

Recibido 28 de junio de 2025. Aceptado 26 de noviembre de 2025. Publicado 22 de diciembre de 2025.

ISSN: 2448-7775

Caracterización y Simulación del Recurso Energético Solar-Eólico en Saltillo, México

LIDIA M. FLORES LÓPEZ^{1*}, GUILLERMO J. RUBIO ASTORGA¹, NÉSTOR D. GALÁN HERNANDEZ².

¹TecNM-Instituto Tecnológico de Culiacán-CIIDETEC

²Universidad Politécnica de Sinaloa

*Autor de Correspondencia: lm24171312@culiacan.tecnm.mx

RESUMEN El aprovechamiento eficiente de recursos renovables es esencial para mitigar la intermitencia energética en sistemas híbridos. Este trabajo presenta un análisis combinado del recurso eólico y solar en la ciudad de Saltillo durante el año 2024, con datos obtenidos del Observatorio RUOA. Para el recurso eólico se realizaron análisis estadísticos detallados, al ajustar distribuciones de Weibull, al extrapolar a distintas alturas y al simular series temporales mediante modelos de Von Karman y Van der Hoven. Para el recurso solar, se emplearon datos de irradiación diaria (25 días de cada mes), al generar curvas promedio mensuales de horas sol pico (HSP), una curva anual de energía e irradiancia, y un diagrama de trayectoria solar al considerar la latitud local. Los resultados permiten caracterizar de forma robusta ambos recursos, al proporcionar una base sólida para el diseño de sistemas híbridos más estables y eficientes en la región.

PALABRAS CLAVE — Recurso renovable, Sistemas híbridos, Estimación del recurso eólico, Horas sol pico (HSP).

I. INTRODUCCIÓN

La transición energética hacia fuentes limpias y sostenibles ha impulsado la integración de sistemas híbridos como la energía solar y eólica [1]. Estos sistemas permiten aprovechar la complementariedad entre ambos recursos. Contribuyen a una mayor estabilidad en la producción energética y a la mitigación de la intermitencia de cada fuente. Sin embargo, la eficiencia de estos sistemas depende de un estudio de los recursos disponibles, al considerar las características climatológicas del sitio de interés.

El estudio del recurso eólico se aborda mediante análisis estadísticos de largo plazo, donde se destaca la aplicación de la función de distribución de Weibull para caracterizar el comportamiento del viento [2], así como la extrapolación vertical mediante la ley de Hellman, para estimar velocidades a distintas alturas [3]. Además, la simulación estocástica de la velocidad del viento mediante modelos espectrales propuestos por Von Karman y Van der Hoven que permiten generar series temporales sintéticas que representan condiciones realistas de variabilidad horaria y diaria.

En cambio, el recurso solar se analiza mediante la estimación de la irradiancia global, de donde se derivan las horas sol pico (HSP). Esta métrica es fundamental para dimensionar sistemas fotovoltaicos y permite representar la energía solar diaria en términos de equivalencia a irradiancia estándar (1 kW/m^2). La construcción de curvas promedio mensuales de HSP y su representación anual permite

entender la distribución estacional de la energía solar, complementándose con el análisis geométrico de la trayectoria solar, útil para la optimización del ángulo de inclinación de módulos solares [4].

Este estudio presenta una caracterización conjunta del recurso solar y eólico en la ciudad de Saltillo, México, a partir de los datos medidos in situ por el observatorio atmosférico RUOA [5] durante el año 2024. Lo cual permite capturar la variabilidad local, efectos microclimáticos y fluctuaciones horarias reales que no son visibles en plataformas globales de estimación como NASA POWER o Global Wind Atlas.

Para el recurso eólico se desarrollan análisis de frecuencia absoluta y relativa, histogramas mensuales, curvas de Weibull y simulaciones de velocidad de viento. Para el recurso solar se procesan series de irradiancia de 25 días por mes, obteniendo curvas mensuales de HSP, una curva anual suavizada de energía solar diaria y un diagrama solar que muestra la trayectoria aparente del Sol. Este enfoque integral tiene como objetivo proporcionar una base técnica sólida para el diseño de sistemas híbridos más robustos, capaces de reducir los efectos de intermitencia y mejorar la eficiencia energética en zonas con alta variabilidad estacional.

II. DESARROLLO

Se detalla la metodología empleada para la caracterización y simulación de los recursos eólico y solar en la ciudad de Saltillo, México. Se describen los modelos y las

herramientas estadísticas utilizadas para el análisis de los datos, al dividir el desarrollo en dos subsecciones principales, una dedicada al recurso eólico y otra al recurso solar.

A. RECURSO EÓLICO

A continuación, se presenta el análisis del recurso eólico a partir de un conjunto de datos medidos a una altura de 20 metros. Se describen los análisis estadísticos de frecuencia, la extrapolación de la velocidad del viento a diferentes alturas mediante la ley de Hellman, la aplicación de la función de probabilidad de Weibull para caracterizar el potencial energético del viento, y la simulación estocástica del recurso mediante modelos de Von Karman y Van der Hoven.

1. Análisis de los datos

El análisis de la base de datos inicia con la determinación de métricas de estadística como la velocidad media, desviación estándar y la intensidad de turbulencia; al igual que la determinación de frecuencias absolutas de clase.

2. Ley de Hellman

El modelo de cálculo se basa en la ley potencial de Hellman [Ec. \(1\)](#) para la extrapolación de velocidad a una altura distinta de interés

$$\frac{\bar{v}}{\bar{v}_r} = \left(\frac{h}{h_r}\right)^\alpha \quad (1)$$

Donde $\bar{v}$ es la velocidad media deseada (m/s), $\bar{v}_r$ la velocidad media de referencia (m/s), h la altura deseada (m), h_r la altura de referencia (m) y α el coeficiente dependiente de la longitud de rugosidad del terreno.

Al obtener los datos extrapolados se realiza un análisis idéntico al propuesto en la sección anterior.

3. Función de probabilidad de Weibull

La función de probabilidad de Weibull [Ec. \(2\)](#) predice potencial energético con la distribución de la velocidad del viento [6].

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v_w}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v_w}{c}\right)^k} \quad (2)$$

En donde $p(v)$ es la función de densidad de probabilidad de Weibull, k el factor de forma (adimensional), c el factor de escala (m/s) y v_w la velocidad del viento (m/s).

Para deducir los valores de k y c es necesario calcular la curva de densidad de probabilidad mediante la [Ec. \(3\)](#).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (v_w - \bar{v})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Al obtener σ se sustituye en la [Ec. \(4\)](#) para obtener el factor de forma.

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1.086} \quad (4)$$

Posteriormente se reemplaza k en la [Ec. \(5\)](#) para conseguir el último valor necesario para realizar la [Ec. \(2\)](#).

$$c = \frac{\bar{x}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad (5)$$

Al realizar las [Ec. \(2\)](#), [Ec. \(3\)](#), [Ec. \(4\)](#), [Ec. \(5\)](#) se obtiene una tabla donde se visualizan los parámetros pertinentes y se desarrolla un histograma de las frecuencias relativas y la curva que representa el ajuste de Weibull respecto a los datos.

4. Función de probabilidad de Weibull extrapolada

De manera generalizada los parámetros de la distribución de Weibull en la altura original medida no son los necesarios para condiciones óptimas de generación [7], por lo que se utilizan las [Ec. \(6\)](#), [Ec. \(7\)](#), [Ec. \(8\)](#) para extrapolar sus valores a otra altura deseada.

$$k = k_r \left(\frac{1-0.088 \ln\left(\frac{h_r}{10}\right)}{1-0.088 \ln\left(\frac{h}{10}\right)} \right) \quad (6)$$

$$c = c_r \left(\frac{h}{h_r} \right)^\beta \quad (7)$$

$$\beta = \frac{0.37-0.088 \ln(c_r)}{1-0.088 \ln\left(\frac{h_r}{10}\right)} \quad (8)$$

En donde k_r , k son los parámetros de forma para las alturas h_r y h . Y c_r , c son los parámetros de escala para las alturas h_r y h , en (m/s).

Al desarrollar se obtienen los parámetros y la curva de probabilidad de Weibull extrapolada.

5. Modelo matemático de Von Karman-Van der Hoven

El modelo de Von Karman-Van der Hoven [8] integra en la [Ec. \(9\)](#); la aproximación de velocidad de viento a corto plazo [Ec. \(10\)](#) y a mediano-largo plazo [Ec. \(11\)](#).

$$v_w(t) = v_g(t) + v_t(t) \quad (9)$$

$$v_g(t) = \sum_{i=0}^N A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (10)$$

$$v_t^{(i)}(t) = T_s \cdot \sum_{p=0}^N h_F^{(i)}(k) \omega_c(t-k) \quad (11)$$

Las cuales al graficar proporcionan una curva de estimación de velocidad de viento a corto, mediano y largo plazo y datos estimados que funcionan como simulador del recurso eólico para casos con baja disponibilidad de datos.

B. RECURSO SOLAR

La caracterización del recurso solar emplea datos de irradiancia minútales correspondientes a los primeros 25 días de cada mes. A partir de esto, se calcula la irradiancia promedio y las horas sol pico (HSP) para cada mes, se generan curvas promedio y un resumen anual del recurso solar. Y se incluye la construcción de un diagrama de trayectoria solar que considera la latitud de Saltillo.

1. Horas sol pico

Se toman los datos minútales de irradiancia correspondientes a los primeros 25 días de cada mes del año 2024. Y se calcula la irradiancia promedio diaria por mes y las horas sol pico (HSP) mediante la Ec. (12).

$$HSP = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1440} \frac{Irradiancia}{60} \quad (12)$$

Donde la Irradiancia representa W/m^2 para cada minuto del día. Se generan las curvas promedio mensuales de HSP, la curva anual suavizada de HSP, y la curva anual de energía solar diaria acumulada. Lo cual, representa un factor clave para cuantificar el recurso solar del sitio [9].

2. Curva anual

Al emplear los datos anteriormente mencionados se procede a procesarlos mediante una interpolación por tramos Ec. (13).

$$E(t) = E_n + \frac{E_{n+1} - E_n}{(t_{n+1} + 365) - t_n} (t - t_n), \quad (13)$$

$$t_n \leq t \leq t_1 + 365$$

Sean t_n los días del año con mediciones disponibles y E_n la energía medida en esos días. Para obtener una serie continua de energía diaria a lo largo del año, se aplica la interpolación por tramos entre los puntos consecutivos.

3. Trayectoria solar

Se construye un diagrama de trayectoria solar para la latitud de Saltillo (25° N), al calcular los ángulos de altura solar (α) en la Ec. (14). y azimut solar (Az) en la Ec. (15).

$$\sin(\alpha) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(H) \quad (14)$$

$$\sin(Az) = \frac{\cos(\delta)\sin(H)}{\cos(\alpha)} \quad (15)$$

Donde φ es la latitud, δ la declinación solar y H el ángulo horario. Esto permite determinar la distribución de la radiación solar que incide sobre una superficie a lo largo del día y del año, lo cual es esencial para optimizar el diseño y la orientación de sistemas fotovoltaicos [10].

III. RESULTADOS

Se presentan los hallazgos obtenidos a partir de la metodología descrita. Los resultados están organizados para mostrar de manera progresiva los análisis estadísticos, las extrapolaciones y simulaciones para ambos recursos.

A. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Al analizar los datos a 20 m se determinan las estadísticas básicas de velocidad de viento para el sitio dentro de la Tabla I. Donde la velocidad media de viento se adapta a escenarios de micro generación y posee una desviación estándar moderada para el recurso evaluado.

TABLA I. ESTADÍSTICAS BÁSICAS DEL VIENTO.

Velocidad media (m/s)	Desviación Estándar (m/s)	Intensidad de Turbulencia
2.996	1.584	52.88%

Como siguiente paso se obtienen las estadísticas específicas del perfil de viento como se observa en la Tabla II. Donde la mayor frecuencia de velocidad de viento presentada pertenece a la marca de clase de 2.5 m/s.

Con las estadísticas de la Tabla II se realizan las representaciones gráficas para visualizar el comportamiento eólico al representar el histograma de frecuencias relativas y la curva de frecuencia absoluta en la Fig. 1.

Se observa la Fig. 2 el comportamiento de las frecuencias acumuladas y la presencia de pendientes mayoritarias de 1 a 5 m/s.

TABLA II. ANÁLISIS DEL VIENTO.

Marca (m/s)	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada Menor Que	Frecuencia Relativa Acumulada Mayor Que
0.5	545	0.0667	0.667	1.0000
1.5	1820	0.2226	0.2893	0.9333
2.5	2161	0.2643	0.5536	0.7107
3.5	1834	0.2243	0.7779	0.4464
4.5	1003	0.1227	0.9006	0.2221
5.5	423	0.0517	0.9523	0.0994
6.5	185	0.0226	0.9749	0.0477
7.5	118	0.0144	0.9894	0.0251
8.5	51	0.0062	0.9956	0.0106
9.5	17	0.0021	0.9977	0.0044
10.5	11	0.0013	0.9990	0.0023
11.5	6	0.0007	0.9998	0.0010
12.5	2	0.0002	1.0000	0.0002
13.5	0	0.000	1.0000	0.0000

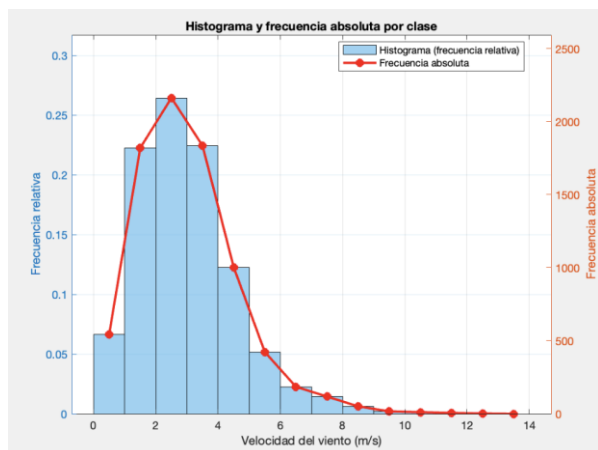


Fig. 1. Histograma y frecuencia absoluta por clase.

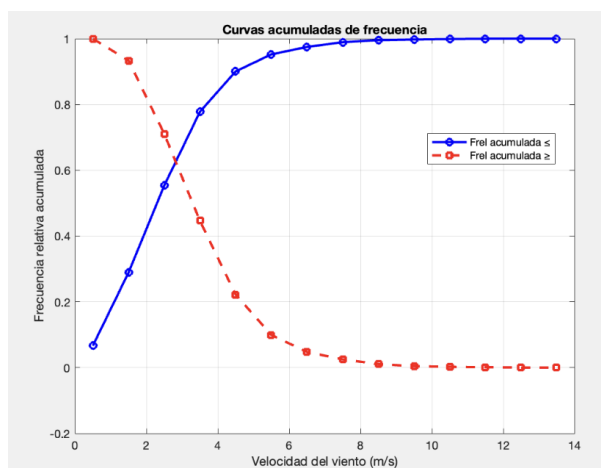


Fig. 2. Curvas acumuladas de frecuencia.

B. LEY DE HELLMAN

Se utiliza la Ley de Hellman para extrapolar los datos a una altura de interés de 100 m lo que permite evaluar el incremento de velocidad de viento en su perfil vertical y la diferencia contra la altura original.

De las estadísticas básicas evaluadas en la [Tabla III](#) los datos extrapolados presentan un aumento de 1 m/s en la velocidad media del viento, pero también un aumento en la desviación estándar que indica una mayor variabilidad en la velocidad del viento, y reduce la confiabilidad del recurso.

En las estadísticas específicas del viento extrapolado expuestas en la [Tabla IV](#) se detecta una amplitud en las velocidades de la marca de clase, la cual se extiende hasta 16.5 m/s a diferencia de la presentada en la [Tabla II](#) que indicaba un máximo de 12.5 m/s y la frecuencia absoluta de velocidades aumenta a la siguiente marca de clase de 3.5 m/s.

Se determinan el histograma de frecuencias relativas y la curva de frecuencia absoluta en la [Fig. 3](#) que brinda una representación visual del aumento de estas velocidades.

Se grafican las curvas de frecuencias acumuladas en la [Fig. 4](#) donde se visualiza que ambas pendientes aumentan el rango de estabilización el cual se amplía de 1 a 8 m/s y representa un aumento de 3 m/s con respecto a la [Fig. 2](#)

TABLA III. ESTADÍSTICAS BÁSICAS DEL VIENTO EXTRAPOLADO

Velocidad media (m/s)	Desviación Estándar (m/s)	Intensidad de Turbulencia
4.002	2.116	52.88%

TABLA IV. ANÁLISIS DEL VIENTO EXTRAPOLADO

Marca (m/s)	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada