

Artículo científico

Diseño de un sistema híbrido fotovoltaico – eólico de suministro de energía eléctrica a la biblioteca del campus Tiquipaya de la Universidad Privada del Valle

Design of a hybrid photovoltaic - wind system to supply electricity to the library of the Tiquipaya campus of the Universidad Privada del Valle.

 Daneyba Teran Aguirre¹.

1. Ing. Petróleo Gas y Energías. Univalle. Cochabamba. Bolivia. danitateran13@gmail.com

RESUMEN

El propósito del proyecto es generar energía eléctrica a partir de la evaluación de la aplicabilidad de dos fuentes de energías renovables tales como la energía fotovoltaica y eólica, para el uso en la biblioteca del Campus de la Universidad Privada del Valle, de forma total o parcial por lo tanto crear un ahorro económico y contribución al medio ambiente.

El análisis de la radiación solar, velocidad de viento y condiciones climáticas, de la Biblioteca fueron monitoreadas a una altura de 2648 msnm, latitud de -17.3346, longitud de -66.2159, temperatura 25 °C, se presentó una radiación promedio de 5.1 Kwh/m² y una velocidad promedio de viento de 3 m/s, a una altura de 18 m, siendo esta velocidad baja debido a la presencia de los árboles que se tiene alrededor de la biblioteca. Estos valores permitieron combinaciones que llegan a cubrir las dos energías renovables de acuerdo con el comportamiento de cada una respecto a la demanda 39847 Kwh de la biblioteca llevando a determinar el tipo de sistema que presenta mayor factibilidad para su aplicación.

La energía fotovoltaica la más adecuada para su implementación debido al costo que presenta producirla siendo este de 0.55 Bs/Kwh, la energía eólica teniendo un costo de 1.17 Bs/Kwh lo que representa un valor muy por encima del costo actual que se cancela de 0.91 Bs/Kwh por lo que posterior a esta fue desestimado. Con estos resultados el software PVsyst, mostró como resultado una cobertura del 82 % de la demanda total de 39847 Kwh con un costo de 0.55 Bs/kwh en plano inclinado. La vida útil del sistema es de 25 años basados en las especificaciones que indican los proveedores de los equipos en sus fichas técnicas. La inversión total del sistema es de US\$ 38278 con una recuperación de 6 años, demostrando que el proyecto es factible para su implementación.

Palabras clave: Energías renovables, generación, energía fotovoltaica, energía eólica.

Citar como: Terán Aguirre, D. (2023). Diseño de un sistema híbrido fotovoltaico – eólico de suministro de energía eléctrica a la biblioteca del campus Tiquipaya de la Universidad Privada del Valle: Design of a hybrid photovoltaic - wind system to supply electricity to the library of the Tiquipaya campus of the Universidad Privada del Valle. Journal Boliviano De Ciencias, 19(Especial). 150-170 <https://doi.org/10.52428/20758944.v19iEspecial.385>

Revisado: 26/10/2022
Aceptado: 16/06/2023
Publicado: 30/06/2023

Declaración: Derechos de autor 2023 Daneyba Terán Aguirre
Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.



ABSTRACT

The purpose of the project is to generate electrical energy from the evaluation of the applicability of two renewable energy sources such as photovoltaic and wind energy, for use in the library of the Campus of the Universidad Privada del Valle, thus partially creating economic savings and contribution to the environment.

The analysis of solar radiation, wind speed and weather conditions of the library were monitored at an altitude of 2648 masl, latitude of -17.3346, longitude of -66.2159, temperature 25 °C, presented an average radiation of 5.1 Kwh / m² and an average wind speed of 4 m / s, at a height of 18 meters. These values allowed combinations that cover the two renewable energies according to the demand 39847 Kwh of the library, leading to determining the type of system that presents greater feasibility for its application.

The photovoltaic energy is the most suitable for its implementation due to the cost of producing it being this of 0.55 Bs / Kwh, wind energy having a cost of 1.17 Bs / Kwh which represents a value well above the current cost that is canceled of 0.91 Bs / Kwh so after this was dismissed the wind resource was dismissed. With these results the PVsyst software, showed as a result a coverage of 82% of the total demand of 39847 Kwh with a cost of 0.55 Bs / kwh, the useful life of the system is 25 years based on the specifications indicated by the suppliers of the equipment in their technical sheets. The total investment of the system is US\$ 38278 with a recovery of 6 years. Demonstrating that the project is feasible for implementation.

Keywords: Renewable energies, generation, photovoltaic energy, wind energy.

1. INTRODUCCIÓN

Bolivia cuenta con un potencial elevado solar por su posición entre los paralelos 11 ° y 22°, de acuerdo al Atlas de Distribución de la Energía Solar en Bolivia (Lucano & Fuentes, 2010), la radiación solar existente en las tierras bajas del país (Santa Cruz, Beni, Pando y norte de La Paz) puede llegar a generar un máximo de 5,1 kWh/m²/día de electricidad por medios fotovoltaicos, en la región de los valles (Cochabamba, Chuquisaca y Tarija) el potencial de radiación puede generar entre 5,1 y 6,7 kWh/m²/día, en cambio en el Altiplano (La Paz, Oruro y Potosí) el potencial de energía solar puede llegar a generar entre 6,7 y 9,5 kWh/m²/día (ENERGÉTICA,2020).

La Universidad Privada del Valle, ubicada en el departamento de Cochabamba, provincia de Quillacollo, en el municipio de Tiquipaya como se puede apreciar en la Figura 1, cuenta con un clima adecuado para la implementación de la energía solar, yendo desde los 17 °C hasta los 32 °C (Globalsolaratlas, 2019) y en la energía eólica presentando vientos de Este a Oeste con una velocidad del viento desde 1.5 m/s hasta los 6.3 m/s (Globalwindatlas, 2019).

