

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECATRÓNICA, INGENIERÍA EN ENERGÍAS

MODELO PIONERO DE SOSTENIBILIDAD URBANA: SISTEMA HÍBRIDO  
EÓLICO-HUMANO EN EL OCTAVO PISO DEL EDIFICIO EL NOGAL,  
UNIVERSIDAD EAN

AUTORES

JUAN DIEGO ROMERO BAUTISTA

KAROL NATHALIA PARRADO MURILLO

DIRECTOR

LINA CHACÓN

BOGOTÁ D.C., 11 DE JUNIO DE 2024

## **1. RESUMEN**

Este proyecto está enfocado a la implementación de un sistema que utiliza bicicletas estacionarias como respaldo a un sistema eólico, la fuente principal de energía. Estas bicicletas funcionan mediante el ensamblaje de un dinamo que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. El propósito central del proyecto es suministrar energía a dispositivos de bajo consumo mediante el uso de fuentes limpias de energía, con la finalidad de beneficiar a la comunidad eanista que hace uso de los espacios en el octavo piso del edificio El Nogal.

## 2. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una preocupación constante a nivel mundial. Por esta razón, durante la conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (COP), se fijan metas para reducir los gases de efecto invernadero (GEI). En el marco de la COP 28, Colombia se une a 197 países para firmar el Acuerdo de Dubái, el cual tiene como uno de sus objetivos llevar a cabo una transición energética que triplique la capacidad global de energías renovables (Pacto Mundial de La ONU, 2023).

Enfrentar con éxito la transición energética implica diversos desafíos y retos, tales como la obtención de inversión financiera, el establecimiento de políticas y regulaciones definidas y adaptables, la disponibilidad de infraestructura y tecnologías adecuadas, y la adaptación a las necesidades específicas de sectores como el transporte. Abordar estos desafíos de manera integral y colaborativa es fundamental para lograr una transición exitosa hacia un sector energético más sostenible y limpio. En este sentido, la educación superior desempeña un papel fundamental en la formación de profesionales comprometidos con el cuidado del medio ambiente.

Por otro lado, energías renovables como la solar y eólica han tenido un importante crecimiento a nivel mundial. La energía eólica, en particular, ha emergido como una fuente crucial en la transición hacia un futuro más sostenible. Su capacidad para generar electricidad de manera limpia y renovable, la posiciona como una alternativa prometedora para reducir las emisiones de GEI y disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovables.

En este contexto, el presente proyecto busca explorar, desde un ambiente universitario, alternativas innovadoras para la generación de energía, enfocándose en la integración de un sistema eólico respaldado por bicicletas estacionarias en la Universidad Ean, con el propósito de aprovechar la energía generada por el viento como fuente de energía limpia. Asimismo, la combinación de tecnologías renovables y soluciones creativas ofrece una perspectiva novedosa para abordar los desafíos energéticos y contribuir a la reducción huella de carbono.

Para llevar a cabo este proyecto, se ha llevado a cabo un estudio de la problemática, con el fin de proponer objetivos y una metodología de desarrollo que permita alcanzar dichos objetivos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema eólico respaldado por bicicletas estacionarias para la carga de dispositivos de bajo consumo de energía para implementarlo en el octavo piso del edificio El Nogal de la universidad Ean.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Optimizar el diseño del sistema energético teniendo en cuenta parámetros técnicos, económicos y ambientales.
- Adecuar los equipos del sistema eólico que se encuentran en los laboratorios de la universidad Ean.
- Evaluar el funcionamiento del sistema energético a nivel laboratorio.
- Presentar el diagrama unifilar y los planos del montaje del sistema energético.

#### 4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el transcurso de los últimos 100 años la temperatura en la tierra ha experimentado un aumento aproximado de 1,1°C (Lomas González & Torrijo Murciano, 2021). Este fenómeno, conocido como calentamiento global, se encuentra estrechamente relacionado con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), siendo el sector energético responsable de aproximadamente el 77,01% de todas las emisiones globales (Parlamento Europeo, 2018), principalmente debido a la quema de combustibles fósiles para la generación de energía. Por lo tanto, es crucial que se tomen medidas para reducir las emisiones de GEI y hacer una transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles para mitigar este impacto ambiental.

En Colombia, a pesar de contar con unas de las matrices eléctricas más limpias, la sexta a nivel mundial (Acolgen, s.f.), en el año 2019 se registraron 61.955 Gg de CO<sub>2</sub>-año asociadas al consumo energético (PEN, 2020). Esta situación ha llevado al gobierno a concentrar sus esfuerzos en la formulación de documentos estratégicos como el Plan Energético Nacional, el cual actúa como la hoja de ruta para la transición energética. Dentro de este plan se identifican 4 pilares fundamentales para llevar a cabo una transición energética exitosa en el país: Seguridad y confiabilidad del abastecimiento, Mitigación y adaptación del cambio climático, Competitividad y desarrollo económico, y Conocimiento e Innovación. Este último pilar hace referencia a las acciones encaminadas a contar con programas y capital humano capaces de hacer uso de los más recientes avances tecnológicos y proponer cambios transversales que agreguen valor y resuelvan problemáticas del sector y la sociedad (PEN, 2020, p. 53).

En este contexto, la academia desempeña un papel esencial al educar a la comunidad estudiantil para formar profesionales capacitados no solo para entender estos desafíos, sino también para afrontarlos de manera innovadora y sostenible. Asimismo, desde las universidades se deben crear programas educativos en las áreas relacionadas con la transformación energética.

La universidad Ean, por su parte, apuesta a estas iniciativas, promoviendo el desarrollo de ideas innovadoras dentro de su comunidad estudiantil. Por tanto, este proyecto surge como respuesta a la necesidad de implementar fuentes de energía limpia,

centrándose en el desarrollo de un proyecto de energía eólica respaldado por bicicletas estacionarias. No obstante, el proyecto enfrenta desafíos significativos que requieren abordarse con atención y estrategias específicas. En primer lugar, se enfrenta al desafío de la restauración de equipos ya existentes en las instalaciones de la universidad, lo que implica la evaluación y mejora de los mismos para garantizar el funcionamiento y seguridad del sistema.

Otro desafío crucial es la viabilidad del proyecto en el entorno urbano de Bogotá. Dada la complejidad del terreno, hay que tener en cuenta variables como la rugosidad, el análisis de la velocidad del viento, la dirección, así como factores ambientales, económicos, consideraciones estéticas y de aceptación social. Además, de presentar un reto técnico con la integración del sistema eólico y las bicicletas estacionarias.

Finalmente, la implementación del proyecto en un entorno universitario presenta desafíos específicos relacionados con la dinámica académica y operativa de la institución. La integración del sistema debe ser cuidadosamente planificada para minimizar posibles interferencias y garantizar la seguridad de la comunidad estudiantil y del personal.

## 5. JUSTIFICACIÓN

Ante el incesante aumento de la demanda de energía y su impacto en el cambio climático, debido al uso predominante de fuentes fósiles para la generación de energía, resulta necesario investigar y desarrollar alternativas sostenibles que puedan abastecer la creciente demanda energética, y al mismo tiempo mitiguen los impactos ambientales asociados.

En este contexto, la implementación de un sistema eólico respaldado por bicicletas estacionarias en un entorno universitario se constituye como una estrategia valiosa. Ya que, no sólo responde a la urgencia de encontrar soluciones sostenibles, sino que también fomenta la participación de la comunidad académica en la búsqueda de soluciones concretas a desafíos energéticos contemporáneos.

El presente proyecto busca beneficiar a la comunidad estudiantil, docentes y demás personal al suministrar energía a dispositivos de bajo consumo, mediante el aprovechamiento de fuentes renovables de energía. Asimismo, se busca integrar proyectos que estén alineados con el enfoque de sostenibilidad de la universidad Ean, a la par de promover la visibilidad del programa de ingeniería en energías.

## 6. REQUERIMIENTOS

### 6.1 Técnicos

Se emplearán las especificaciones técnicas mostradas en la *Figura 1*, *Figura 2*, *Figura 3*, *Figura 4* y *Figura 5* del modelo Wind 13+, el cual es un generador eólico que es el eje central del proyecto. La herramienta está disponible en la Universidad EAN, y pretende ponerla operativa e integrarla en el proyecto.

Es de anotar que las siguientes imágenes se asocian al proyecto, las cuales revelan las especificaciones del generador, así como sus características de uso y su rendimiento óptimo.

