

Análisis técnico-económico de la implementación de un microaerogenerador en el municipio de Acevedo, Huila, Colombia



Colaboración

Juan Carlos Ortiz Cuellar; Víctor Daniel Cuenca Cuadros, Universidad Antonio Nariño; Juan Gonzalo Ardila Marín, Universidad Surcolombiana

Fecha de recepción: 13 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 19 de junio de 2024

RESUMEN: El séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible de la Organización de Naciones Unidas propende por garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. La granja La Bella en zona rural del municipio de Acevedo alberga una familia dedicada al cultivo y beneficio del café, y no cuenta con suministro de energía eléctrica. Este proyecto evaluó la viabilidad de implementación de un microaerogenerador para satisfacer sus necesidades. En estudios previos se caracterizó el potencial eólico y se seleccionó la tecnología idónea para tal fin. En este se realizó el análisis técnico económico comparando la producción energética del aerogenerador con la demanda en el lugar, teniendo en cuenta los costos del sistema de generación eólica, su instalación y mantenimiento, y los beneficios y con respecto a los gastos actuales de satisfacción de la necesidad energética. El resultado arrojó un índice de costo beneficio del 1,8 y una tasa de retorno del 21,4 %, que determinan que la implementación del microaerogenerador en la finca La Bella es factible y se recuperaría la inversión en 7 años y 3 meses.

PALABRAS CLAVE: Energía Eólica, Evaluación de Proyectos, Fuentes Renovables, Ingeniería Económica, Ingeniería Social.

ABSTRACT: The seventh Sustainable Development Goal of the United Nations aims to guarantee access to affordable, reliable, sustainable, and modern energy for all. The La Bella farm in a rural area of the municipality of Acevedo houses a family dedicated to the cultivation and processing of coffee and does not have an electricity supply. This project evaluated the feasibility of implementing a microwind turbine to meet their needs. In previous studies, the wind potential was characterized and the ideal technology for this purpose was selected. In this, the technicaleconomic analysis was carried out comparing the energy production of the wind turbine with the demand in the place, considering the costs of the wind generation system, its installation and maintenance, and the benefits with respect to the current expenses of satisfaction of the energy need. The result showed a cost-benefit index of 1,8 and a return rate of 21,4%, which determine that the implementation of the microwind turbine on the La Bella farm is feasible and the investment would be recovered in 7 years and 3 months.

KEYWORDS: Economic Engineering, Project Evaluation, Renewable Sources, Social Engineering, Wind Energy.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la capacidad instalada en 2019 para la generación eléctrica correspondió al 68% de energía hidráulica, el 30% a combustibles fósiles y el resto a otros tipos de generación de energía. Las proyecciones, basadas en los incentivos presentados en la Ley 1715 de 2014, establecen un crecimiento en la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (UPME, 2020). Esta ley proporciona los mecanismos para que las energías renovables sean una opción real y comercialmente atractiva para generar electricidad. Gracias a esto, la energía eólica es una de las que más ha crecido, impulsada principalmente por la adopción de políticas energéticas que buscan favorecer y establecer objetivos claros con respecto

a la producción de energías renovables, así como por los procesos de innovación en las compañías fabricantes de aerogeneradores para reducir sus costos y mejorar su rendimiento [1]. Según las mediciones del viento realizadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en los departamentos de La Guajira, se han registrado velocidades promedio de 10 m/s, mientras que en algunas zonas de Santander son de 8 m/s, en Boyacá de 7 m/s y en Huila de 7 m/s, lo que indica un gran potencial eólico [2].