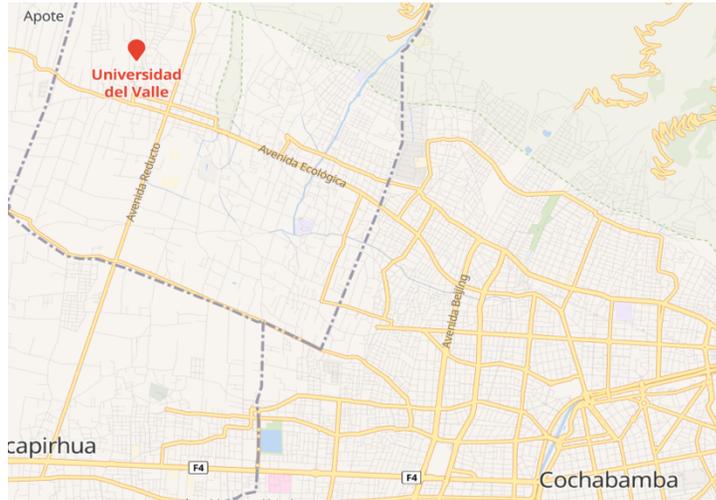


Figura 1. Ubicación Universidad Privada del Valle. Fuente: Google Earth, 2019

Por otra parte, un aspecto importante es el incremento de la población estudiantil en el campus universitario que utilizan los ambientes de la biblioteca (Figura 2). El estudio de la población universitaria fue considerado en las gestiones 2012 – 2019, presenta un incremento del 14 % por gestión (Dirección de Marketing Univalle, 2019).

El estudio de consumo eléctrico inició con la gestión 2018. Por lo tanto, el crecimiento de la población universitaria está intrínsecamente asociado al consumo eléctrico, que presenta un incremento alrededor del 6.5 % (Dirección económica Univalle, 2019). En este contexto, el proyecto tiene la finalidad de realizar un estudio de diseño de un sistema híbrido fotovoltaico – eólico. Actualmente Bolivia cuenta con el Decreto Supremo 4477 promulgada el 24 de marzo de 2021, que tiene por objeto:

- a) Establecer condiciones generales para normar la actividad de Generación Distribuida en los sistemas de distribución de energía eléctrica.
- b) Determinar la retribución por energía eléctrica inyectada a la Red de distribución por la actividad de Generación Distribuida.



Figura 2. Biblioteca del Campus de la Universidad Privada del Valle. Fuente: Google Earth, 2019

El diseño del sistema pretende cubrir la energía demandada de la biblioteca del campus Tiquipaya de la universidad, ya que este ambiente cuenta con una edificación libre de sombras, techo amplio de un área de 185 m^2 (Figura 3) y una altura de 15 m. Por las características del lugar se puede aprovechar para desarrollar energías alternativas incentivando a su aplicación y contribución al medio ambiente, brindando una disminución de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, es apta para su implementación, aspecto que amerita el desarrollo de energías alternativas.



Figura 3. Techo de la Biblioteca del Campus de la Universidad Privada del Valle. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se toma en cuenta que la biblioteca paga 0.92 Bs/kwh, dato promedio de acuerdo con los pagos realizados por la universidad, parámetro esencial para ver la utilidad de la implementación de energías alternativas, para generar un ahorro económico y disminución de dióxido de carbono.

2. METODOLOGÍA

2.1 Obtención de datos

Los datos de irradiación solar, la velocidad de viento, temperatura, humedad fueron obtenidos por medio de software libres como Altas solares, Atlas wind. (Globalsolaratlas,2019), (Windatlas,2019), (NASA,2019) todos estos datos junto con la latitud y longitud *in situ* donde se localiza la Biblioteca, son datos esenciales para evaluar el comportamiento de las variables, ya que de acuerdo con dicho comportamiento se realizará el cálculo del aporte de cada una de las energías. No se consideró trabajar con los datos recopilados de velocidad de viento por la universidad debido a que estos eran muy escasos, pero sí se pudo corroborar las horas sol por medio de un heliógrafo, el cual traza la ruta del sol.

2.2 Análisis de perfil de consumo eléctrico de la biblioteca

Se realizaron dos análisis del consumo eléctrico de lunes a domingo durante las 24 horas cada día en distintos semestres con el objeto de analizar el comportamiento semanal, este fue por medio de un analizador de red, marca FLUKE 1732, como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Analizador de red FLUKE. Fuente: Elaboración propia, 2019

Este primer monitoreo de red se observa en la Figura 5, fue llevado a cabo en el segundo semestre del 2018, este mantiene un comportamiento uniforme, en él se muestra consumo entre las 5:00 am hasta las 17:00 pm de lunes a viernes.

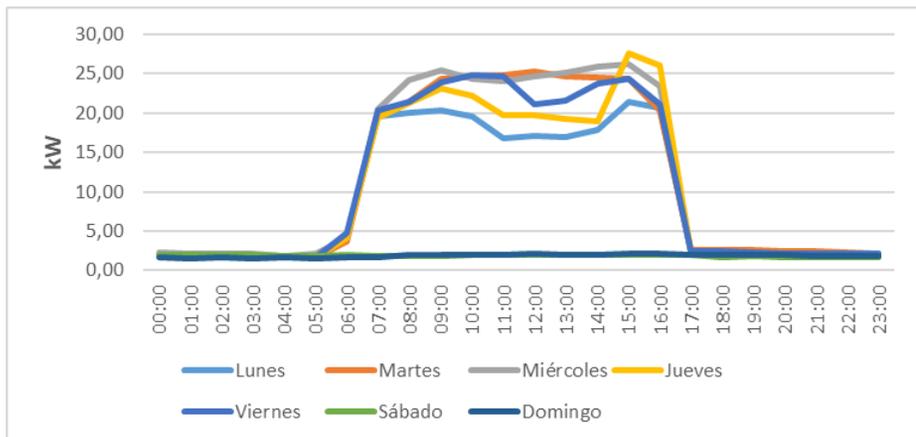


Figura 5. Primer monitoreo de potencia eléctrica. Fuente: Elaboración propia, 2018

En la Figura 6 se evidencia una disminución de la potencia eléctrica, monitoreada durante el primer semestre de la gestión del 2019, esto debido a que realizaron el cambio de focos fluorescentes por focos Led, en algunos ambientes de la biblioteca, como se puede ver en la Figura 6 su consumo empieza a las 6:00 am hasta las 18:00 pm.