#### Figura 1

*Especificaciones técnicas Aero generador modelo Wind 13+*

Especificaciones técnicas	Wind 13+	Wind 25.2+	Wind 25.3+
Número de hélices	2	2	3
Diámetro	2,86 m	4,05 m	4,05 m
Material	Fibra de vidrio / Fibra de carbono		
Dirección de rotación	En sentido contrario a la agujas del reloj		

*Fuente: Bornay wind + wind 13 + Manual Versión 1.5 – 07.17, Instalación, Operación, mantenimiento*

#### Figura 2

*Especificaciones eléctricas Aero generador modelo Wind 13+*

Especificaciones eléctricas			
Alternador	Trifásico de imanes permanentes		
Imanes	Neodimio		
Potencia nominal	1500 W	3000 W	5000 W
Voltaje nominal	220 v	220 v	220 v
RPM nominal	600	400	400

*Fuente: Bornay wind + wind 13 + Manual Versión 1.5 – 07.17, Instalación, Operación, mantenimiento*

### Figura 3

Especificaciones de necesidades del recurso Aero generador modelo Wind 13+

#### Velocidad de viento

Rango de funcionamiento	2 - 30m/s
Arranque	3 m/s
Potencia nominal	12 m/s
Frenado automático	14 m/s
Máxima	60 m/s

Fuente: Borney wind + wind 13 + Manual Versión 1.5 – 07.17, Instalación, Operación, mantenimiento

### Figura 4

Especificaciones físicas Aero generador modelo Wind 13+

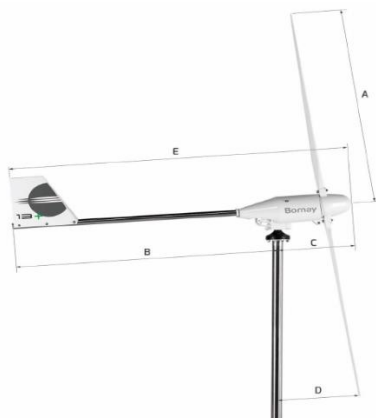
#### Especificaciones físicas

Peso aerogenerador	41 kg	93 kg	107 kg
Bulto 1 (Aero.) - Peso	57 kg	135 kg	149 kg
Bulto 1 - Dimensiones (cm)	50x77x57	120x80x80	
Bulto 2 (Hélices) - Peso	6,8 kg	19 kg	22 kg
Bulto 2 - Dimensiones (cm)	153x27x7	220x40x15	260x40x15
Total - Volumen	0,23 m <sup>3</sup>	0,90 m <sup>3</sup>	0,91 m <sup>3</sup>
Total - Peso	63,8 kg	154 kg	171 kg

Fuente: Borney wind + wind 13 + Manual Versión 1.5 – 07.17, Instalación, Operación, mantenimiento

### Figura 5

Dimensiones del aerogenerador wind13+



Modelo	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
Wind 13+	1430	1585	420	4700	2085
Wind 25.2+	2025	2095	490	645	2665
Wind 25.3+	2025	2595	490	645	3165

Fuente: Borney wind + wind 13 + Manual Versión 1.5 – 07.17, Instalación, Operación, mantenimiento

En el cuadro de la *Figura 6* se encuentran las características del inversor que emplearemos, siendo el modelo de referencia **BM1512** destacado en la primera columna. Este dispositivo se encuentra a disposición en la Universidad EAN y será utilizado para el desarrollo de nuestro proyecto.

**Figura 6**

*Datos técnicos inversor modelo de referencia BM1512*

Bornay Multi	BM1512	BM1524	BM2524	BM3524	BM5024(b)
<b>INVERSOR</b>					
Voltaje Nominal de entrada	12 Vdc	24 Vdc			
rango voltaje entrada (Vdc)	9,5 - 16 Vdc	19,5 - 35 Vdc			
Desconexión por bajo voltaje	9,5 Vdc	19,5 Vdc			
Corriente máxima de entrada DC	137 A	77 A	114A	168A	240A
Potencia máxima de salida @ 30°C	1500 W	1500 W	2500 W	3500 W	5000 W
Potencia instantánea	3000 W	3000 W	5000 W	7000 W	10.000 W
Voltaje de salida	120 Vca				240 Vca
Regulación de salida	±10 % (Vdc > 10,5 Vdc)	±10 % (Vdc > 21,5 Vdc)			
Corriente máxima de salida CA @ 30°C	12,5 A	12,5 A	20 A	28 A	40 A
Frecuencia	60 Hz				
Tipo de onda	Senoidal modificada				
Consumo en vacío	0,7 A	0,5 A	0,65 A	0,7 A	0,8 A
<b>CARGADOR</b>					
Voltaje nominal de entrada CA	120 Vac				
Rango de voltaje de entrada CA	(70 - 90 Vac) - 145 Vac				
Transferencia por bajo voltaje CA	70 - 90 Vac				
Máxima corriente de entrada CA	30 A	35 A	40 A	40 A	60 A
Máximo voltaje de carga	14,5 Vdc	28,5 Vdc			
Voltaje de flotación	13,5 Vdc	27 Vdc			
Máxima corriente de carga	60 A	35 A	60 A	75 A	100 A
Regulación de carga	Por potenciómetro				
Tipología de cargador	PWM Corriente constante, doble etapa de carga				
<b>GENERAL</b>					
Encendido	Interruptor on / off				
Relé de transferencia	Sí (15 ms)				
Protecciones	Sobrecarga consumo salida inversor Cortocircuito de salida inversor Voltaje AC fuera de rango Sobre temperatura (desconexión a 150°C) Bornes de entrada DC de alta corriente y aislamiento 1000V Regleta de conexión para alimentación AC con cubierta protectora				
Temperatura de trabajo	Rango de - 25 C a +80°C (ventilación forzada)				
<b>CAJA</b>					
Características comunes	Caja metálica galvanizada, pintada color blanco con pintura epoxi				
Peso neto (Kg)	17 Kg	17 Kg	26 Kg	28 Kg	37 Kg
Peso bruto (Kg)	18 Kg	18 Kg	26,5 Kg	29 Kg	38 Kg
Dimensiones (largo x ancho x alto)	43 x 21 x 16 cm	43 x 21 x 16 cm	49 x 25 x 18 cm	49 x 25 x 18 cm	44 x 39 x 22 cm
Dimensiones embalaje (la x an x al)	50 x 23 x 18 cm	50 x 23 x 18 cm	56 x 26 x 20 cm	56 x 26 x 20 cm	51 x 39 x 24 cm

*Fuente: Bornay wind + wind 13 + Manual Versión 1.5 – 07.17, Instalación, Operación, mantenimiento*

## **6.2 Integración Humana**

- Los espacios del octavo piso serán adecuados para ser funcionales tanto para la actividad humana como para la instalación de la tecnología eólica.
- Se incorporarán tecnologías de captura de energía cinética humana, como unas bicicletas estacionarias junto a unos dinamos, para aprovechar la actividad humana en el edificio.

## **6.3 Eficiencia Energética**

- Se establecerán sistemas de almacenamiento de energía para aprovechar de manera eficiente la energía generada por las turbinas eólicas y la actividad humana.

## **6.4 Legales**

- Carta de cesión de derechos.

## **6.5 Locación**

- El aerogenerador debe ubicarse en un espacio que no turbe las actividades y resulte peligroso para la comunidad.
- Las bicicletas estacionarias deben contar con espacio que cubra el sistema de sol y lluvia para evitar un rápido deterioro.

## **7 MARCO TEÓRICO**

### **7.4 Antes de la revolución industrial: Leña**

Antes de la Revolución Industrial, la leña era la principal fuente de energía utilizada en las actividades cotidianas, como cocinar, calentar hogares y realizar trabajos artesanales (Galbiatti, s.f.) . Su importancia radicaba en su disponibilidad y facilidad de obtención, convirtiéndola en un recurso esencial en la vida diaria de las personas (Jones, 2008). Sin embargo, el uso extensivo de la leña tuvo un impacto ambiental significativo, contribuyendo a la deforestación en muchas regiones y afectando los ecosistemas locales (García, 2015). Con la llegada de la Revolución Industrial, se empezaron a utilizar otras fuentes de energía como el carbón y el petróleo, disminuyendo la dependencia de la leña en gran parte del mundo (Landes, 1969). A pesar de esto, en muchas comunidades rurales, la leña sigue siendo una fuente importante de energía hasta la actualidad (Veloz & de la, s.f.)