El uso de la fuente eólica en Colombia ha sido exitoso; diversas investigaciones lo demuestran. En la costa norte colombiana, se logró determinar un potencial eólico capaz de producir 22,3 GWh de electricidad anualmente mediante el software WASP y Windografer, utilizando los datos de campo obtenidos con un anemómetro de la marca Thies First Class durante un periodo de 151 días [3]. Una evaluación de la factibilidad de generación eólica en la ciudad de Tunja (Boyacá) se basó en un requerimiento energético de 231 kW al mes por vivienda y propuso el uso del aerogenerador E30pro de la empresa Enair. La página meteoblue proporcionó los datos de la velocidad del viento durante todo un año. En conclusión, no recomendó hacer la inversión, ya que la velocidad promedio fue de 3,3 m/s, y el aerogenerador no lograría cumplir con las expectativas de producción de energía [4]. Otro estudio de viabilidad técnica en el Huila utilizó datos recolectados por el IDEAM y determinó una velocidad promedio de 6,95 m/s, lo que llevó a seleccionar el aerogenerador de referencia Gamesa g97. Se estima que el proyecto es viable técnicamente, ya que el potencial eólico tiene la posibilidad de generar 6,27 GWh anualmente [5]. Un trabajo previo realizado por los autores empleó un mini anemómetro de la marca Uni-T UT363 y, utilizando la distribución de frecuencia de Weibull y el software WASP, determinó una velocidad media anual entre 5,7 y 6,5 m/s, siendo estas velocidades superiores a las necesarias para obtener un potencial eléctrico. En conclusión, el potencial eólico se encuentra entre 135,2 y 186,2 W/m² [6]. La siguiente fase del proyecto, que está en proceso de publicación, utilizó el método del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para seleccionar el microaerogenerador HF4.0-2000W, que producirá 15,31 kWh al día, pudiendo satisfacer la demanda de energía en un 4,78% adicional de lo requerido.

El aerogenerador es un dispositivo que puede convertir la energía cinética del viento en energía mecánica, que eventualmente se transforma en energía eléctrica [7]. Los aerogeneradores de eje horizontal, a diferencia de los de eje vertical, tienen la capacidad de autoarranque, así como un mecanismo de orientación [8]. Estos aerogeneradores dependen en gran medida de la dirección del viento y, por lo tanto, generalmente se operan a alturas más elevadas [9]. Se clasifican según el número de palas que tienen: monopalas, bipalas, tripalas y multipalas [10]. El aerogenerador tripala es el más utilizado comercialmente [11]. En comparación con otros sistemas

de energías renovables, se destaca que son de instalación y uso sencillos [12], generan menos emisiones de CO₂ por kWh generado que los paneles solares [13] y pueden tener vidas útiles más largas [14].

A pesar del gran impulso tecnológico del siglo XXI, aún existen zonas rurales en Colombia sin acceso al suministro de energía eléctrica. Según el informe de telemetría del IPSE, el 87% de la población en áreas no interconectadas corresponde a zonas rurales. En Colombia, hay alrededor de 1.710 localidades rurales donde se estima que 128.057 personas tienen acceso al servicio eléctrico solo entre cuatro y doce horas al día. En estas zonas, la población ya se ha acostumbrado al racionamiento y a las limitadas horas de disponibilidad eléctrica. Por último, el municipio de Acevedo abarca una superficie de 612 km² y alberga a una población de 36.649 personas distribuidas en 11 corregimientos y 81 veredas. Considerando estos hechos, el presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis técnico-económico relacionado con el proceso de generación y transformación de energía. El objetivo es evaluar la factibilidad de implementar un microaerogenerador en la finca La Bella, ubicada en la vereda Anayaco del municipio de Acevedo, en el departamento del Huila (Colombia). En esta finca, una familia de 4 integrantes dedicada a la explotación cafetalera cuenta con una despulpadora de motor eléctrico, pero requiere una motobomba y electrodomésticos básicos para la supervivencia y el entretenimiento. Actualmente, se ven obligados a utilizar una planta diésel ruidosa y contaminante. El municipio de Acevedo se encuentra en las estribaciones de la cordillera oriental, al sureste del departamento del Huila, dentro del sistema montañoso andino. Forma parte del valle del río Suaza, entre la cordillera oriental y la serranía de La Ceja. Gracias al valle del río Suaza, que disminuye su altitud a medida que avanza hacia el nororiente, el flujo del viento se orienta en la dirección del río. La temperatura media es de 24°C. Acevedo está ubicado a 189 km de Neiva, la capital del departamento. La finca se encuentra en las coordenadas 1°48'46.7"N 75°52'24.6"W, al noroeste de la cabecera municipal. Tiene un área de 9157,9 m² y una altura promedio de 1100 msnm. El terreno presenta una pendiente que lo eleva a 70 m sobre el nivel del río Suaza.

