléctrica producida y distribuida en el lugar en cuestión por lo que según información

proporcionada por el SUI data de un cobro de 399 \$/kWh dicha información es derivada de la empresa Electrificadora del Caribe, Enertotal y Ecopetrol Energía S.A.S. E.S.P.

El cobro se verá proyectado con el ultimo Índice de Precios al Consumidor (IPC) el cual es proporcionado por el boletín técnico actualizado para el mes de abril de 2020 publicado por el DANE, el cual presenta una variación del 3,01% específico para electricidad.

La generación anual del parque eólico se estima en 66.056,4 MWh/año por lo que se presentara la siguiente tabla con los ingresos por año:

Tabla 20 Ingresos anuales por producción energética

Elaboración Propia

Año	Energía producida (MWh)	IPC	Precio (\$/kWh)	Total Cobro
1	66056.4	3.46%	\$ 413	\$ 27,268,432,680.16
2	66056.4	3.46%	\$ 427	\$ 28,211,920,450.90
3	66056.4	3.46%	\$ 442	\$ 29,188,052,898.50
4	66056.4	3.46%	\$ 457	\$ 30,197,959,528.78
5	66056.4	3.46%	\$ 473	\$ 31,242,808,928.48
6	66056.4	3.46%	\$ 489	\$ 32,323,810,117.41
7	66056.4	3.46%	\$ 506	\$ 33,442,213,947.47
8	66056.4	3.46%	\$ 524	\$ 34,599,314,550.05
9	66056.4	3.46%	\$ 542	\$ 35,796,450,833.48
10	66056.4	3.46%	\$ 561	\$ 37,035,008,032.32
11	66056.4	3.46%	\$ 580	\$ 38,316,419,310.24
12	66056.4	3.46%	\$ 600	\$ 39,642,167,418.37
13	66056.4	3.46%	\$ 621	\$ 41,013,786,411.05
14	66056.4	3.46%	\$ 642	\$ 42,432,863,420.87
15	66056.4	3.46%	\$ 665	\$ 43,901,040,495.23
16	66056.4	3.46%	\$ 688	\$ 45,420,016,496.37
17	66056.4	3.46%	\$ 711	\$ 46,991,549,067.14

18	66056.4	3.46%	\$ 736	\$ 48,617,456,664.87
19	66056.4	3.46%	\$ 761	\$ 50,299,620,665.47
20	66056.4	3.46%	\$ 788	\$ 52,039,987,540.50
21	66056.4	3.46%	\$ 815	\$ 53,840,571,109.40
22	66056.4	3.46%	\$ 843	\$ 55,703,454,869.78
23	66056.4	3.46%	\$ 872	\$ 57,630,794,408.28
24	66056.4	3.46%	\$ 903	\$ 59,624,819,894.80
25	66056.4	3.46%	\$ 934	\$ 61,687,838,663.16