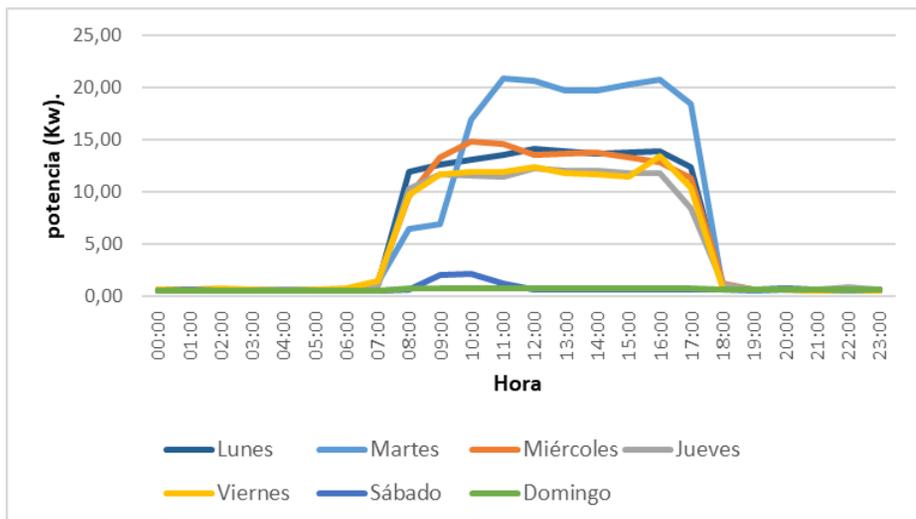


Figura 6. Segundo monitoreo de potencia eléctrica. Elaboracion propia, 2019.

La demanda energética ha sido calculada con facturas de consumo eléctrico de toda la gestión 2018, más los meses de enero, febrero, marzo de la gestión 2019 como se observa en la Tabla 1, por lo que se realizó una extrapolación de valores de los meses siguientes para tener datos de la gestión completa y proyectar el consumo mensual y anual de la Biblioteca.

Tabla 1. Consumo eléctrico de la biblioteca de la Universidad Privada del Valle

CONSUMO 2018		PROYECCIÓN CONSUMO 2019	
MESES	kWh	MESES	KWh
Enero	2,284	Enero	2,554
Febrero	2,471	Febrero	2,871
Marzo	3,574	Marzo	3,296
Abril	3,651	Abril	3,451
Mayo	3,587	Mayo	3,719
Junio	3,580	Junio	3,713
Julio	3,000	Julio	3,111
Agosto	3,483	Agosto	3,612
Septiembre	3,187	Septiembre	3,305
Octubre	3,554	Octubre	3,686
Noviembre	3,638	Noviembre	3,773
Diciembre	2,658	Diciembre	2,756
Total anual	38,665		39,847

Fuente: Elaboración propia, 2020.

2.3 Análisis del comportamiento de las variables

Los datos de radiación solar por hora en un día como se ve en la (Figura 7), y la irradiación en plano horizontal e inclinado en un año (Tabla 2), fueron obtenidos mediante la aplicación de ecuaciones para calcular la altura, azimut del sol, declinación, ángulo horario, índice de claridad y correlaciones que muestran el comportamiento de la energía solar, pudiendo así percibir qué meses hay con mejor irradiación.

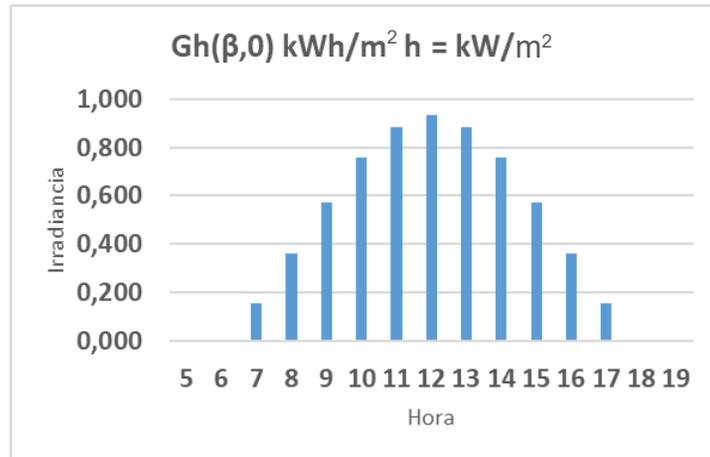


Figura 7. Irradiancia solar. Fuente: Elaboración propia 2019

De igual forma se han observado que los valores de irradiación solar presentan valores más elevados en plano inclinado que en un plano horizontal, por lo que los paneles fotovoltaicos presentan una inclinación ante el sol.

Tabla 2. Irradiación global en plano horizontal e inclinado

Irradiación plano horizontal kWH/m ²	Irradiación plano inclinado kWH/m ²
5.74	6.35
5.70	6.41
5.70	6.60
5.60	6.65
5.23	6.51
5.00	6.33
5.05	6.39
5.00	6.02
5.79	6.74
6.15	6.94
6.50	6.94
6.18	6.64

Fuente: Elaboración propia, 2020

Por otro lado, el comportamiento anual del viento oscila entre los 1,5 m/s y 6,3 m/s, teniendo una media de 3 m/s, la dirección del viento en este lugar es de NE (noreste) y SW (suroeste), como se puede ver en la Figura 8 es bastante fluctuante, presentando valores bajos.

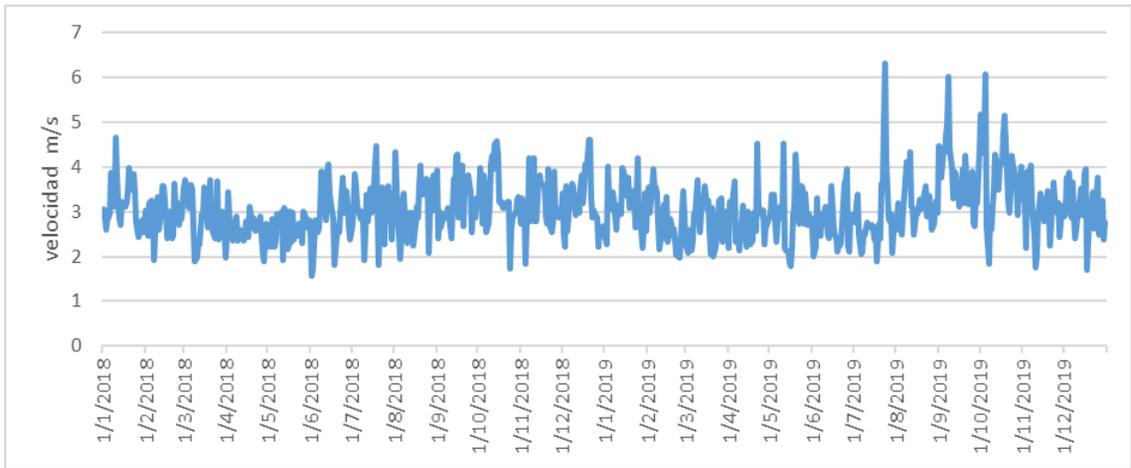


Figura 8. Comportamiento del viento en Tiquipaya. Fuente: Elaboración propia. 2019

2.4 Cálculo del sistema híbrido

Después del análisis de los datos, el cálculo por potencia para el sistema fotovoltaico y sistema eólico, basado en el consumo eléctrico se puede observar en la Figura 9, en el cual se escogió un día hábil de la semana que tenga mayor demanda, que fue el miércoles, respecto a los fines de semana, que presentan una mínima demanda eléctrica.