Esta finca no cuenta con suministro de energía eléctrica debido a su ubicación geográfica. El acceso a la red interconectada nacional requiere mucha inversión y esfuerzo, ya que el terreno no está adecuado para el acceso vehicular y el paso de la red eléctrica se encontraría obstruido por árboles y terrenos privados. La ausencia de este servicio esencial trae dificultades en las actividades relacionadas con el cultivo del café y en el uso de electrodomésticos para conservar alimentos. Además, desde la pandemia, el acceso a internet juega un papel importante debido a actividades como pagos, consultas médicas y estudio, que requieren energía eléctrica y conexión a internet. El requerimiento energético se estimó en 380 kWh/mes. Los equipos que consumen esta elec-

tricidad incluyen una nevera, diez bombillos, dos lámparas exteriores, un televisor, un motor para la despulpadora de café, tres cargadores de celular, una motobomba, un equipo de sonido, una licuadora y una cerca eléctrica. Para atender la demanda energética, existen diferentes alternativas. Como primera solución para el suministro de energía, se sugirió utilizar una planta eléctrica a gasolina con 950 W de potencia. Esta planta requiere 4,2 litros de combustible para ofrecer una autonomía de aproximadamente 4,8 horas, lo que representa \$9500 pesos al día y \$285.000 al mes. La ventaja de este método es el costo de mantenimiento e inversión inicial. Como segunda solución, se consideró el uso de energía solar, que ofrece gran adaptabilidad a cualquier terreno y requerimiento energético. Sin embargo, requiere costos elevados de inversión en paneles solares y un área extensa para su instalación. Además, se necesita que la luz solar sea constante durante todo el año para proporcionar un flujo energético permanente. En Acevedo, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente a lo largo del año. Como tercera solución, se propone la implementación de un sistema hidroeléctrico de tipo rueda hidráulica de Poncelet. Este sistema no altera la corriente fluida del río Suaza, que está en los límites del terreno objeto de estudio. Aunque se puede recrear con tecnologías existentes en la región, se debe invertir en infraestructura para proteger la máquina cuando el nivel del río sube demasiado, además de protegerla de elementos sólidos que puedan dañar la rueda hidráulica de Poncelet.

El acceso a la energía eléctrica es uno de los aspectos más importantes para tener un buen nivel de vida, ya que gracias a ella se pueden realizar trabajos con mayor facilidad, reduciendo el tiempo dedicado y, consecuentemente, aumentando la efectividad de los procesos. Esto contribuye a la mejora de la calidad de vida del ser humano, quien puede dedicar más tiempo a su desarrollo personal y familiar. Sin embargo, en muchas zonas rurales del país, no se cuenta con estos beneficios de suministro eléctrico. En el departamento de Huila, aproximadamente 12,000 familias carecen de acceso a energía eléctrica y podrían beneficiarse de alternativas. Estas familias se encuentran principalmente en zonas rurales de los municipios de Colombia, Saladoblanco, La Argentina, Nátaga, Gigante y Algeciras. Para realizar la conexión a la red eléctrica en la finca La Bella, es necesario implementar infraestructura, y el alto costo debe ser asumido por el beneficiario. Por este motivo, no es rentable adquirir los servicios de la electrificadora. Además, la distancia entre el transformador más cercano y el terreno es considerable, lo que generaría un sobrecosto en las facturas debido a las pérdidas. Así que se encontró un problema que podría ser enfrentado de manera más eficiente con la tecnología de microaerogenerador eólico en lugar de otras opciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se optó por un enfoque de investigación cuantitativo enmarcado en un diseño no experimental. La principal

variable es la velocidad del viento en la finca La Bella, y la muestra corresponde a la recolección de esta información durante un periodo de dos meses. Los datos recolectados se analizaron mediante la ley de Weibull para predecir el comportamiento de dicha velocidad durante un año y determinar la frecuencia con la que se presentan diferentes velocidades. Posteriormente, se seleccionó un microaerogenerador que garantizaría el potencial eólico en el emplazamiento. Para ello, se recopiló información sobre los modelos disponibles en el mercado y se evaluaron sus características mediante el método multicriterio de apoyo a la decisión AHP. Luego, se procedió a la selección de los demás componentes del sistema de generación eólica, considerando las características eléctricas que debían cumplir cada elemento. Se tuvieron en cuenta certificaciones, representación de la marca, calidad del producto y disponibilidad en el mercado a precios competitivos. El análisis técnico-económico tenía como objetivo evaluar la factibilidad financiera del proyecto, tomando como base los costos asociados al sistema de generación eólica. Se obtuvo información sobre la rentabilidad, el retorno de inversión y el costo-beneficio como criterios de decisión final. Para esto, se aplicó la metodología del Estudio Técnico de Proyectos, que evaluó la viabilidad técnica y económica de la propuesta. Además, consideró aspectos como la demanda, la selección de proveedores, los costos y los presupuestos.

Costos asociados al proyecto

En un sistema de generación eólica aislado, los costos están asociados con la compra de los elementos, el transporte, la mano de obra y los gastos administrativos. Dentro de los elementos que encontramos en el sistema eólico se incluyen: el aerogenerador, el controlador de carga, el inversor, las baterías, el cableado, los interruptores (breakers) y la torre. El transporte representa los costos de importación y/o envío al lugar objeto de estudio. La mano de obra implica el pago por servicios prestados y el costo de la instalación del microaerogenerador. Los costos administrativos principalmente representan ahorros en la inversión, ya que la Ley No 1715 del 13 de mayo de 2014 establece beneficios tributarios como la deducción de renta, la exclusión del IVA, la depreciación acelerada y la liberación de aranceles para productos relacionados con fuentes de energías renovables.

Las cotizaciones de los elementos fueron proporcionadas por las empresas AutoSolar Energía de Colombia SAS, que ofrece una gran variedad de productos gracias a sus certificaciones y la oportunidad de transportar todos los componentes en un solo envío. La cotización incluye los precios del controlador de carga, el inversor, la batería, el cableado, la tubería y el interruptor (breaker). Además, Hengfeng-Power cotizó el precio del microaerogenerador junto con su respectiva importación. La cimentación y los puntos de anclaje hacen referencia a la construcción de los cimientos para la torre y los tres

puntos de anclaje que sujetarán la estructura, incluyendo el cable mencionado en la cotización. Los costos de la torre fueron cotizados por la empresa Estructuras Valencia e incluyen la construcción de la torre (con materiales incluidos), el transporte de la torre y la instalación de la estructura y el microaerogenerador en el emplazamiento, junto con sus respectivos puntos de anclaje.

Estimación del costo del consumo

Antes de realizar el análisis financiero, calculamos el valor que representaría el consumo promedio de electricidad en el lugar objeto de estudio. Identificamos los electrodomésticos básicos, como la nevera, la licuadora, el televisor, el equipo de sonido, las luminarias interiores y exteriores, y los cargadores de celular y computadora portátil. Según su patrón de uso, determinamos un consumo mensual de 380,31 kWh, lo que resulta en un consumo anual promedio de 4563,72 kWh. Sabiendo que el costo unitario de prestación del servicio en los lugares más cercanos que cuentan con él es de 700,4 COP/kWh, calculamos un costo anual de electricidad estimado de 3'044.033 COP.