### **7.5 Primera transición energética: El carbón**

La Revolución Industrial fue un período crucial en la historia que marcó un cambio tecnológico, socioeconómico y cultural significativo. Antes de este hito, la revolución demográfica desempeñó un papel fundamental, con un crecimiento poblacional notable que generó presiones en las pequeñas ciudades y en la producción agrícola existente. Este aumento poblacional impulsó la necesidad de buscar nuevos modelos económicos para adaptarse a las demandas de una población en crecimiento (Santos Aguirre, 2019). Además, la revolución agrícola fue un factor relevante en este contexto, ya que la mejora en la higiene y la reducción de la mortalidad contribuyeron a la necesidad de un nuevo enfoque económico para subsistir, siendo uno de los catalizadores del inicio de la Revolución Industrial (Santos Aguirre, 2019). La adopción generalizada del carbón como fuente de energía clave marcó la primera transición energética significativa. El carbón se convirtió en una fuente esencial de energía, reemplazando a la madera y otros recursos,

y desempeñó un papel crucial en el desarrollo del mundo moderno, especialmente durante la Primera Revolución Industrial (Environment & Society Portal, 2018).

### **7.3 Segunda transición energética: El petróleo y gas**

Durante la primera y segunda Revolución Industrial, las fuentes de energía evolucionaron significativamente, pasando de la energía animal y humana a las energías fósiles como el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía hidroeléctrica. En la primera Revolución Industrial, el carbón fue la principal fuente de energía, alimentando las máquinas de vapor que impulsaban la producción en masa de textiles, hierro, acero y la expansión del transporte ferroviario (Diaonia, 2023). En la segunda Revolución Industrial, se produjo una transición hacia el petróleo y el gas natural, motivada por su facilidad de transporte y almacenamiento, lo que los convirtió en fuentes energéticas más convenientes que el carbón (Diaonia, 2023). Estas transiciones energéticas fueron fundamentales para el crecimiento económico, la producción en masa y el avance tecnológico de esos períodos históricos.

Además, en la tercera Revolución Industrial, se observa una transición hacia una economía más sostenible y eficiente en el uso de energía. Las fuentes de energía renovable, la eficiencia energética y la gestión inteligente de la energía son pilares clave en esta nueva etapa de desarrollo industrial (Rosario, s.f.). Esta revolución se caracteriza por la introducción de nuevas tecnologías, la digitalización de la producción y servicios, la automatización de procesos productivos, la globalización de la economía y la creación de nuevos empleos en sectores tecnológicos e innovadores (Rosario, n.d.).

### **7.4 Tercera transición energética: Energías renovables**

La transición hacia las energías renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, representa un cambio fundamental en la matriz energética global, promoviendo una economía más sostenible y eficiente en el uso de recursos (UPME, 2015). Estas fuentes energéticas limpias son esenciales para reducir las emisiones de

gases de efecto invernadero y abordar el cambio climático, al mismo tiempo que fomentan la independencia energética y la seguridad a largo plazo (UPME, 2015).

Esta transición energética hacia las energías renovables se ha convertido en un pilar central para enfrentar los desafíos ambientales y climáticos actuales, impulsando la innovación tecnológica y la creación de empleo en sectores sostenibles (REVISTA ENERGIA, 2022). Este cambio hacia una economía baja en carbono refleja la urgencia de adoptar prácticas energéticas más responsables y respetuosas con el medio ambiente para garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras (REVISTA ENERGIA, 2022).

## **7.5 Energías renovables**

Las energías renovables comprenden una amplia gama de fuentes energéticas que se regeneran naturalmente y son esenciales para abordar los desafíos ambientales y energéticos actuales (ENEL, s.f., para. 1) Estas energías no solo son inagotables, sino que también son limpias, no emitiendo gases de efecto invernadero ni contaminantes, lo que contribuye significativamente a la lucha contra el cambio climático y a la preservación del medio ambiente. Además, su desarrollo impulsa la creación de empleo, el crecimiento económico y la transición hacia un sistema energético más sostenible y respetuoso con el planeta (ACCIONA, n.d., para. 1)

La adopción de energías renovables ha experimentado un notable aumento en respuesta a la creciente conciencia ambiental y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Gobiernos, empresas y comunidades están invirtiendo en infraestructuras para la producción y distribución de energías renovables, lo que ha resultado en una rápida expansión de parques solares, eólicos y otras instalaciones renovables en todo el mundo (Naciones Unidas, 2024). Además de sus beneficios ambientales, las energías renovables también ofrecen oportunidades económicas, como la creación de empleo en la industria de energía limpia y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles importados (Observatorio de la Energía, 2023).

### **7.5.1 Energía hidráulica**

La energía hidráulica es un tipo de energía renovable que aprovecha el movimiento del agua para generar electricidad. Se basa en el uso de la fuerza cinética del agua para hacer girar turbinas que, a su vez, activan generadores eléctricos. Este proceso se lleva a cabo en centrales hidroeléctricas, donde el agua en movimiento es modulada por compuertas en una presa, permitiendo regular la cantidad de energía producida según la altura desde la que cae el agua o su caudal (Coluccio Leskow, 2021; Fundación Aquae, 2021).

### **7.5.2 Energía solar**

La energía solar se divide en dos tipos principales: la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica. La diferencia fundamental entre ambas radica en su aplicación y funcionamiento. La energía solar fotovoltaica se centra en la conversión de la luz solar en electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos, mientras que la energía solar térmica se aprovecha para generar calor, utilizado tanto a nivel doméstico como industrial. Los paneles fotovoltaicos transforman directamente la radiación solar en electricidad mediante células de silicio, mientras que los colectores solares térmicos absorben y concentran el calor del sol para su uso en calefacción, agua caliente, entre otros fines (Arquitectura Sostenible, 2017; Caballero, 2023; Lopez, 2019).

### **7.5.3 Energía a partir de la biomasa**

La energía a partir de la biomasa es un tipo de energía renovable que se obtiene mediante la combustión de materia orgánica, como residuos agrícolas, forestales, agroalimentarios e incluso residuos urbanos. Este proceso se basa en la transformación de la energía solar almacenada en la biomasa a través de la fotosíntesis, donde las plantas convierten el dióxido de carbono y el agua en materiales orgánicos con alto contenido energético. La biomasa se clasifica en biomasa natural, biomasa residual y

biomasa producida, cada una con sus propias características y fuentes de origen (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

La energía de biomasa presenta diversas ventajas, como ser una fuente de energía renovable, contribuir a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, ser económicamente accesible y generar empleo en sectores rurales. Sin embargo, también tiene desventajas, como la necesidad de una combustión controlada y la posibilidad de no ser ventajosa en todos los contextos (Portillo Roperó, 2020).

#### **7.5.4 Energía eólica.**

La energía eólica, como fuente renovable, se genera a través del movimiento del viento captado por los aerogeneradores (Factorenergía, n.d.). Estos dispositivos cuentan con grandes aspas que, al girar, activan un generador, convirtiendo la energía mecánica en eléctrica. Los aerogeneradores constan de varias partes clave, como las palas, el buje, el rotor, la torre, el generador de electricidad, entre otros componentes, que trabajan en conjunto para producir energía limpia y sostenible (Iberdrola, n.d.).

Aunque la energía eólica ofrece numerosos beneficios, como su contribución a la transición hacia un futuro más sostenible y menos dependiente de los combustibles fósiles, enfrenta desafíos significativos. Estos incluyen la necesidad de ubicar los aerogeneradores en áreas con vientos constantes y fuertes, así como las preocupaciones relacionadas con su impacto visual y sonoro (ENEL, s.f.; icfrenovables, 2024; Ramos, 2021)

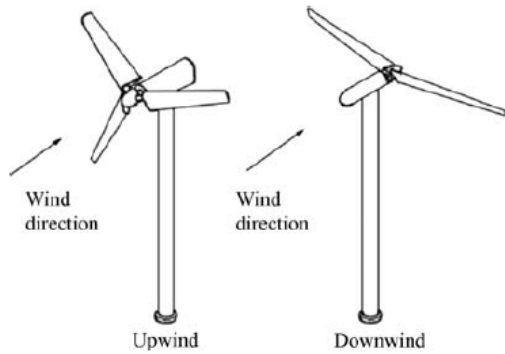
A pesar de estos desafíos, la energía eólica sigue ganando popularidad y se está convirtiendo en una parte esencial del panorama energético en muchos países. En este sentido, las turbinas eólicas desempeñan un papel crucial en la captura y conversión eficiente de la energía del viento en electricidad utilizable. Las turbinas más comunes son:

- *Turbinas de eje horizontal:* Por sus siglas en inglés, HAWT, son las más utilizadas a gran escala debido a su alta eficiencia. Estas turbinas operan a gran altura y en corrientes de

viento fuerte, pero suelen generar un notable impacto visual y sonoro en el entorno (ENEL, s.f.; Molina, s.f.).

### Figura 7

*Turbina de eje horizontal*

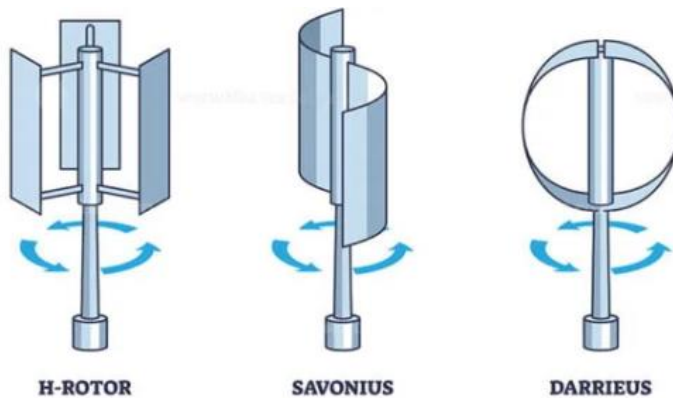


*Fuente: Clasificación de las turbinas eólicas de eje horizontal (HAWT) (Manwell, McGowan, & Rogers, 2010)*

- *Turbinas de eje vertical:* Por sus siglas en inglés, VAWT, son idóneas para velocidades de viento baja, además que aprovechan corrientes de viento de todas las direcciones. Son de menor altura y tamaño, facilitando el mantenimiento, no obstante, al operar a bajas velocidades, su generación de energía es menor comparado con las turbinas de eje horizontal (Molina, s.f.; Portillo, 2021; Structuralia, 2018).

### Figura 8

*Tipos de turbinas de eje vertical*



*Fuente: (VectorMine, 2023)*

### 7.4.5.1 Variables de la energía eólica

En el ámbito de la energía eólica, diversas variables son cruciales para el éxito y viabilidad de los proyectos. Entre ellas se incluyen variables del viento, del terreno y del tipo de turbina.

*Variables del viento:* Hay tres componentes del viento que determinan la potencia disponible:

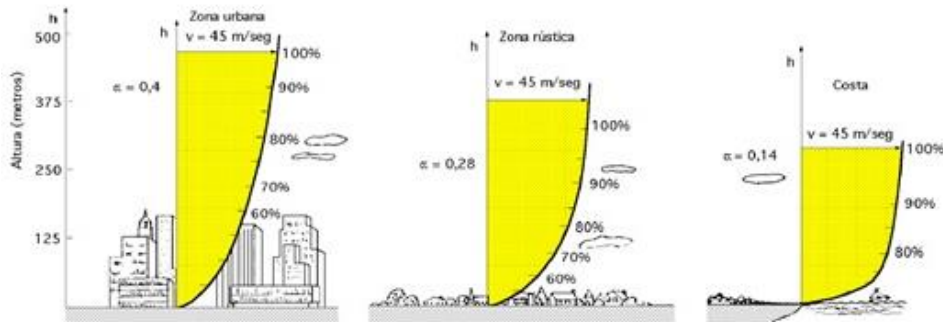
- *Velocidad del viento:* Es un parámetro crucial, ya que determina la cantidad de energía cinética disponible para ser capturada y convertida en electricidad por las turbinas (FOCER, 2002, p. 7).
- *Turbulencia:* El movimiento de las corrientes del viento determina, a grandes rasgos, la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es. La turbulencia puede afectar negativamente la eficiencia y la vida útil de las turbinas, causando fatiga estructural y reduciendo la producción de energía, por lo tanto, comprender y mitigar los efectos de la turbulencia es crucial para optimizar el rendimiento de los proyectos eólicos (FOCER, 2002, p.7).
- *Densidad del aire:* La densidad del aire influye en la cantidad de energía que puede ser capturada por las turbinas, ya que una mayor densidad significa una mayor cantidad de masa de aire que atraviesa las palas de la turbina, lo que resulta en una mayor producción de energía (FOCER, 2002, p. 7).

*Variables del terreno:* En la evaluación de la viabilidad de un proyecto eólico, también se consideran parámetros relacionados con el terreno. Esto implica analizar la orografía y su impacto en el recurso eólico.

- *Rugosidad:* Una superficie se determina por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que se contiene, por ejemplo, en ciudades y bosques el factor de rugosidad es alto ya que los elementos están muy juntos. La rugosidad afecta significativamente el rendimiento de la turbina eólica al aumentar la resistencia, provocar la separación de la capa límite y reducir la producción de energía (Mur Amada, s.f., p. 6).
- *Variación vertical del viento:* Se refiere a los cambios de velocidad y dirección del viento a diferentes alturas sobre la superficie (Mur Amada, s.f., p. 6). Véase *Figura 9*.

## Figura 9

### Variación vertical del viento



Fuente: UPV

*Variable de la turbina:* En términos de generación de energía eléctrica, sólo un cierto porcentaje de la energía cinética del viento puede ser transformada y aprovechada. A esto se le conoce como potencia eólica aprovechable (*Figura 10*). Esto a su vez, está relacionado con la ley de Betz; esta ley establece que la máxima potencia teórica extraíble con un aerogenerador ideal no puede superar el 59%. (Mur Amada, s.f., p. 9)

## Figura 10

### Potencia eólica aprovechable

$$P_e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$$

Fuente: Mur Amada

## 7.6 Normatividad en Colombia

En Colombia, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) es la entidad responsable de formular las leyes, resoluciones y demás normativas que regulan la integración de las energías renovables y el sector energético. Específicamente, existen dos leyes clave para la transición energética en el país:

*Ley CREG 1715 de 2014:* “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”. (CREG, 2014)

*Ley CREG 2099 de 2021:* “Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones” (CREG, 2021).

## **8 ANÁLISIS DE LAS RESTRICCIONES**

### **8.1 Ambientales**

- La turbina eólica genera contaminación auditiva.
- La actividad de la turbina puede afectar el vuelo de las aves que atraviesan la zona.

### **8.2 Económicas**

- La compra de las baterías está relacionada del dinero destinado para el semillero.
- La bicicleta depende de conseguirla a partir de una donación.

### **8.3 Legales**

- Gestionar los permisos necesarios en la universidad para la instalación del sistema.

### **8.4 Salud y seguridad**

- El aerogenerador debe ser instalado en un área que esté fuera del alcance de los estudiantes y demás personal, garantizando así su seguridad en el piso.

## **9 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN**

Frente al desafío de abordar la contaminación auditiva y proteger a las aves en entornos donde las turbinas eólicas ya están en funcionamiento y no pueden ser modificadas, nuestro proyecto propone una estrategia integral que se enfoca en la mitigación del impacto ambiental y la promoción de la coexistencia armoniosa entre la generación de energía renovable y la vida silvestre. Reconociendo la necesidad urgente de encontrar soluciones prácticas y efectivas, nos comprometemos a desarrollar un enfoque multidisciplinario que combine tecnología y participación comunitaria. Además, hemos considerado la implementación de consultas con ingenieros ambientales para el desarrollo de estrategias específicas que minimicen los efectos negativos sobre el entorno natural. Nuestro proyecto no solo busca proteger el medio ambiente y las especies vulnerables, sino también involucrar activamente a las comunidades locales en la conservación de la biodiversidad y la promoción de prácticas sostenibles. Al fomentar la participación ciudadana y el diálogo abierto, aspiramos a construir un futuro donde la generación de energía eólica sea una parte integral de un paisaje sostenible y biodiverso.