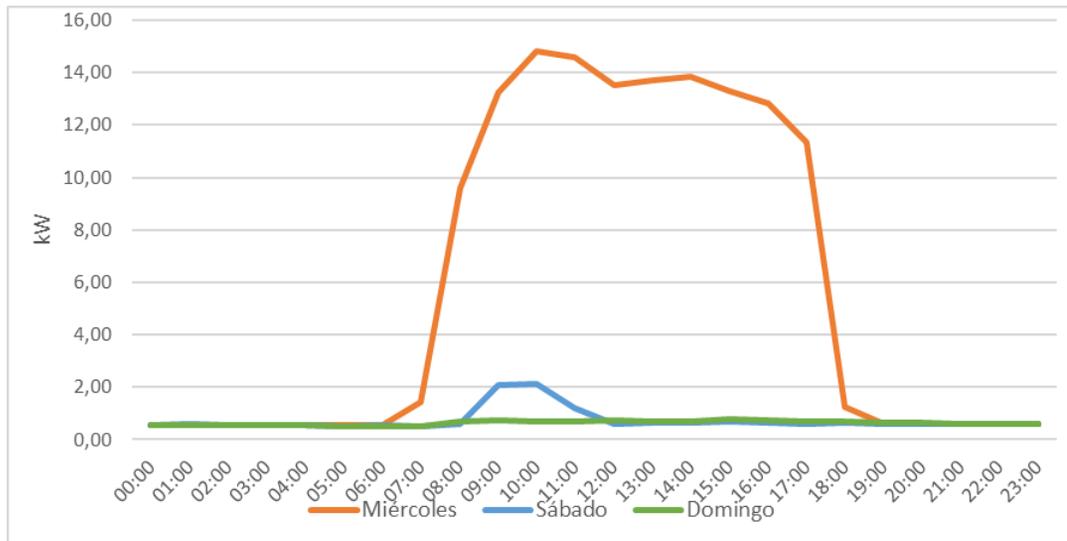


Figura 9. Día de mayor demanda vs comportamiento fin de semana del consumo eléctrico de la biblioteca. Fuente: Elaboracion propia, 2020

El cálculo se realizó en base a la Figura 9, esta curva tiene un consumo diario promedio de 14.8 kW de potencia. En el caso del sistema eólico se trabajó con los datos extraídos (Atlaswind), ya que no se cuenta con una estación meteorológica *in situ*, factor que influye en el dimensionamiento, debido a que el comportamiento del viento es fluctuante. Se utilizó software para el sistema fotovoltaico que es el PVsyst, por lo tanto, teniendo todos estos datos se tiene los siguientes pasos para su cálculo:

- Como primer paso determinar la demanda eléctrica de la biblioteca
- Analizar el aporte de la irradiación solar en plano inclinado para el sistema fotovoltaico,
- Así como los datos de la velocidad del viento para el sistema eólico
- Disponibilidad de superficie para instalación de paneles
- Disponibilidad de capital

Cumpliendo estos pasos mencionados, se evaluó el mes con menos consumo eléctrico (Tabla 1), se consideró un factor de simultaneidad de 0.9 con el que se calculó la potencia del arreglo de los paneles fotovoltaicos obteniendo un 14.51 kWp, dando lugar al cálculo de la potencia del inversor con lo que se obtiene un 13.43 kW, valor con el que se realizó el dimensionamiento del sistema, por lo tanto se trabajó con una potencia mayor y menor al valor y estas son de 10 kW y 15 kW ya que en el mercado se encuentra inversores con estas potencias.

- Factor de productividad específica = 1900 Valor referencial, SIE S.A.

$$E_{prod} = 2554 * 0.9 = 2298.6 \text{ Kwh}$$

$$P_{pfv} = \frac{2298.6 * 12}{1900} = 14.51 \text{ Kwp}$$

Rangos sobredimensionamiento de panel respecto a inversor = 1.08 – 1.2

$$P_{inv} = \frac{14.51}{1.08} = 13.43 \text{ Kw}$$

Para el sistema eólico se calculó el área, para saber el tipo de aerogenerador que se necesita.

$$A = \frac{5 * 2}{3^3 * 0.92} = 0.40 \text{ m}^2$$

Teniendo un área de barrido de 0.40 m², se seleccionó aerogeneradores de pequeña potencia conocidos también como mini turbinas eólicas, de acuerdo con sus especificaciones, como los aerogeneradores Smartwister ST – 2000, ST - 3500 turbina de eje vertical, por los siguientes factores:

- Datos de velocidades bajas
- Tamaño
- Mejor comportamiento ante flujo turbulento
- No precisa sistema de orientación, se adaptan a cualquier dirección de viento

- Utilización en entorno urbano, edificios
- Menor nivel sonoro
- Área de barrido

Por lo que se plantea entonces la realización del análisis gráfico de la combinación de las dos fuentes de energía y así obtener un sistema que cumpla con la demanda eléctrica de la biblioteca.

2.5. Energía producida por los sistemas

En la Tabla 3 se aprecia la energía producida por ambos sistemas considerando que se ha calculado para distintas potencias, de acuerdo con la evaluación de la irradiación solar, se trabajó con potencias de 10 kWp y 15 kWp de acuerdo al cálculo de potencia del inversor y velocidad de viento, con potencias de 2 kWp y 3.5 kWp, estas potencias obtenidas para el estudio fueron calculadas considerando los datos de irradiación, velocidad de viento los cuales son bajos, demanda eléctrica y las características de los equipos.

Tabla 3. Energía producida por sistema fotovoltaico y sistema eólico respecto a la potencia nominal seleccionada.

MESES	CONSUMO ELÉCTRICO	ENERGÍA EÓLICA	ENERGÍA EÓLICA	ENERGÍA SOLAR 10	ENERGÍA SOLAR 15
		2000W eje vertical	3500 W eje vertical	KWp	KWp
	kWh	Kwh	Kwh	kWh	kWh
ENERO	2554	420	655	1269.91	1695
FEBRERO	2871	380	592	1124.65	1622
MARZO	3296	420	655	1462.12	2110
ABRIL	3451	407	634	1611.78	2327
MAYO	3719	420	655	1586.83	2291
JUNIO	3713	407	634	1483.39	2142
JULIO	3111	420	655	1588.30	2292
AGOSTO	3612	420	655	1654.33	2388
SEPTIEMBRE	3305	407	634	1655.06	2149
OCTUBRE	3686	420	655	1533.28	2213
NOVIEMBRE	3773	407	634	1435.71	1873
DICIEMBRE	2756	420	655	1330.07	1918

Fuente: Elaboracion propia, 2020

2.6. Energía demandada respecto a la energía generada por los sistemas híbridos

Se realizaron distintas combinaciones entre el sistema fotovoltaico y sistema eólico, de acuerdo con la energía producida respecto a sus potencias Tabla 2. Para poder apreciar la generación entre ambos sistemas respecto a la demanda de la biblioteca, en la Figura 10 se puede observar la primera combinación que consta

de un sistema fotovoltaico de 10 kWp y un sistema eólico de 2 kW. En la Figura 11 se aprecia una segunda combinación que consta de un sistema fotovoltaico de 15 kWp y un sistema eólico de 3.5 kW y la Figura 12 una tercera combinación que muestra un sistema fotovoltaico de 15 kWp y un sistema eólico de 2 kW.

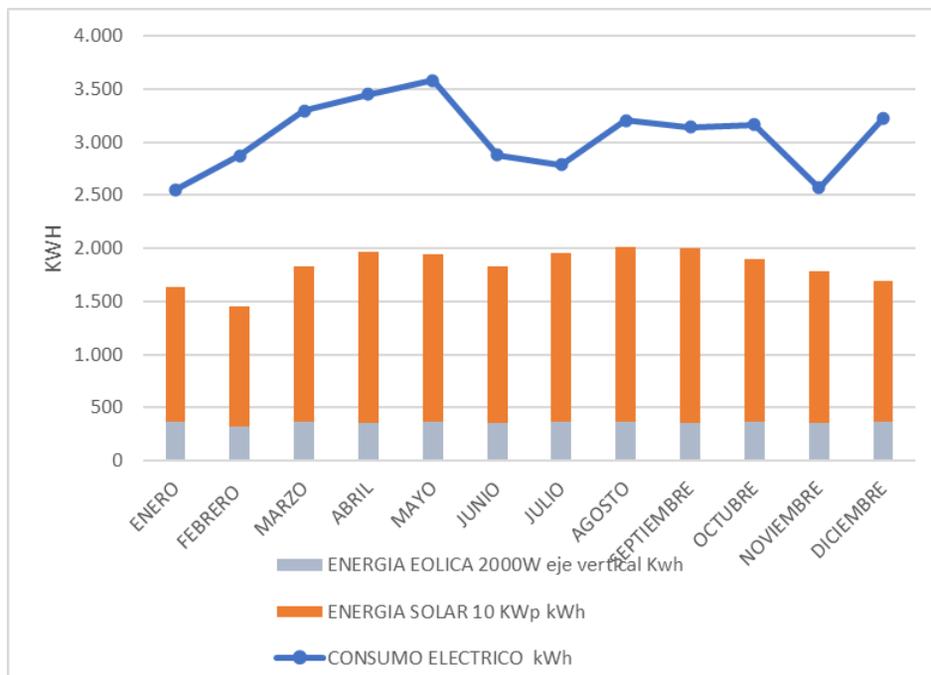


Figura 10. Primera combinación, energía generada por sistema híbrido. Fuente: Elaboración propia, 2019

Ambas energías dependen del análisis de sus variables, condiciones climáticas del lugar, para saber la cantidad de energía con la que pueden aportar, siendo un factor esencial el costo por Bs/kWh producido para que sea factible en su implementación.

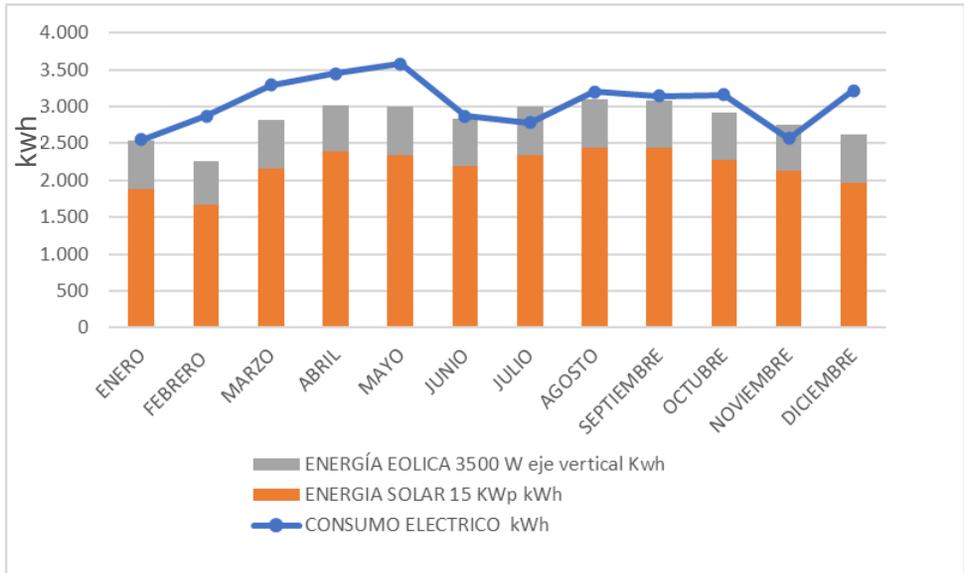


Figura 11. Segunda combinación, energía generada por sistema híbrido. Fuente: Elaboración propia, 2019

Se puede apreciar que la mejor combinación de estas energías es la tercera respecto a las 2 anteriores debido a su producción generada respecto a la demanda eléctrica. Si bien las energías renovables pueden aportarnos con su generación, pero para su implementación necesariamente se necesita saber el costo de inversión.

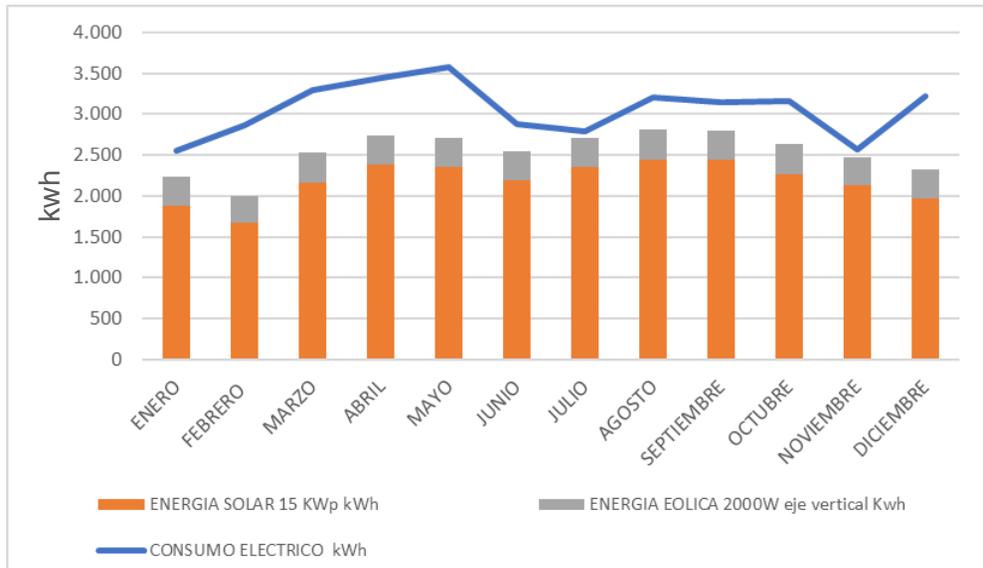


Figura 12. Tercera combinación, energía generada por sistema híbrido. Fuente: Elaboración propia. 2019

Para ello se calculó el presupuesto de instalación, la rentabilidad y el periodo de recuperación de ambos sistemas. Teniendo como punto de partida la cantidad

de energía eléctrica que se generaría en los años de operación de los equipos tanto de la energía eólica como la energía fotovoltaica, así como los valores por mantenimiento, reposición de equipo en el caso del sistema fotovoltaico un inversor a los 10 años y las tasas, en ambos sistemas se consideró una vida útil de 20 años. El flujo de caja se puede apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4. Flujo de caja

Tipo de cambio bs a USD	6,91
Incremento en tarifa	2%
Incremento consumo KWH	2%
Incremento mantenimiento	5%
Tarifa energía Bs/KWH	0,92
Tarifa energía USD/KWH	0,13
Mantenimiento USD	350
Tasa de descuento	10%

Fuente: Elaboración propia, 2020

Obteniendo como resultado los costos por kilovatio producido en los distintos sistemas como se aprecia en la Tabla 5.

Tabla 5. Costos de energía y tiempo de recuperación de inversión

	Bs/Kwh	Tiempo de recuperación inversión
Costo energía solar 10 KW	0.90	10
Costo energía solar 15 KW	0.70	8
Costo energía eólica 2 KW	1.17	15
Costo energía eólica 3.5 KW	0.96	12

Fuente: Elaboración propia, 2020

Como se puede estimar en los costos Bs/kwh y el tiempo de recuperación el sistema que muestra mejor resultado es el sistema fotovoltaico de 15 kW. Por lo tanto, la energía eólica es desestimada por los siguientes aspectos:

- Presenta un costo de 1.17 Bs/kWH, esto con aerogenerador de eje vertical de 2000 W, inclusive aumentando la potencia del aerogenerador llega a tener un costo de 0.96 Bs/kWH,

- Presenta menor participación en su generación ante la energía fotovoltaica como se aprecia en las figuras 10, 11 y 12, aun considerando sus potencias de 2 kW y 3.5 kW.

3. RESULTADOS

3.1. Simulación sistema fotovoltaico

El software PVsyst es una herramienta para diseñar por simulación instalaciones de sistemas fotovoltaicos, el cual puede ser aislado, conectado a la red, consta de una base de datos de irradiación, clima, bases de datos de equipos fotovoltaicos y componentes (módulos fotovoltaicos, inversores, generadores, etc.), así como su análisis y verificación de archivos de datos por hora, con el fin de proporcionar un cálculo de la producción del sistema fotovoltaico, comportamiento eléctrico del generador con sus diversas variantes de la simulación.

Para la realización de la simulación en el PVsyst se introduce la latitud, longitud del lugar donde quiere implementar, inclinación del panel, proporcionándonos los datos meteorológicos seguido de un almacén de los distintos tipos de módulos fotovoltaicos de acuerdo con las empresas fabricantes de dicho material, al seleccionar en el sistema un modelo de modulo fotovoltaico proporciona las características de este como su potencia, tensión, voltaje, etc. Por lo tanto, se realizaron varias simulaciones con distintas potencias de panel, en dicha pantalla se muestra si está fuera o dentro de los rangos mostrando si la simulación esta correcta.

En la Tabla 5 se muestra el resultado de los valores que se llegarían a producir de la simulación, indicando los datos más importantes, como son las irradiaciones globales, tanto difusa, directa y albedo, como la producción de energía tanto de los generadores como la energía que sale del inversor, siendo la más relevante la energía reinyectada en la red E-GRID que es 34.57 MWH debido a que es la energía que llega a producir el sistema fotovoltaico.

Tabla 6. Producción y resultados del simulador PVsyst

MESES	GlobHor kWh/m ³	DiffHor kWh/m ³	T Amb °C	GlobInc kWh/m ³	EArray MWh	EGrid MWh	PR
ENERO	192.6	91.92	26.60	176.9	2596	2341	0.74
FEBRERO	161.5	87.59	26.05	156.0	2300	2241	0.81
MARZO	196.3	75.51	25.73	203.5	2990	2915	0.80
ABRIL	196.2	31.58	24.19	224.1	3296	3215	0.81
MAYO	176.0	25.65	21.44	217.2	3245	3165	0.82
JUNIO	157.5	23.51	20.42	201.8	3033	2959	0.82
JULIO	170.9	24.38	20.47	216.8	3247	3167	0.82
AGOSTO	194.0	26.96	23.14	229.6	3382	3299	0.81
SEPTIEMBRE	3305	31.57	24.08	231.5	3384	2969	0.72
OCTUBRE	3686	70.09	26.23	215.3	3136	3057	0.79
NOVIEMBRE	3773	80.46	25.83	200.6	2935	2588	0.72
DICIEMBRE	2756	95.33	26.19	185.0	2719	2649	0.80
TOTAL	2299	664.56	24.19	2458.4	36262	34566	0.78

Fuente: PVsyst, 2020.

Leyendas:

GlobHor: Irradiación global horizontal

Irradiación difusa horizontal

TAmb: Temperatura ambiente
incidente plano receptor

EArray: Energía efectiva en la salida del generador
reinyectada en la red

PR: Factor rendimiento

DiffHor:

GlobInc: Global

EGrid: Energía

Se puede apreciar en la Tabla 7, los principales parámetros de la simulación, teniendo en cuenta la suma de las pérdidas que llegan a producirse durante este proceso de producción de energía eléctrica. Se aprecia los meses en los cuales se produce más y menos energía por medio de la radiación solar.

Tabla 7. Resumen de resultados del simulador PVsyst

Variante de simulación: Variante de simulación 15KW – estructura 330	
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema: Conectado a red Pnom: 330Wp Inclinación: 20 ° Modelo. JKM 330PP -72(plus) N de módulos: 54 Modelo Piko 15 Acimut: 0 ° Pnom total: 17.82 KWp
Resultados principales de la simulación	
Producción del sistema: energía producida 34.57 MWh/año Produc. Específico: 1940 KWh/KWp/año Factor de rendimiento: 78.9	

Fuente: PVsyst, 2020

3.2. Propuesta del diseño

La propuesta para la implementación del sistema fotovoltaico consiste en contar con la energía renovable como primer generador de energía eléctrica y como segundo la energía eléctrica convencional (respaldo de la red). Esto debido a que la energía renovable es dependiente del aspecto climatológico por lo tanto el contar con la red convencional brinda seguridad, llegando a ser un sistema fotovoltaico.

El diseño del sistema fotovoltaico en la biblioteca del Campus de la Universidad Privada del Valle sería por medio de una estructura para el generador como se observa en la Figura 14 y teniendo un ángulo de 20 grados dirección norte, este ángulo optimo se obtuvo en las simulaciones al probar distintos grados. Esto debido a que al implementar una estructura de soporte para los paneles solares aporta mayor producción de energía a diferencia de optar por la inclinación del techo de la biblioteca, como se observa esta parte del techo no presenta sombras por los arboles a su alrededor ya que estos están más alejados de la biblioteca.

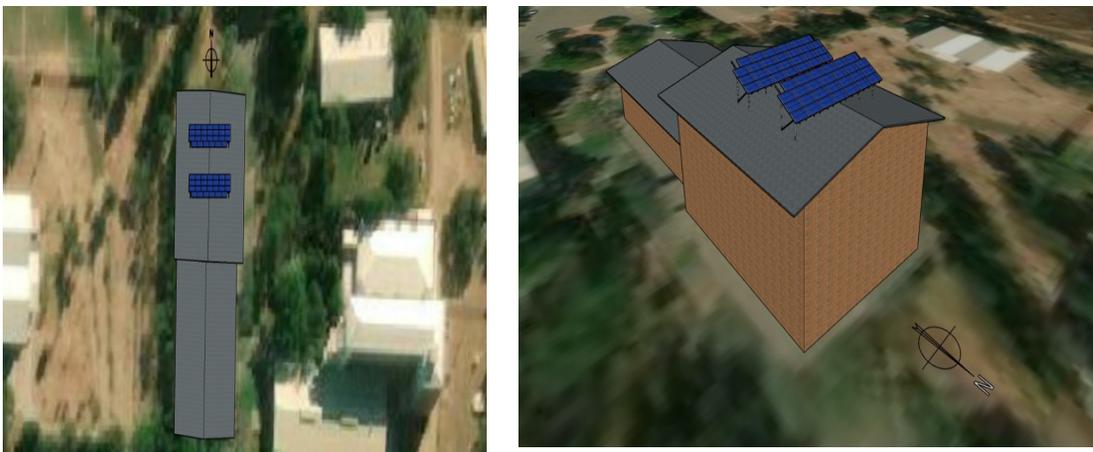


Figura 14. Vista de techo y lateral de la biblioteca de la universidad con arreglo de paneles Solares. Fuente: Elaboración propia, 2020

En la Figura 15 se muestra la potencia media (demandada), generada, auto consumida y la no aprovechada. En esta figura se muestra el comportamiento de la potencia respecto al consumo que permite analizar los horarios en los cuales se consume energía eléctrica en la biblioteca, lo que se va a generar con el sistema fotovoltaico, lo que se auto consume de esta producción, así como lo que no se aprovecha en especial los fines de semana.

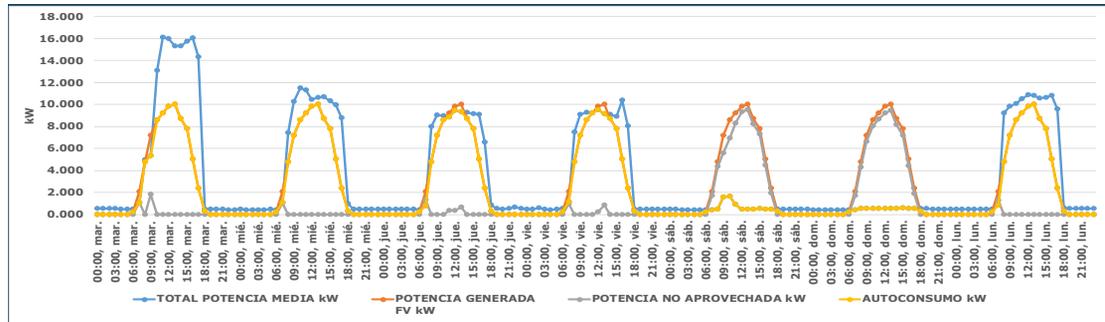


Figura 15. Potencia demandada, generación fotovoltaica, autoconsumo instantáneo y potencia no aprovechada. Fuente: Elaboración propia, 2019

3.3. Análisis económico

Se realizó un análisis económico de acuerdo al costo de inversión del sistema como muestra la Tabla 8, en el que se utilizó un horizonte de 20 años que conlleva indicadores como el costo de la energía fotovoltaica Bs/KWH, TIR (tasa interna de retorno), VAN (valor actual neto) indicando si es viable o no invertir en el proyecto, año de recuperación., como se aprecia en la Tabla 9, los cuales indican la rentabilidad del proyecto, este es en un escenario regular por lo que se ha considerado criterios poco favorables, como: no limpiar los paneles, no monitorear la producción de energía, no realizar un mantenimiento preventivo del sistema, no inyección a la red. En la Tabla 10 se muestra un escenario optimo, considerando el monitoreo del sistema, la limpieza de paneles, verificación semestral del sistema y con inyección a la red, mostrando así un escenario favorable ya que baja el costo de energía fotovoltaica.