Valor presente neto

El Valor Presente Neto (VPN) se define como el valor presente de los flujos de efectivo de entrada y salida de un proyecto de inversión. Por lo tanto, el VPN muestra el beneficio total obtenido de un proyecto y se calcula utilizando la siguiente ecuación (Ec. 1) [15].

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+k)^t} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde: I_0 son los costos de inversión, t es el periodo de tiempo expresado en años, n es el tiempo de vida del proyecto, $(1+k)$ es la tasa real de descuento, F_t son todos los ingresos del proyecto durante un año t , y C_t son los costos periódicos.

El resultado sirve como criterio para evaluar si el proyecto debe llevarse a cabo o no. Si el VPN es mayor que cero, indica que el proyecto generará beneficios. Si el VPN es igual a cero, no generará beneficios ni pérdidas. Finalmente, si el VPN es menor que cero, generará pérdidas y debe ser rechazado. Cabe aclarar que el VPN no proporciona la rentabilidad del proyecto, sino una medida de rentabilidad en valor absoluto.

Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno (TIR) se define como el valor de la tasa de descuento con la cual el valor presente se vuelve cero. En otras palabras, la TIR es aquella tasa que hace que el valor presente de todos los costos sea igual al valor presente de todos los ingresos. Esto se expresa mediante la siguiente ecuación (Ec. 2) [15].

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = I_0 - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+TIR)^t} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde TIR representa el porcentaje de beneficio o pérdida asociado a cualquier inversión. En otras palabras, cuando un proyecto tiene una TIR mayor que la tasa de descuento, se considera factible.

Periodo recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión (n), es el tiempo en el cual se espera recuperar la inversión inicial con los flujos de efectivo en los siguientes años y se calcula con Ec. (3) [16].

$$I_0 - \sum_{t=0}^n FC_t = 0 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde: FC_t es el flujo de efectivo en el año t .

Índice costo beneficio

El índice costo beneficio (I C/B) o proporción costo-beneficio es la razón entre el valor presente acumulado de todos los beneficios con respecto al valor presente acumulado de todos los costos, incluyendo la inversión inicial se calcula mediante (4) [16].

$$IC/B = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}}{I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}} \quad \text{Ec. (4)}$$

Para determinar si un proyecto debe ser aceptado se toma en cuenta el resultado obtenido por el I C/B, que indica que: si el valor es mayor a uno los beneficios superan los costos por ende el proyecto debe ser considerado, si el valor es igual a uno indica que el proyecto no genera beneficios ni pérdidas y si el valor es menor a uno los costos superan a los beneficios, en este caso el proyecto no debe considerarse.

RESULTADOS

Con base en los requerimientos mencionados, se estableció el listado presentado en la Tabla 1 con una lista de costos en pesos colombianos (COP) que representa el 100% de la inversión del proyecto. En la Tabla 1 se detallan los costos de inversión inicial. No se incluyen los costos de operación y mantenimiento, ya que el fabricante manifiesta que los aerogeneradores de Hengfeng-Power no los requieren. Sin embargo, el fabricante expresa que se deben realizar inspecciones cada dos años. Estas inspecciones consisten en revisar el estado de las escobillas, verificar ruidos anormales en los rodamientos, comprobar que todos los pernos estén ajustados y realizar una inspección visual de los componentes eléctricos, como el cableado, entre otros. El costo de estas inspecciones, según el fabricante, generalmente representa el 2% del costo del aerogenerador, teniendo en cuenta que deben realizarse cada dos años.

Para realizar el análisis financiero, calculamos el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el período de recuperación de la inversión y el índice de costo-beneficio (I C/B) bajo los siguientes parámetros:

Tabla 1. Costos del proyecto.