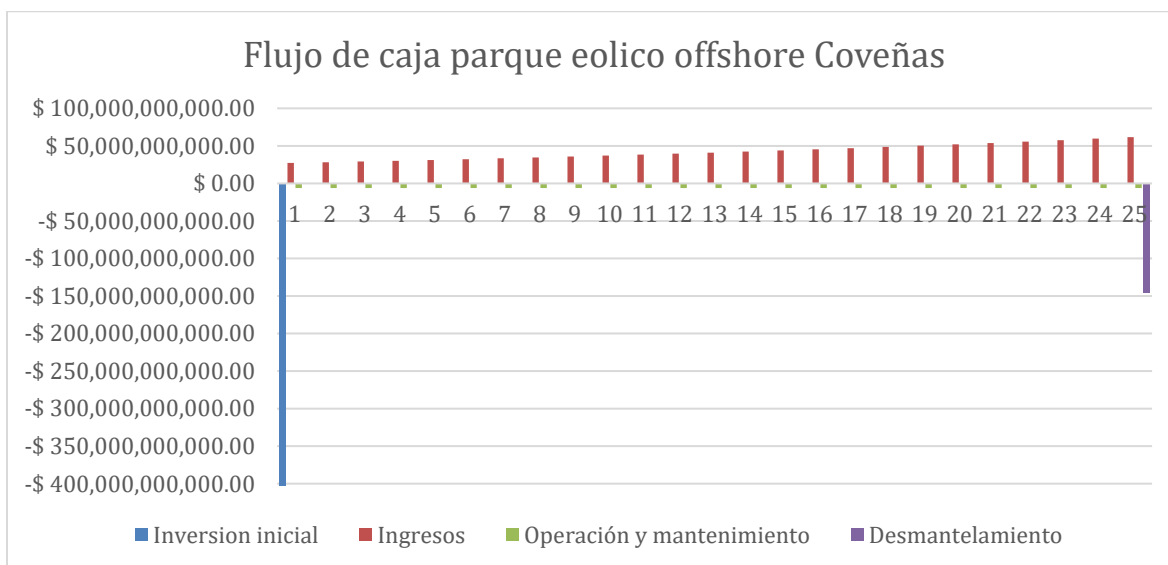


Figura 35 Flujo de caja proyecto parque eólico offshore Coveñas

Elaboración Propia

Dado el flujo de caja correspondiente y representado por la anterior grafica se da una aproximación hacia el VPN del proyecto el cual se deriva del cálculo de los flujos y la inversión el cálculo correspondiente se dará con la inflación promedio el cual fue de 3,43% respectivo para el periodo entre julio de 2019 y julio de 2020, el cálculo será representado de la siguiente manera:

$$VPN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FEN_t}{(1+r)^t} = \$ 92,267,313,261.96 \quad (13)$$

El anterior calculo efectuado según la inversión inicial detallada en la tabla (17) y los flujos netos en el tiempo acorde, el valor es específico es de 92.267 millones por lo que en una primera instancia el proyecto es factible en su parámetro económico VPN. Posterior a este cálculo se procede a determinar la Tasa Interna de Retorno con la siguiente ecuación:

$$VPN = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FEN_t}{(1+TIR)^t} \quad (14)$$

Donde la variación de los flujos correspondientes se verá afectado por la variable TIR, por lo que se deberá llevar a una iteración del valor VPN hasta llevarlo al valor cero variando dicha tasa, del recalcuado efectuado se deriva que la tasa interna de retorno para el proyecto con todas sus actividades es de 5,29% respectivamente, por lo que la factibilidad del proyecto en términos económicos es aceptable. De modo tal que la proyección energética en conjunto con el consumo en cifras se estima en la siguiente tabla:

Tabla 21 Porcentaje de cobertura energética

Elaboración Propia

Consumo Energético Total (KWh)			
Año	Energía proyectada	Energía producida	Porcentaje cobertura
2020	65,575,731.1	66,056,385.6	100.73%
2025	71,846,797.8	66,056,385.6	91.23%
2030	78,237,077.0	66,056,385.6	81.56%
2035	84,753,868.4	66,056,385.6	71.69%
2040	91,404,918.4	66,056,385.6	61.63%
2045	98,198,447.7	66,056,385.6	51.34%

Dados los datos anteriores se da una viabilidad consecuente con la inversión en conjunto de las dos partes más grandes del proyecto los cuales son la población y la empresa Ecopetrol, teniendo en cuenta que es posible que la evaluación y proceso de selección no sea llevada a cabo por ambas partes se dará un desglose en dos partes y finalmente se dará un determinado análisis respecto a los sectores en Coveñas. En la situación actual para el año 2020 Ecopetrol toma gran parte del consumo energético en Coveñas así como el corbo generado por este por su concepto de industria, este manejará el 55% del consumo total mientras que la población manejará un respectivo 45%, a continuación se hará una comparación con los cálculos anteriormente vistos y se expondrán ambos casos.

Tabla 22 Tabla comparativa

Elaboración Propia

Concepto	Población Coveñas	Ecopetrol S.A.
Producción (MWh/año)	29743.5	36085.5
Producción por turbina (MWh/año)	3669.8	3669.8
Turbinas necesarias	8.0	10.0
Total costo de producción (\$)	\$ 43,480,800,000	\$ 55,339,200,000
Costo unificado de aerogenerador	18,400,000.0 €	23,000,000.0 €

Costo unificado de conexión a la red	10,222,222.2 €	12,777,777.8 €
Costo unificado de construcción	8,177,777.8 €	10,222,222.2 €
Otros costos unificados	4,088,888.9 €	5,111,111.1 €
Costos de inversión de capital (CAPEX) COP	\$ 179,584,000,000	\$ 224,480,000,000
Operación y mantenimiento	11,009,397.6 €	13,761,747.0 €
Seguros	4,600,000.0 €	5,750,000.0 €
Total costos (OPEX) COP	\$ 68,556,474,259	\$ 85,695,592,824
VPN	\$ 103,630,066,935	-\$ 14,125,505,386
TIR	7.70%	2.85%
Valor de rescate por chatarra	\$ 1,430,000,000	\$ 1,820,000,000

De la tabla anterior se desprenden dos casos y una alternativa viable, donde se observa que en caso de la implementación del parque eólico para la población en Coveñas es viable a comparación que el que se presenta para la empresa Ecopetrol S.A. donde los indicadores económicos favorecen directamente al caso de la población de Coveñas, tales son los indicadores que muestran que el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) son positivos y sobrepasan por mucho a los de Ecopetrol S.A. al final de la tabla se muestra un valor de rescate dado que ambos proyectos tienen gastos operativos y también de desmantelamiento de las estructuras, estas al final pueden ser reutilizadas con el fin de la producción en una metalúrgica que desee proveerse de este insumo, el valor calculado no es incluido en los cálculos de indicadores económicos dado que este representa una cierta incertidumbre dado que no es seguro que este sea vendido.

9. Conclusiones

Mediante los organismos de información y recolección de información tales como la UPME, DANE, el SUI y el IDEAM para determinar los parámetros más importantes del proyecto como lo son la proyección energética y el comportamiento de la población en cuestión de censos aparte de las variables económicas guiadas por consumo energéticos y por último la variable más importante que es el viento en el sitio de estudio, dando lugar a las proyecciones de los mismos.

- Se determino las proyecciones correspondientes para el rango de años planteado donde el periodo de 25 años obedece a las concesiones normalmente prestadas por los entes regulatorios, la población promedio proyectaba obedece a 29.809 habitantes en el municipio de Coveñas y una proyección aproximada de 98.198 MWh correspondientes al 2045. Siguiendo los datos proporcionados por el Atlas del Viento mediante la página del IDEAM se da una aproximación a las velocidades de viento correspondientes a las zona de estudio siendo las de medición a 10 metros de superficie las más confiables, en variación en cuanto a alturas se da un rango específico para alturas de 50, 80, 100 metros; siguiendo el modelo exponencial de Hellmann se da una aproximación inicial de las velocidades de viento a ciertas alturas donde estos recaen en los rangos anteriormente especificados por el IDEAM.

- Se hizo un cuadro comparativo con cuatro modelos distintos de tres proveedores distintos los cuales son Leitwind, Vestas y Siemens Gamesa, donde estas fueron escogidas de acuerdo a su curva de potencia dado el viento disponible en el lugar del proyecto. La turbina escogida para la adecuación del proyecto fue del proveedor Siemens Gamesa dado que la producción por año de la turbina SWT-2.3-113 es de 3669,8 MWh/año por lo que se especifica un arreglo de 18 turbinas, este se escogió dado que para el efecto de estela del viento se da una cierta variación del viento reduciéndolo, por lo que la separación entre turbinas es de 4 a 5 veces el diámetro de las aspas. Dicha producción energética se da para abastecer el 100 % de la energía en 2020 y en 2045 según la proyección energética se espera suplir el 51%. Algo importante sobre destacar es que en cuestión de la energía proyectada se da una distribución del 55% para Ecopetrol y un 45% de la energía para la población en cuestión. La disposición del parque eólico se da en tres ejes los cuales se concatenan para que la conducción de la energía sea llevada a una subestación onshore la cual estará a cargo de la empresa prestadora de energía en cuestión.
- Los costos de inversión (CAPEX) se derivan de los conceptos adyacentes a la inversión y puesta en marcha inicial los cuales ascienden a \$ 404.064.000.000,00 COP un costo de inversión proporcional a la inversión esperada. Mientras que los costes de operación y mantenimiento se ajustan constantemente y ascienden a una magnitud de \$

154.252.067.083,20 COP, siendo los factores de este el tema de seguros, administrativos y gastos de mantenimiento y operación del parque eólico.

- Los indicadores económicos adyacentes a la evaluación de factibilidad económica se derivarán de los cálculos correspondientes del Valor Presente Neto así como también la Tasa Interna de Retorno los cuales son positivos para la adecuación del proyecto en una primera instancia, lo anterior con un porcentaje del 5,29% el cual no es muy alto pero garantiza una ganancia sobre el capital invertido para los inversionistas y contempla la variable de un flujo positivo.

- La comparación en cuestión entre dos casos aislados como lo es el primero dada la población de Coveñas y la segunda la cual representa la empresa Ecopetrol S.A. donde los indicadores económicos favorecen al primero dado que existe una brecha entre el cobro por consumo (\$/KWh) el cual se basa en los últimos datos obtenidos por el SUI, donde el cobro en la población es de 484 (\$/KWh), mientras que el cobro para la empresa Ecopetrol S.A. es de 328 (\$/KWh) aproximadamente 33 % menor que el costo directo a la población. Por lo anterior se llega a la conclusión que dado el plan de desarrollo correspondiente para 2020-2023 donde se enfatiza el uso de energías renovables y limpias para no afectar el medio ambiente, por lo que se da visto bueno desde la parte social-política y la económica.

10. Recomendaciones

Los valores correspondientes de viento a una altura de buje de 100 metros corresponden con las necesarias para la adecuada producción energética de turbinas eólicas menores a 2.5 MW por lo que se recomienda siempre estar en el rango de 1 a 2.5 MW, así como también la ubicación destacada para turbinas eólicas siempre será alta mar por lo que un replanteo en la ubicación del proyecto incrementaría la capacidad energética pero aumentaría los costos de conexión eléctrica así como tener en cuenta la disposición de subestaciones offshore.

Se recomienda hacer una valorización con la empresa Ecopetrol ya que si este no desea atribuirse la generación eólica de energía sería importante para la evaluación económica saber esto ya que se vería afectado en una medida alrededor del 50%, es decir, se recomienda hacer una evaluación con el municipio y la empresa Ecopetrol para determinar quien desea invertir en el proyecto ya que será un factor determinante.

Dado lo anterior y los indicadores vistos en la tabla (22), es mas beneficioso para la población de Coveñas que para la empresa de Ecopetrol S.A. pero dado el poder adquisitivo para Ecopetrol S.A. sería viable el atribuirse al proyecto para poder abastecer el municipio donde opera, el precio determinado por consumo puede ser disminuido hasta un 29 % en su valor sin afectar el flujo de ingresos siendo esta la mayor razón de peso para que se implemente el proyecto.

De los resultados obtenidos se evidencia un prometedor futuro hacia la energía limpia en este caso la energía eólica ya que el caribe colombiano posee una gran capacidad para la explotación de este recurso teniendo afectaciones mínimas, el aprovechamiento del recurso y el tipo de tecnología usada será base para que en las siguientes administraciones se haga un cambio significativo en el uso de tecnologías de energías renovables para remover el uso de obtención de energías tradicionales como en el caso de Colombia que se basa en su gran mayoría en el recurso hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. (2018, noviembre 21). *Energías Renovables, El Periodismo de las Energías Limpias*. Recuperado de: <https://www.energias-renovables.com/eolica/colombia-despierta-a-la-energia-eolica-20181124>
- Alvaro Pinilla, L. R. (2008). El poder del viento. *Revista de ingeniería Universidad de los Andes* 64-69. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a10.pdf>
- B. Sheil, B. and A. McCabe, B., 2016. Biaxial Loading Of Offshore Monopiles: Numerical Modeling. [online] Recuperado de: <https://ascelibrary-org.ezproxy.umng.edu.co/doi/full/10.1061/%28ASCE%29GM.1943-5622.0000709>
- Boyle G. (2004). *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford University Press.
- Bujan Pérez A. (2014) Recuperado de: <https://www.encyclopediafinanciera.com/definicion-opex.html>
- Baca G. (2002), *Evaluación de proyectos*. (4a. Edición). México, McGraw-Hill
- Candel Laveda , L. I. (03 de septiembre de 2014). *Diseño e impacto ambiental de un parque eolico Offshore*. Obtenido de <http://repositorio.upct.es/handle/10317/4397>
- Ceballos, J. (2019). *Barranquilla y Cartagena, potencia para la generación de energía eólica offshore*. Cartagena.
- Ceballos, I. (2011). *Análisis Tecno-Económico de parques eólicos offshore. Guía para procedimiento de implementación* (Tesis de maestría).

COLOMBIANO, E. (2018, Noviembre 16). La energía en la Costa: un problema de hace más de una década. Recuperado de: <https://www.elcolombiano.com/colombia/la-energia-en-la-costaun-problema-de-hace-mas-de-una-decada-EA5376897>

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2001, octubre 5). Secretaria Senado. Recuperado de: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (1994, julio 12). Secretaria Senado. Recuperado de: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0143_1994.html

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2013, julio 16). Secretaria Senado. Recuperado de: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1665_2013.html

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2014, mayo 13). Secretaria Senado. Recuperado de: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2019, mayo 25). Secretaria Senado. Recuperado de: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1955_2019.html

DANE. (2018). DANE. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/>

De Segura, R. (2009). Breve análisis de un modelo eléctrico basado en las energías renovables. *Ecología Política*, (39), 87-91, Disponible en:< www.jstor.org/stable/41420358>

EKIDOM. (2015). Energías renovables. Madrid

EL-UNIVERSAL. (2016, noviembre 28). Energía eólica: el potencial desconocido de Sucre. EL UNIVERSAL.

ESPECTADOR, E. (2019, agosto 22). ¿Colombia tiene potencial en fuentes de energía renovables? EL ESPECTADOR.

Fernández Munguía, S., 2018. Un Poco De Historia. Vindeby Offshore Wind Farm, El Primer Parque Eólico Marino Del Mundo. DiarioRenovables | Energías renovables. Eólica, solar, fotovoltaica, baterías, movilidad sostenible. Recuperado de:

<<https://www.diariorenovables.com/2018/03/primer-parque-eolico-marino-del-mundo.html>>

Guevara, K. S. (17 de Agosto de 2019). Revista REVE. Recuperado de: <https://www.evwind.com/2019/08/17/colombia-desarrolla-12-proyectos-de-energia-eolica/>

Hatheway Becca (2008) Recuperado de:<https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/hadley_cell.html&lang=sp#:~:text=Eventualmente%2C%20la%20Celda%20Hadley%20lleva,substituyendo%20al%20aire%20que%20sube.>

IBERDROLA (2019) Cumbre sobre la acción climática ONU 2019. Recuperado de: [https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/cumbre-cambio-climatico-2019#:~:text=La%20Cumbre%20sobre%20la%20Acci%C3%B3n%20Clim%C3%A1tica%20ONU%202019%20se%20celebr%C3%B3,nueve%20%C3%A1reas%20de%20acci%C3%B3n%20prioritarias.&text=Principales%20carteras%20de%20acci%C3%B3n%20para,de%20efecto%20invernadero%20\(ONU\).](https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/cumbre-cambio-climatico-2019#:~:text=La%20Cumbre%20sobre%20la%20Acci%C3%B3n%20Clim%C3%A1tica%20ONU%202019%20se%20celebr%C3%B3,nueve%20%C3%A1reas%20de%20acci%C3%B3n%20prioritarias.&text=Principales%20carteras%20de%20acci%C3%B3n%20para,de%20efecto%20invernadero%20(ONU).)

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales Unidad de Planeación Minero-Energética. (2006). Atlas de viento y energía eólica de Colombia. Recuperado de: <<http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/22>>

IRENA. (2020). Energía eólica. Recuperado de: <<https://www.irena.org/wind>>

IRENA (2012) RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES. Recuperado de: <[https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-wind_power.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis_wind_power.pdf)>

Jiménez, J. L. (2017.). Componentes básicos de los aerogeneradores. Recuperado de: <https://www.academia.edu/29337023/Componentes_b%C3%A1sicos_de_aerogeneradores>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2014, diciembre 3). Recuperado de: <<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=60174>>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2014, diciembre 2). Recuperado de: <<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36864-Decreto-2469-02Dic2014.pdf>>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2015, Agosto 11). Recuperado de: <<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36632-Decreto-1623-11Ago2015.pdf>>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2015, noviembre 4). Recuperado de:

<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180//23517//36862-Decreto-2143-04Nov2015.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2016, Agosto 3). Recuperado

de:<http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_f63fa72c4f264bbe91e4b33deaa61e68>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2016, agosto 11).

Recuperado

de:<<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/18995913/Res.+MADS+1312+11-08-2016+ToR+EIA+Pys+E%C3%B3licos+continentales.pdf/2de2127d-d0a5-4953-8462-8de862cd6f36>>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2018, julio 13). Recuperado

de:<<https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24144926/Resolucion+1303+de+2018.pdf>>

Mancilla et al Recuperado de:<<http://energiaeolica201.blogspot.com/p/estadistica-descriptiva.html>>

Paratec XM (2020) Recuperado

de:<<http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/transmision.aspx?q=lineas>>

Prado Gonzales (2018) ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE FLOTANTE EN LA COSTA DE CANTABRIA Recuperado de: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/13336/IPG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quispe Clemente F. (2018) Caracterización del viento, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

Ramirez Franco. S. (2015). Potencial de energía eólica offshore en el mar caribe colombiano. Recuperado de: <https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/2359/1/FrancoSantiago_2015_PotenciaIEnergiaEolica.pdf>

Ruiz Gonzalo (2020) Recuperado de: <<https://erenovable.com/importancia-de-energia-eolica/>>

Rosa, A. V. (2009). Fundamentals of renewable energy processes. London: Academic press. ScienceDirect

Rueda-Bayona, J. G. (2017, junio 7). Identificación de la influencia de las variaciones convectivas en la generación de cargas transitorias.

Serrano, C. (2016). Diseño de una estructura flotante para un aerogenerador offshore. Madrid: Universidad Carlos III De Madrid.

Severiche, J. (2019). El agua y la generación de energía en entornos de sostenibilidad. Bogotá.

Surya Santoso, Ph.D.; H. Wayne Beaty. (2018) Standard Handbook for Electrical Engineers, Seventeenth Edition. OFFSHORE WIND POWER, Chapter (McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto)

SER (2017) JUSTIFICACIÓN NO DAA PROYECTOS ENERGIAS RENOVABLES. Recuperado de: <https://www.ser-colombia.org/images/Anexo-4.pdf>


UPME (2019) PROYECCIÓN REGIONAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA MÁXIMA EN COLOMBIA Recuperado de: http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Proyeccion_Demanda_Regional_Energia_Abr_2019.pdf

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. (2018, diciembre 14). Recuperado de: https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24144926/Resolucion_703_2018.pdf

Vence, J. (2016). Crisis en la costa Caribe del servicio de energía eléctrica. Valledupar: Universidad Santo Tomas.

ANEXOS

Cobro por consumo



Electricaribe
Somos Todos

República del Caribe SA S.P. NT. 802 007 810-6. RAJH 2 9811200-13

Operador de Red: ELECTRICARIBE
NIU: 18073466
Call Center: 115 - 0353500444
Dirección: Calle 28 No.15 - 77 Sincolejo. Tel: 115

NIC: 5113858





Datos del Usuario y/o Suscriptor

Titular de Pago INSUASTY RAMOS IRIDIS Usuario o suscriptor INSUASTY RAMOS IRIDIS Estrato/Clasificación Resid. Estrato 2 E Carib	Dirección de suministro CL 88 CR 2-9 GUAYABAL COVENAS 864275U-CGTO GUAYABAL0012-2610-00070 Dirección de Envío CL 88 CR 2-9 GUAYABAL COVENAS CGTO GUAYABAL
---	--

Total a pagar mes:	\$ 493.480
Total documento por pagar:	\$580.300
<i>Fecha pago oportuna:</i>	27/04/2020
Suspensión a partir de:	28/04/2020
No. Facturas vencidas:	1
Saldo anterior:	\$ 86.820
Fecha emisión:	20/04/2020
Documento equivalente No.:	94412004013041
ID. de Cobros:	511355215 - 36

Resumen facturación mes

Periodo facturado: 20/03/2020 - 20/04/2020

Energía		Otras Entidades		=	Total a pagar
					
\$ 465.140	\$ 15.890	\$ 12.450	\$ 0		\$ 493.480

Para más información consulta en www.electricaribe.co

Consumo de los últimos 6 meses (kWh)

Periodo actual (kWh)	1	2	3	4	5	6
	198	256	301	601	618	917

Promedio Consumo Diario (kWh): 11,78

Información regulatoria

Zona: Especial. País: 8421. San. Distrito:

Confirme la validez de la Resolución CREG 110 de 2020, Electrocaribe pretende aplicar los permisos y suspensiones resultantes de la aplicación de la Resolución CREG 997 de 2019, con base en la información reportada por el UE en el año 2019. Producto de lo anterior, Electricaribe continúa utilizando el esquema de incentivos de la Resolución CREG 997 de 2019, por lo que ha aplicado el valor de -11,98 \$/kWh, correspondiente a la suma del incentivo acumulado del primer trimestre del 2019 y del mes de octubre del cuarto trimestre de 2019. El incentivo se aplica en la componente de distribución DL, la cual presentó una disminución de 13,73 \$/kWh por efecto de los cambios en el mercado.

iHola! Soy Ada Luz
Agente de Cobro escribeme
304 243 33 22
estoy para servirte

Paga En línea
pse
Ingrasa a www.electricaribe.co

HEMOS

ESPANÉALO

Costos asociados de turbina eólica, Leitwind

Sales LEITWIND.COM <sales@leitwind.com>

para mí ▾

🌐 inglés ▾ > español ▾ [Traducir mensaje](#)

Good morning

Here some indication regarding the price.

CAPEX:

For the turbine: up to 1 MW € 1,5 million

OPEX:

Base Price : € 40.000,- per WTG/year

Please keep in mind that prices change depending also on the height of the tower.

Normally we offer design, transportation, installation and commissioning of our products, but each project and each client has different needs and particularities.

So the client can choose the incoterms of the Supply. (EXW or DAP)

Civil and Electrical works excluded.

Best Regards



LEITNER AG / SPA

Brennerstraße 34 / Via Brennero 34

39049 Sterzing / Vipiteno (BZ) Italy

sales@leitwind.com

www.leitwind.com