Tabla 8. Costo de instalación sistema fotovoltaico

Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario Bs	Valor total Bs
1	módulo policristalino 330 W	pieza	54	1610.00	86940.00
2	inversor costal 15 kW	pieza	1	37528.32	37528.32
3	juegos de conductores más accesorios de montaje	juegos	-	28743.62	28743.62
4	estructura de soporte	-	-	44445.90	44445.90
5	instalación y transporte	-	-	20394.00	20394.00

Fuente: Elaboración propia. 2020

Por lo tanto, en ambos escenarios el proyecto es factible como se aprecia en sus indicadores, en especial a que económicamente el costo por kilovatio producido (Bs/Kwh) por energía fotovoltaica es menor respecto a lo que paga la Biblioteca.

Tabla 9. Indicadores financieros obtenidos (escenario regular)

Inversión inicial	Costo de energía fotovoltaica	VAN	TIR	Vida útil de equipo	Año de recuperación de inversión	Emisión evitada de CO ₂
38278 \$	0.101 \$/KWH - 0.70 Bs/KWH	50138.76 \$	10%	20 años	8	8673.6 Tn/CO ₂

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tabla 10. Indicadores financieros obtenidos (escenario óptimo)

Inversión inicial	Costo de energía fotovoltaica	VAN	TIR	Vida útil de equipo	Año de recuperación de inversión	Emisión evitada de CO ₂
38278 \$	0.08 \$/KWH - 0.55 Bs/KWH	70693.63 \$	14%	25 años	6	10842 Tn/CO ₂

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4. DISCUSIÓN

Como se pudo apreciar, para diseñar un sistema a partir de energía renovable el factor económico es esencial para su implementación, es una variable imprescindible al momento de generar un ahorro económico por medio de la disminución del consumo eléctrico convencional, por lo tanto, se tiene que evaluar todos estos factores para tomar la decisión de qué tipo de energía es la mejor para implementar, que es lo que se pretende con el sistema.

Siendo así que, al analizar la producción de energía, costo por kW, tiempo de recuperación, se propone el sistema fotovoltaico como el más viable para su implementación en la biblioteca.

La inversión para el sistema fotovoltaico es USD \$ 38278, considerando el cambio de inversor a los 10 años y el mantenimiento, por lo que esta energía producida tiene un costo de 0.70 Bs./kWH Bs. Considerando el cambio de inversor a los 10 años, la inversión del sistema se llega a recuperar en el año 8, y se tiene un promedio del ahorro energético anual alrededor del 72%, porcentaje para los primeros años de vida de los paneles fotovoltaicos, inclusive podría llegar a tener un incremento siempre y cuando la energía que se pierde los fines de semana sea inyectada a la red del Campus Universitario y así aprovechar en su totalidad la energía producida por el sistema, ya que como todo equipo nuevo en sus primeros años llega a producir con su máxima eficiencia, tiene que tomar en cuenta que al ser una energía renovable que depende del clima esta puede presentar caídas de producción, por tal razón cuando se presente alguna baja, esta será subsanada por la energía de la red.

5. CONCLUSIONES

Se contará con la energía fotovoltaica como primer generador de energía eléctrica y como segundo la energía eléctrica convencional (respaldo de la red) en caso de que exista un día fortuito tal como un día lluvioso, un día nublado. El sistema fotovoltaico está diseñado con una potencia de 15 kWp, emplazado sobre una estructura para obtener mayor generación.

La Biblioteca abre solo hasta el mediodía y en lo que respecta al sábado y el domingo está cerrada, por lo que esta energía producida por el sistema podrá ser distribuida dentro del campus ya que hay otros ambientes como la morgue, salas de monitoreo, redes que consumen energía.

Por ello, la realización de este tipo de proyecto fomenta al desarrollo de las energías renovables, al cuidado y respeto al medio ambiente, así como el beneficio al usuario, ya que son proyectos que provocan daños mínimos a diferencia de la forma convencional. Por lo que se tiene que exhortar a la población a la utilización de estas energías renovables y más aún al ser Bolivia un país privilegiado, contando ahora con el Decreto Supremo N-4477, del 25 de marzo de 2021.

6. REFERENCIAS

- Alcor, E. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. (3ª Ed.) España
- Birhuett, E., (2016). *Aprovechamiento de la energía solar entre los trópicos – energía fotovoltaica para ingenieros*. Cochabamba., Bolivia: Energética
- Campos, A., (2019). *El mercado de las energías renovables en Bolivia*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en La Paz.
- Censolar. (2009). *La energía solar y sus aplicaciones*. (5ª Edición) Sevilla., España: Promotora General de Estudios S.A.
- CUCÓ PARDILLOS, S., (2017). *Manual de energía eólica: desarrollo de proyectos e instalaciones*. Valencia., España: Universitat Politècnica de València
- Dominguez, J. (2008). *Energías alternativas*. (3ª Ed.) Madrid., España: Equipo Sirius Eds. S.A.
- ENERGÉTICA. (2020). *Situación energética de Bolivia y desafíos*. Bolivia: WWF-Bolivia
- Fernández, P., (2000). *Energía eólica*. 2000
- TDE. Transportadora de Electricidad S.A., (2008). *Mapa Eólico República de Bolivia*.
- Salvador Escoda S.A., (2017). *Libro blanco de las energías renovables*. (18.1 Ed.) Barcelona., España
- Villarrubia, M. (2012). *Ingeniería de la Energía Eólica*. Barcelona., España: MARCOMBO, S.A.
- Energía solar. Obtenido de <https://www.laenergiasolar.org/energia-fotovoltaica/inversor-solar/>
- Altas solares. Obtenido de <https://globalsolaratlas.info/?c=-16.256867,-63.213481,6&s=-14.094668,-66.402774>
- Atlas wind. Obtenido de <https://globalwindatlas.info/>
- Ceroco 2 recuperado 18 de enero de 2020, <https://www.ceroco2.org/calculadoras/electrico>
- Nasa. Obtenido de www.power.larc.nasa.gov
<https://earth.google.com/web/@-17.33104716,-66.22552958,2664.39596827a,934.02267322d,35y,0h,0t,0r>
- Milla, L., (2002). Evolución de la energía convencional y no convencional. Recuperado de: sisbib.unmsm.edu.pe
Plan de desarrollo de energías alternativas 2025 [PDF]. [Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, Bolivia] noviembre 2014.