Ítem	Referencia	Valor total [10 ³ COP]	Envío [10 ³ COP]
Micro-aerogenerador	HF4.0-2kW	4.301,1	1.618,1
Controlador de carga aislado	Controlador carga MPPT 80A 12/24V/48V PC1800F Series	990	350
Inversor aislado	PV3300 TLV Series (1KW-6KW)	2.820	
Batería AGM 12V 18Ah	Ultracell UC 18-12	610,5	
Cableado manguera	4 x 6mm RZ1-K5203003	571,2	
Breaker 1	Polo 20A UL NB1	30,9	
Tubería para cableado	Conduit 1/2-pulg x 3mt	51	
Torre	Estructura torre	2.822,4	-
Cimentación y puntos de anclaje	Contrato que cubre materiales y mano de obra para la cimentación del emplazamiento	786,2	-
Instalación de componentes	Instalación de los componentes eléctricos con accesorios e insumos	650	-
Sub-totales [10 ³ COP]		13.633,3	1.968,1
TOTAL [10 ³ COP]		15.601,4	

Fuente: Elaboración propia.

1. Capital inicial: Calculamos el valor asumiendo 15.601.361 COP, expresado en la Tabla 1.

2. Tiempo de inversión: El proyecto tendrá una duración de 20 años, considerando la vida útil del microaerogenerador.

3. Ingresos: Representan el valor monetario de los ítems mencionados en la sección de costos asociados al proyecto, con una tasa de inflación del 1,97%.

4. Tasa de descuento: Utilizamos una tasa del 10%, que indica cuánto vale ahora el dinero que se recibirá en el futuro.

5. Egresos: Corresponde al costo de inspección de todo el sistema de generación eólica (microaerogenerador, controlador de carga, inversor, baterías y cableado eléctrico). Este costo representa el 2% y se realizará cada 2 años.

El flujo neto de caja es un informe financiero que muestra la cantidad de dinero disponible al final de un período determinado. En la Tabla 2 y la Figura 1 se aprecia este valor. El resultado obtenido del VPN es de 13.114.032 COP, que representa el beneficio neto total del proyecto. Cabe aclarar que esta rentabilidad es una media en valor absoluto. La TIR define el porcentaje de retorno que generaría el proyecto; en este caso, la rentabilidad es del 21,4%. El período de recuperación de la inversión es de aproximadamente 7 años y 96 días desde su realización. Además, el índice de costo-beneficio del proyecto es de 1,796, lo que indica que los beneficios superarán los costos. En consecuencia, el proyecto debe ser considerado.

Tabla 2. Análisis financiero del proyecto.

Periodo	Ingresos [10 ³ COP]	Egresos [10 ³ COP]	Flujo de efectivo [10 ³ COP]	Valor presente [10 ³ COP]	Flujo neto de caja [10 ³ COP]
1	3.044		2.767,3	2.767,3	-12.834,1
2	3.104	189,5	2.565,3	2.408,7	-10.425,4
3	3.165,1		2.378	2.378	-8.047,4
4	3.227,5	197,1	2.204,4	2.069,8	-5.977,5
5	3.291,1		2.043,5	2.043,5	-3.934
6	3.355,9	204,9	1.894,3	1.778,7	-2.155,4
7	3.422		1.756	1.756	-399,3
8	3.489,4	213,1	1.627,9	1.528,5	1.129,1
9	3.558,2		1.509	1.509	2.638,2
10	3.628,3	221,5	1.398,9	1.313,5	3.951,6
11	3.699,8		1.296,7	1.296,7	5.248,4
12	3.772,6	230,3	1.202,1	1.128,7	6.377
13	3.847		1.114,3	1.114,3	7.491,4
14	3.922,8	239,5	1.033	969,9	8.461,3
15	4.000		957,6	957,6	9.418,9
16	4.078,8	249	887,7	833,5	10.252,3
17	4.159,2		822,9	822,9	11.075,2
18	4.241,1	258,9	762,8	716,2	11.791,4
19	4.324,7		707,1	707,1	12.498,6
20	4.409,9	269,2	655,5	615,5	13.114

Fuente: Elaboración propia.