## 10 PROTOTIPO

### 10.1 Software y modelado

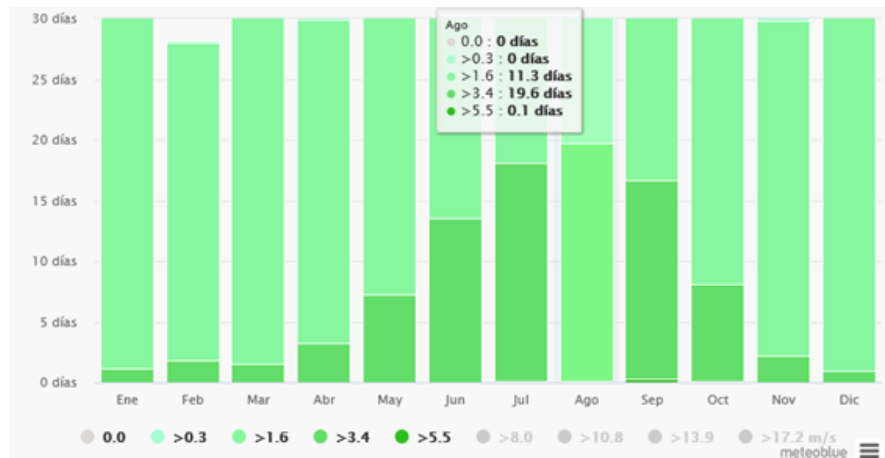
Para el modelado del sistema energético, se usan dos softwares: WRPLOT y Homer Pro. De estos softwares se evalúan dos variables principalmente: la velocidad promedio del viento y la dirección del viento, que se analiza por medio de la rosa de los vientos.

#### 10.1.1 Velocidad promedio del viento

Para esta primera variable, se usa el software Homer Pro, un software que permite hacer simulaciones de sistemas de energías diferentes, como la energía eólica (Véase *Figura 11*). De igual manera, se acude a bases de datos de monitoreo online con datos de los últimos 30 años en Bogotá (Véase *Figura 12*), para realizar una comparativa con los resultados obtenidos en el software.

**Figura 11**

*Velocidad del viento en Bogotá*

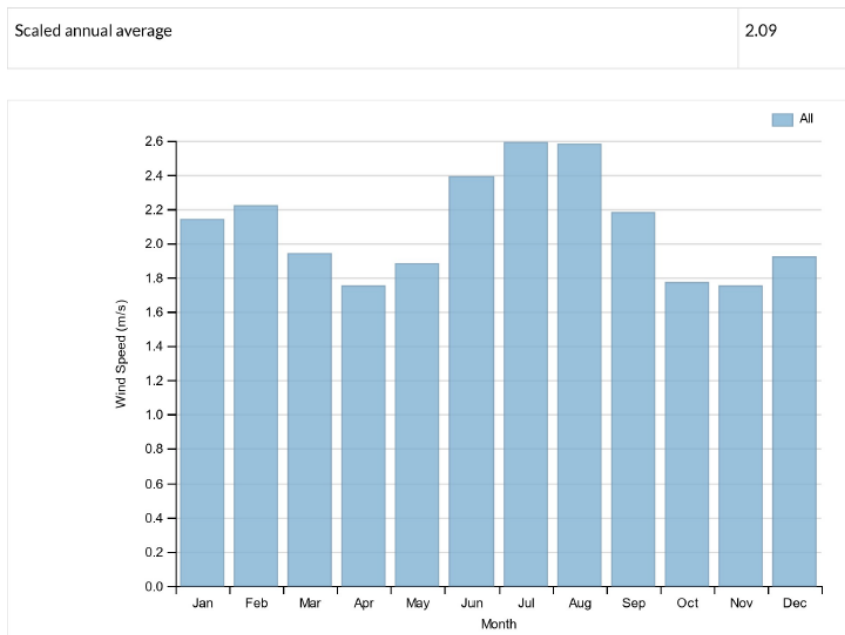


*Fuente: Meteoblue*

Para el mes de agosto, que es el mes con mayores velocidades de viento, suelen alcanzarse máximo 5.5 m/s pero la tendencia siempre está entre 1.6 y 3.4 m/s.

**Figura 12**

*Promedio recurso eólico disponible*



*Fuente: Elaboración propia usando el software Homer Pro*

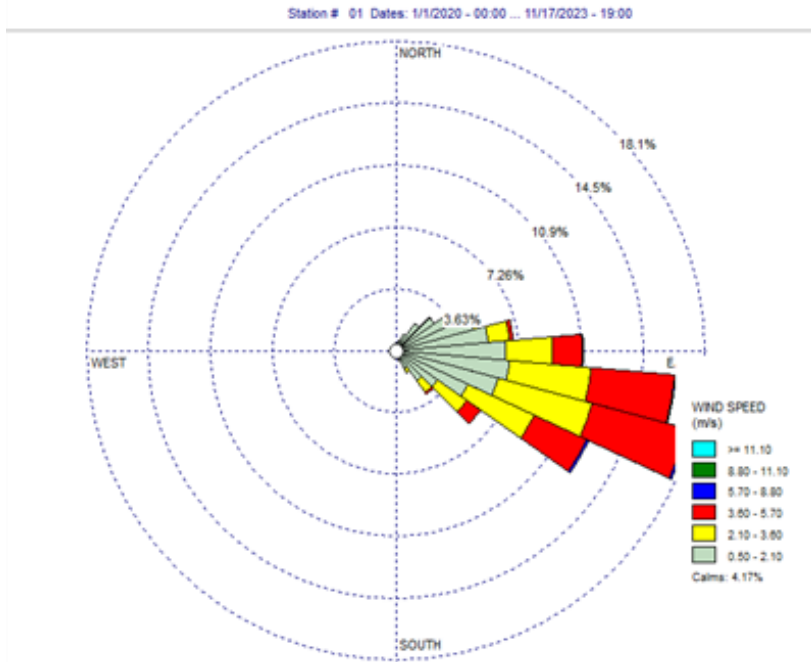
Usando el software Homer Pro se obtienen parámetros similares y distribuciones que corresponden a lo analizado en la *Figura 11*. En el software, se registran promedios de viento de 2,6 m/s y se corrobora que uno de los meses con mayor potencia es agosto.

### 10.1.2 Rosa de los vientos

Para esta segunda variable, se usa el software WRPLOT, un software especializado para la construcción de rosas de viento para datos meteorológicos. Véase *Figura 13* y *Figura 14*.

**Figura 13**

*Rosa de los vientos*



*Fuente: Elaboración propia usando el software WRPLOT*

**Figura 14**

*Representación de la rosa de los vientos en el área metropolitana circundante a la universidad Ean*



*Fuente: Elaboración propia usando el software WRPLOT*

## 10.2 Equipos

**Figura 15**

*Aerogenerador wind 13+*



*Fuente: Equipos en laboratorio*

**Figura 16**

*Regulador BORNAY 3699 (RGD600-12)*



*Fuente: Equipos en laboratorio*

**Figura 17**

*Baterias powersun FL12180(12V 18AH/20HR)*



*Fuente: Equipos en laboratorio*

**Figura 18**

*Inversor BM1512*



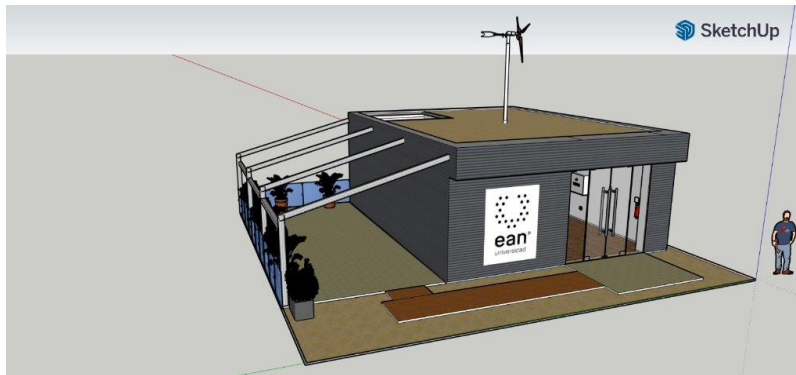
*Fuente: Equipos en laboratorio*

### 10.3 Ubicación del sistema

Para hacer la modelación 3D se hace uso del software SketchUp.

#### Figura 19

*Diseño del Octavo piso del edificio el nogal*



*Fuente: Elaboración propia usando el software SketchUP*

#### Figura 20

*Diseño del interior octavo piso del edificio el nogal*



*Fuente: Elaboración propia usando el software SketchUP*

## Figura 21

*Diseño del interior octavo piso del edificio el nogal*



*Fuente: Elaboración propia usando el software SketchUP*

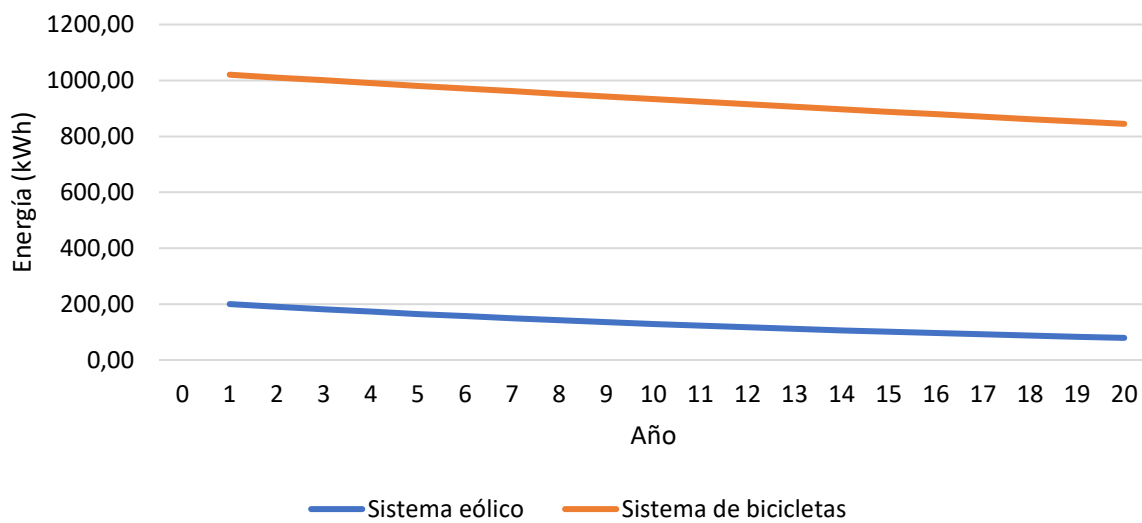
## 11 RESULTADOS

Como resultados, se tiene el ensamblaje del sistema energético (Véase *Anexo 1: Video prototipo en laboratorio*)

En la *Figura 22* se muestra la producción año a año durante los 20 años de la vida útil del proyecto. Se estima que el sistema eólico y el sistema de bicicletas generarían 2617.1kWh y 18601.5kWh, respectivamente, es decir, que en total se generarían 21218.6kWh.

**Figura 22**

*Energía generada año tras año*



*Fuente: Elaboración propia con datos de Homer Pro*

## 12 CONCLUSIONES

- Se optimizó el diseño energético evaluando la implementación de diferentes equipos para el sistema, analizando y eligiendo la mejor alternativa económica y ambientalmente.
- Se adecuaron los equipos disponibles que se encontraban en los laboratorios de la Universidad Ean, reparando el inversor, turbina y controlador.
- Se logró hacer pruebas en laboratorio que permitieron probar el funcionamiento del sistema.
- Se presentó el diagrama unifilar que permite ver el plano eléctrico del funcionamiento del sistema energético, además de ver el plano 3D de la ubicación en donde se hará el montaje del sistema.

## 13 COSTOS PRELIMINARES

### 13.4 Recursos

**Recurso humano:** para la mano de obra se cuenta con 4 personas en ejecución del proyecto. A continuación, se muestra la dedicación de cada uno de los participantes:

Profesión	Dedicación (horas)	Costo salario hora	Total costo
Ing. electrónico	14	\$ 23.586	\$ 330.217
Ing. Mecatrónico (no graduado)	16	\$ 8.760	\$ 140.174
Ing. en Energías (no graduado) (2 ingenieros)	18	\$ 8.760	\$ 157.696
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 628.087</b>

*Tabla 1: Recurso humano*

### 13.2 Insumos

	Costo (COP)
Uso laboratorio	\$ 700.000

*Tabla 2: Insumos*

### 13.3 Materias primas

Este apartado se divide en los costos de del sistema eólico y los costos del sistema de bicicletas:

	Costo (COP)
Turbina + Controlador	Activo de la universidad EAN
Aerogenerador	Activo de la universidad EAN
Inversor	Reparado. \$59.900
Baterías	\$ 815.193
Componentes complementarios	\$ 300.000

*Tabla 3: Materia prima utilizada para el sistema eólico*

	<b>Costo (COP)</b>
Bicicleta	Se consiguió de manera gratuita
Alternador	\$ 375.000
Cableado (x metro)	\$ 27.000
Toma corrientes	\$ 15.000
Marco	\$ 50.000
Pintura	\$ 32.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 499.000</b>

Tabla 4: Materia prima utilizada para el sistema de bicicletas

Teniendo en cuenta la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, la inversión inicial o CAPEX, es de \$ 3'002.180 COP y el costo de mantenimiento o conocido también como OPEX, de \$ 450,000, que comprende 3 mantenimientos anuales del sistema de bicicletas 2 del sistema eólico.

### 13.4 Flujo de caja

#### Figura 23

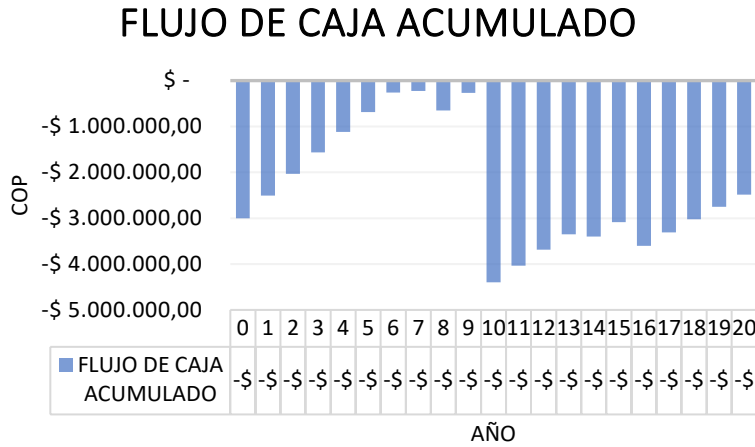
##### Flujo de caja

AÑO	INGRESOS	Energía generada sistema eólico [kWh/año]	Energía generada sistema de bicicletas [kWh/año]	Bonos de carbono	EGRESOS	Inversión	Costos mantenimiento	Costos sistema de bicicletas	FLUJO DE CAJA	FLUJO DE CAJA ACUMULADO
0					\$ 3.002.179,96	\$ 2.503.179,96	\$ -	\$ 499.000,00	-\$ 3.002.179,96	-\$ 3.002.179,96
1	\$ 942.970,62	200,00	1020,60	\$ 3.967,93	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 492.970,62	-\$ 2.509.209,33
2	\$ 928.118,82	190,48	1010,50	\$ 4.216,45	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 478.118,82	-\$ 2.031.090,51
3	\$ 913.377,38	181,41	1000,49	\$ 4.149,48	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 463.377,38	-\$ 1.567.713,14
4	\$ 899.046,28	172,77	990,58	\$ 4.084,37	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 449.046,28	-\$ 1.118.666,86
5	\$ 885.108,87	164,54	980,78	\$ 4.021,05	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 435.108,87	-\$ 683.558,00
6	\$ 871.549,26	156,71	971,07	\$ 3.959,45	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 421.549,26	-\$ 262.008,74
7	\$ 858.352,29	149,24	961,45	\$ 3.899,50	\$ 825.000,00		\$ 450.000,00	\$ 375.000,00	\$ 33.352,29	-\$ 228.656,45
8	\$ 845.503,50	142,14	951,93	\$ 3.841,13	\$ 1.265.193,00	\$ 815.193,00	\$ 450.000,00		-\$ 419.689,50	-\$ 648.345,95
9	\$ 832.989,08	135,37	942,51	\$ 3.784,27	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 382.989,08	-\$ 265.356,86
10	\$ 820.795,86	128,92	933,18	\$ 3.728,88	\$ 4.950.000,00	\$ 4.500.000,00	\$ 450.000,00		-\$ 4.129.204,14	-\$ 4.394.561,01
11	\$ 808.911,25	122,78	923,94	\$ 3.674,89	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 358.911,25	-\$ 4.035.649,75
12	\$ 797.323,27	116,94	914,79	\$ 3.622,24	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 347.323,27	-\$ 3.688.326,48
13	\$ 786.020,44	111,37	905,73	\$ 3.570,89	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 336.020,44	-\$ 3.352.306,04
14	\$ 774.991,84	106,06	896,76	\$ 3.520,79	\$ 825.000,00		\$ 450.000,00	\$ 375.000,00	-\$ 50.008,16	-\$ 3.402.314,21
15	\$ 764.227,01	101,01	887,88	\$ 3.471,89	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 314.227,01	-\$ 3.088.087,20
16	\$ 753.715,98	96,20	879,09	\$ 3.424,13	\$ 1.265.193,00	\$ 815.193,00	\$ 450.000,00		-\$ 511.477,02	-\$ 3.599.564,22
17	\$ 743.449,23	91,62	870,39	\$ 3.377,49	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 293.449,23	-\$ 3.306.114,99
18	\$ 733.417,67	87,26	861,77	\$ 3.331,92	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 283.417,67	-\$ 3.022.697,32
19	\$ 723.612,61	83,10	853,24	\$ 3.287,37	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 273.612,61	-\$ 2.749.084,71
20	\$ 714.025,74	79,15	844,79	\$ 3.243,82	\$ 450.000,00		\$ 450.000,00		\$ 264.025,74	-\$ 2.485.058,97
									VPN	-\$ 2.057.752,70
									TIR	-11%

Fuente: Elaboración propia con el programa de Excel

**Figura 24**

Gráfico del flujo de caja



Fuente: Elaboración propia con el programa de Excel

## 14 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Como bien se puede evidenciar en la *Figura 23* y la *Figura 24*, el proyecto no tiene un retorno de inversión, por lo que es necesario encontrar una alternativa que sea viable económicamente. Los cambios propuestos para el proyecto son los siguientes:

- Hacer instalación de no 1, sino 3 bicicletas para el sistema.
- Al momento de hacer el reemplazo del inversor, comprar uno de menor valor. Pasando de \$ 4'500.000 COP a \$ 3.800.000 COP.

**Figura 25**

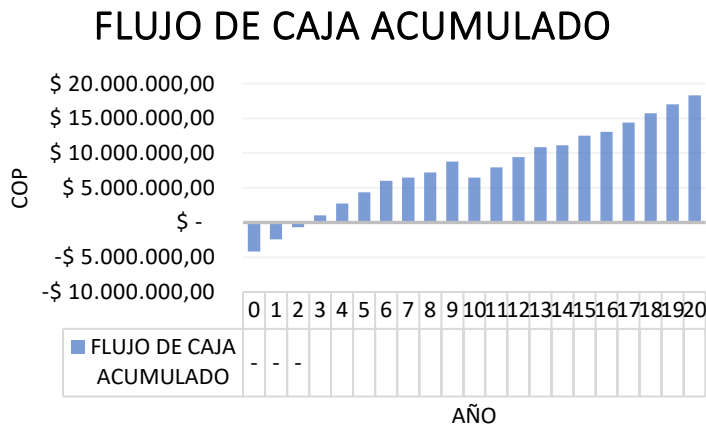
*Resultado flujo de caja propuesta alternativa*

AÑO	INGRESOS	Energía generada sistema eólico [kWh/año]	Energía generada sistema de bicicletas [kWh/año]	Bonos de carbono	EGRESOS	Inversión	Costos mantenimiento	Costos sistema de bicicletas	FLUJO DE CAJA	FLUJO DE CAJA ACUMULADO
0					\$ 4.182.397,35	\$ 2.685.397,35	\$ -	\$ 1.497.000,00	-\$ 4.182.397,35	-\$ 4.182.397,35
1	\$ 2.519.893,15	200,00	3061,80	\$ 10.603,46	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.769.893,15	-\$ 2.412.504,20
2	\$ 2.489.953,84	190,48	3031,49	\$ 11.311,87	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.739.953,84	-\$ 672.550,36
3	\$ 2.459.748,68	181,41	3001,47	\$ 11.174,65	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.709.748,68	\$ 1.037.198,33
4	\$ 2.430.106,98	172,77	2971,75	\$ 11.039,98	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.680.106,98	\$ 2.717.305,30
5	\$ 2.401.010,55	164,54	2942,33	\$ 10.907,80	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.651.010,55	\$ 4.368.315,85
6	\$ 2.372.442,01	156,71	2913,20	\$ 10.778,01	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.622.442,01	\$ 5.990.757,86
7	\$ 2.344.384,72	149,24	2884,35	\$ 10.650,55	\$ 1.875.000,00		\$ 750.000,00	\$ 1.125.000,00	\$ 469.384,72	\$ 6.460.142,59
8	\$ 2.316.822,74	142,14	2855,80	\$ 10.525,33	\$ 1.565.193,00	\$ 815.193,00	\$ 750.000,00		\$ 751.629,74	\$ 7.211.772,33
9	\$ 2.289.740,80	135,37	2827,52	\$ 10.402,30	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.539.740,80	\$ 8.751.513,13
10	\$ 2.263.124,30	128,92	2799,53	\$ 10.281,38	\$ 4.550.000,00	\$ 3.800.000,00	\$ 750.000,00		-\$ 2.286.875,70	\$ 6.464.637,43
11	\$ 2.236.959,21	122,78	2771,81	\$ 10.162,51	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.486.959,21	\$ 7.951.596,64
12	\$ 2.211.232,14	116,94	2744,36	\$ 10.045,63	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.461.232,14	\$ 9.412.828,78
13	\$ 2.185.930,21	111,37	2717,19	\$ 9.930,69	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.435.930,21	\$ 10.848.758,99
14	\$ 2.161.041,11	106,06	2690,29	\$ 9.817,62	\$ 1.875.000,00		\$ 750.000,00	\$ 1.125.000,00	\$ 286.041,11	\$ 11.134.800,11
15	\$ 2.136.553,02	101,01	2663,65	\$ 9.706,37	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.386.553,02	\$ 12.521.353,13
16	\$ 2.112.454,61	96,20	2637,28	\$ 9.596,89	\$ 1.565.193,00	\$ 815.193,00	\$ 750.000,00		\$ 547.261,61	\$ 13.068.614,74
17	\$ 2.088.735,01	91,62	2611,17	\$ 9.489,13	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.338.735,01	\$ 14.407.349,75
18	\$ 2.065.383,79	87,26	2585,31	\$ 9.383,04	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.315.383,79	\$ 15.722.733,54
19	\$ 2.042.390,94	83,10	2559,72	\$ 9.278,59	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.292.390,94	\$ 17.015.124,48
20	\$ 2.019.746,86	79,15	2534,37	\$ 9.175,72	\$ 750.000,00		\$ 750.000,00		\$ 1.269.746,86	\$ 18.284.871,34
									VPN	\$ 4.824.523,23
									TIR	37%

*Fuente: Elaboración propia con el programa Excel*

**Figura 26**

*Gráfico del resultado del flujo de caja propuesta alternativa*



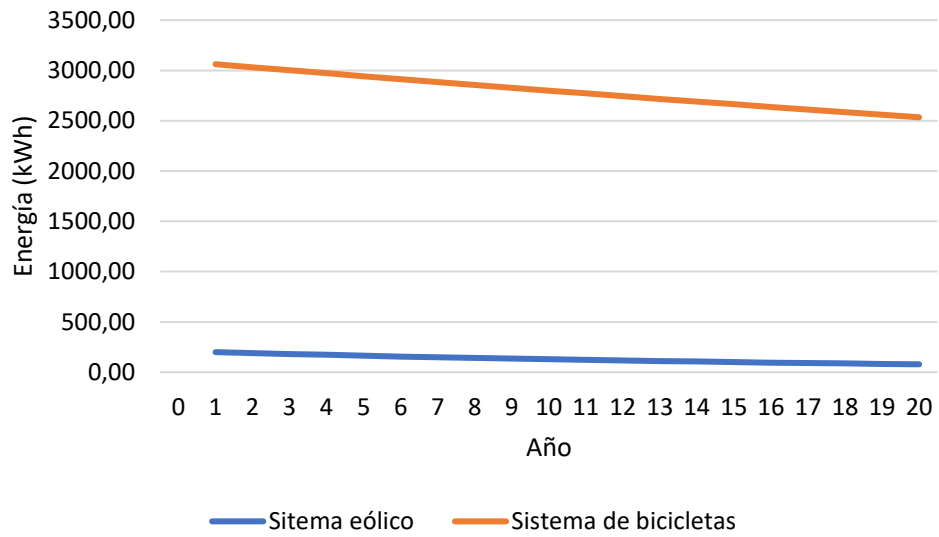
*Fuente: Elaboración propia con el programa Excel*

La *Figura 25* y la *Figura 26*, reflejan el flujo de caja resultando de la alternativa propuesta para obtener un retorno a la inversión durante la vida útil del proyecto.

Asimismo, en la *Figura 27*, se muestra la estimación de energía producida año tras año con la alternativa.

**Figura 27**

*Energía generada año tras año. Alternativa*



*Fuente: Elaboración propia*

## 15 REFERENCIAS

- ACCIONA. (n.d.). *La importancia de las energías renovables*. Retrieved March 17, 2024, from [https://www.accionacom.es/energias-renovables/?\\_adin=01569712108](https://www.accionacom.es/energias-renovables/?_adin=01569712108)
- Acolgen - Asociación Colombiana. (n.d.). Retrieved February 28, 2024, from <https://acolgen.org.co/>
- Arquitectura Sostenible. (2017). *Energía solar térmica, aprovechando el calor del sol*. <https://arquitectura-sostenible.es/energia-solar-termica-aprovechando-calor-del-sol/>
- Caballero, A. (2023). *Energía solar fotovoltaica y térmica: ventajas y desventajas*. <https://climate.selectra.com/es/que-es/energia-solar>
- Coluccio Leskow, E. (2021). *Energía Hidráulica*. <https://concepto.de/energia-hidraulica/>
- COP28: principales conclusiones | Pacto Mundial de la ONU · Pacto Mundial. (2023). <https://www.pactomundial.org/noticia/cop28-el-inicio-del-fin-de-los-combustibles-fosiles/>
- CREG. (2014). *Alejandro - Ley 1715 de 2014*. [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/ley\\_1715\\_2014.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/ley_1715_2014.htm)
- CREG. (2021). *Alejandro - Ley 2099 de 2021*. [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/ley\\_2099\\_2021.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/ley_2099_2021.htm)
- Diaonia. (2023). *Fuentes de energía de la primera y segunda revolución industrial*. <https://diaonia.com/fuentes-de-energia-de-la-primera-y-segunda-revolucion-industrial/>
- Emissiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía) | Temas | Parlamento Europeo*. (2018). <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>
- ENEL. (n.d.-a). *Aerogenerador: qué es, partes y su función*. Retrieved March 18, 2024, from <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/aerogenerador>
- ENEL. (n.d.-b). *Energías renovables: fuentes y tipos de energía*. Retrieved March 17, 2024, from <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables>
- ENEL. (n.d.-c). *Ventajas de la energía eólica*. Retrieved March 18, 2024, from <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/ventajas-energia-eolica>
- Environment & Society Portal. (2018). *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. <https://www.environmentandsociety.org/mml/energy-transitions-history-requirements-prospects>

- Factorenergia. (n.d.). *Energía eólica: cómo funciona y sus ventajas*. Retrieved March 18, 2024, from <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
- FOCER. (2002). *Manuales sobre energía renovable. EÓLICA*.
- Fundación Aquae. (2021). *Qué es la energía hidráulica y cómo funciona*.  
<https://www.fundacionaquae.org/que-es-la-energia-hidraulica/>
- Galbiatti, M. (n.d.). *Revolución Industrial*.
- García. (2015). *Coal, Steam, and The Industrial Revolution*.  
[https://www.youtube.com/watch?v=zhL5DCizi5c&ab\\_channel=CrashCourse](https://www.youtube.com/watch?v=zhL5DCizi5c&ab_channel=CrashCourse)
- Iberdrola. (n.d.). *Qué es la Energía Eólica, cómo funciona y sus ventajas*. Retrieved March 18, 2024, from <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>
- icfrenovables. (2024). *Los beneficios de la energía eólica para el medio ambiente*.  
[https://www.icfrenovables.es/los-beneficios-de-la-energia-eolica-para-el-medio-ambiente\\_fb182597.html](https://www.icfrenovables.es/los-beneficios-de-la-energia-eolica-para-el-medio-ambiente_fb182597.html)
- Jones. (2008). *Revolución Industrial: qué es, sus características y causas*.  
<https://humanidades.com/revolucion-industrial/>
- Landes, D. S. (1969). *THE UNBOUND PROMETHEUS Technological change and industrial development in Western Europe from 1750 to the present*.
- Lomas González, A., & Torrijo Murciano, R. (2021). *Estudio sobre la evolución de la temperatura de verano en varios observatorios españoles y su relación con cambios en la circulación atmosférica*. <https://web.archive.org/web/20210814125654/https://pub.ame-web.org/index.php/JRD/article/download/2046/2264>
- Lopez, P. (2019). *Módulo 2 -Energía Solar Térmica y Fotovoltaica Energía Solar Térmica Unidad 1 .-Conceptos básicos sobre la radiación solar 1.1. Introducción*.  
[https://www.academia.edu/38615076/M%C3%B3dulo\\_2\\_Energ%C3%ADa\\_Solar\\_T%C3%A9rmica\\_y\\_Fotovoltaica\\_Energ%C3%ADa\\_Solar\\_T%C3%A9rmica\\_Unidad\\_1\\_Conceptos\\_b%C3%A1sicos\\_sobre\\_la\\_radiaci%C3%B3n\\_solar\\_1\\_1\\_Introducci%C3%B3n](https://www.academia.edu/38615076/M%C3%B3dulo_2_Energ%C3%ADa_Solar_T%C3%A9rmica_y_Fotovoltaica_Energ%C3%ADa_Solar_T%C3%A9rmica_Unidad_1_Conceptos_b%C3%A1sicos_sobre_la_radiaci%C3%B3n_solar_1_1_Introducci%C3%B3n)
- Mesa, M. D., Viceministro, P., Lotero, M., Rafael, C., Subdirectora De Demanda, J., Escobar, L., Subdirectora De Hidrocarburos, R., Cruz, C., Subdirector, C., Eléctrica, E., Martínez, J., De Minería, S., Viana, R., Leonardo, G., Julieth, C., García, S., Francisco, J., William, M., Martínez, A., ... Morillo, J. L. (2020). *Plan Energético Nacional (PEN)*.
- Molina, A. (n.d.). *Diferentes tipos de aerogeneradores*.
- Mur Amada, J. (n.d.). *CURSO DE ENERGÍA EÓLICA*.
- Naciones Unidas. (2024). *Energías renovables: energías para un futuro más seguro*.  
<https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

Observatorio de la Energía. (2023). *La creación de empleo en energías limpias se dispara a 13,7 millones en 2022 en todo el mundo, según IRENA.*

[https://www.elespanol.com/invertia/empresas/energia/20230928/creacion-empleo-energias-limpias-dispara-millones-mundo-irena/797920627\\_0.html](https://www.elespanol.com/invertia/empresas/energia/20230928/creacion-empleo-energias-limpias-dispara-millones-mundo-irena/797920627_0.html)

Portillo, G. (2021). *Aerogenerador vertical y de eje horizontal, ¿cómo funcionan?*

<https://www.renovablesverdes.com/aerogeneradores-verticales/>

Portillo Ropero, S. (2020). *ENERGÍA BIOMASA: ventajas y desventajas.*

<https://www.ecologiaverde.com/energia-biomasa-ventajas-y-desventajas-2803.html>

Ramos, J. (2021). *Pros y contras de la Energía Eólica: Ventajas y desafíos.*

<https://www.tomorrow.city/es/pros-y-contras-de-la-energia-eolica-ventajas-y-desafios/>

REVISTA ENERGIA. (2022). *REVISTAENERGIA.*

<https://www.calameo.com/revistaenergia/read/000557383e31e61722948>

Rosario. (n.d.). *Fuentes de energía en la tercera revolución industrial.* Retrieved March 18, 2024, from <https://ccfprosario.com.ar/tercera-revolucion-industrial-fuentes-de-energia/>

Santos Aguirre, E. (2019). *Lista con los ANTECEDENTES de la Revolución INDUSTRIAL.*

<https://www.unprofesor.com/ciencias-sociales/antecedentes-de-la-revolucion-industrial-3407.html>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, G. M. (2018). *¿Qué es la energía de biomasa? |* <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-la-energia-de-biomasa?idiom=es>

<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-la-energia-de-biomasa?idiom=es>

Structuralia. (2018). *Aerogeneradores de eje vertical y horizontal: tipos, pros y contras.*

<https://blog.structuralia.com/aerogeneradores-de-eje-vertical-y-horizontal-tipos-ventajas-e-inconvenientes>

UPME. (2015). *Plan de Expansión de Referencia Generación Transmisión.*

<https://www1.upme.gov.co/Paginas/Plan-Expansion-2015-2029.aspx>

Veloz, T., & de la, V. (n.d.). *La revolución industrial y el pensamiento político y social en el capitalismo contemporáneo, sigl.*

VectorMine. (2023, April 12). *Types of vertical axis wind turbines with rotation principle outline diagram - VectorMine.* <https://vectormine.com/item/types-of-vertical-axis-wind-turbines-with-rotation-principle-outline-diagram/>