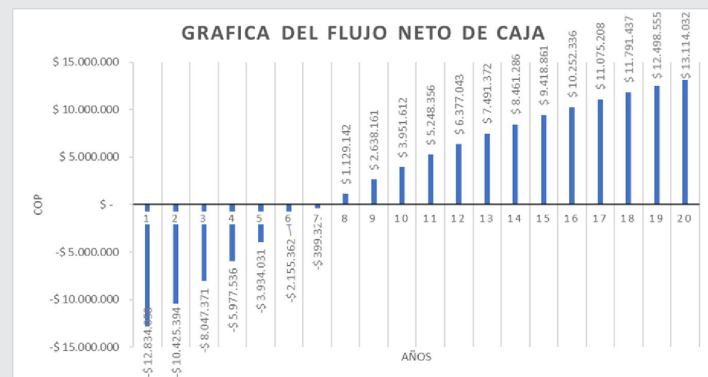


Figura 1. Gráfica de flujo neto de caja.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El análisis presentado considera, a modo de ingresos, los ahorros que la familia residente en la finca La Bella obtendrá como resultado de la inversión. Sin embargo, se supone que dichos ahorros deben invertirse en la financiación del crédito implementado para cubrir el capital inicial. Es importante considerar que el Gobierno Nacional implementa constantemente programas de apoyo y subsidio a inversiones de este tipo. Por ejemplo, la Ley 1715 de 2014 tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) en el sistema energético nacional [17].

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador de la rentabilidad de la inversión. Representa la tasa de descuento que hace que el Valor Presente Neto (VPN) de todos los flujos de efectivo (tanto positivos como negativos) sea igual a cero para la inversión. Una TIR del 21,4% significa que, al aplicar esta tasa de descuento, el valor actual neto de los flujos de efectivo futuros de la inversión se iguala a cero. En otras palabras, si consideramos todos los ingresos y gastos relacionados con la inversión, esta tasa asegura que el proyecto sea financieramente viable. Al decir que la inversión tiene una rentabilidad del 21,4% sobre el capital

invertido, se indica que el proyecto genera un retorno del 21,41% anual sobre la inversión inicial.

El índice costo-beneficio de 1,976 significa que los beneficios del proyecto son casi el doble de los costos asociados. En términos financieros, un índice mayor a 1,0 indica que un proyecto es rentable, ya que los beneficios superan a los costos. Por lo tanto, un índice de 1,976 es una señal muy positiva de que la inversión vale la pena y genera una buena rentabilidad. Cabe destacar que el ahorro logrado al término de la vida útil es casi suficiente para realizar la reinversión sin necesidad de afectar el patrimonio ni recurrir a créditos.

Un período de recuperación de la inversión de 7,263 años indica el tiempo que se tarda en recuperar el capital inicial invertido en un proyecto a través de los flujos de efectivo que este genera. En este caso, significa que se necesitarían poco más de 7 años para recuperar la inversión. Para reducir este período, se debe asegurar que el capital invertido se utilice de la manera más eficiente posible, buscar una alternativa tecnológica más económica para reducir la inversión inicial o evaluar el uso combinado de sistemas hídricos de energías alternativas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Antonio Nariño, a la Universidad Surcolombiana y la finca La Bella.

BIBLIOGRAFÍA

[1] B. G. Guerrero Hoyos, F. D. J. Vélez Macías, and D. E. Morales Quintero, "Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia)," *Ambient. y Desarro.*, vol. 23, no. 44, 2020, doi: 10.11144/javeriana.ayd23-44.eets.

[2] J. P. Franco Osorio, "Caracterización de estímulos económicos usados en el mundo que puedan ser implementados en Colombia para fomentar la inversión en energía eólica," *Universidad Nacional de Colombia*, 2016.

[3] G. A. Vera González, "Estudio para la implementación de un parque eólico en la costa norte colombiana," *Universidad Autónoma de Bucaramanga*, 2019.

[4] E. D. Del Carpio Casani, J. Kuwae Goto, and J. Marquén Fayó, "Estudio De Factibilidad De Planta De Energía Eólica De 233 Mw Para La Generación De Energía Eléctrica Con La Finalidad De Abastecer a Clientes Libres Ubicados En Lima," *Universidad Antonio Ruiz De Montoya*, 2018.

[5] J. D. Quintero Polanco, J. J. Molina Mosquera, and J. Serrato, "Viabilidad técnica para la creación de un complejo eólico generador de energía eléctrica en el departamento del Huila Technical feasibility for the creation of a complex wind power generator electrical in the department of Huila," *Ing. y Región*, vol. 5, pp. 49-56, 2016.

[6] V. D. Cuenca Cuadros, J. C. Ortiz Cuellar, J. G. Ardiela Marín, R. de Oliveira Faria, and C. A. Ramírez Vagnegas, "Study of wind potential on the La Bella farm in rural area of the municipality of Acevedo (Huila, Colombia)," *RGSA - Rev. Gestão Soc. e Ambient.*, vol. 17, no. 8, pp. 1-15, 2023, doi: 10.24857/rgsa.v17n8-024.

[7] A. Chaudhuri, R. Datta, M. P. Kumar, J. P. Davim, and S. Pramanik, "Energy Conversion Strategies for Wind Energy System: Electrical, Mechanical and Material Aspects," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 3, pp. 1-34, 2022, doi: 10.3390/ma15031232.

[8] M. Ahmad, A. Shahzad, and M. N. M. Qadri, "An overview of aerodynamic performance analysis of vertical axis wind turbines," *Energy Environ.*, vol. 34, no. 7, pp. 2815-2857, 2023, doi: 10.1177/0958305X221121281.

[9] M. A. Al-Rawajfeh and M. R. Gomaa, "Comparison between horizontal and vertical axis wind turbine," *Int. J. Appl. Power Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 13-23, 2023, doi: 10.11591/ijape.v12.i1.pp13-23.

[10] H. M. Shankara Murthy, R. N. Hegde, R. U. Gaonkar, and N. Rai, "A critical assessment of significant developments in wind turbine performance," *Int. J. Ambient Energy*, vol. 45, no. 1, p. 2267568, Dec. 2024, doi: 10.1080/01430750.2023.2267568.

[11] P. Gipe and E. Möllerström, "An overview of the history of wind turbine development: Part II-The 1970s onward," *Wind Eng.*, vol. 47, no. 1, pp. 220-248, 2023, doi: 10.1177/0309524X221122594.

[12] D. Rekioua, "Energy Storage Systems for Photovoltaic and Wind Systems: A Review," *Energies*, vol. 16, no. 9, 2023, doi: 10.3390/en16093893.

[13] Q. Hassan, M. Jaszczur, I. S. Abdulrahman, and H. M. Salman, "An economic and technological analysis of hybrid photovoltaic/wind turbine/battery renewable energy system with the highest self-sustainability," *Energy Harvest. Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 247-257, 2023, doi: 10.1515/ehs-2022-0030.

[14] L. Sun, J. Yin, and A. R. Bilal, "Green financing and wind power energy generation: Empirical insights from China," *Renew. Energy*, vol. 206, no. January, pp. 820-827, 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.02.018.

[15] G. Baca Urbina, *Evaluación de Proyectos*, 4th ed. México, D.F.: McGraw Hill, 2001.

[16] G. Baca Urbina, *Fundamentos de Ingeniería Económica*, 5th ed. México, D.F.: McGraw Hill, 2010.

[17] EL CONGRESO DE COLOMBIA, *Ley No 1715 del 13 de Mayo del 2014*, no. May. Colombia, 2014, p. 2014.

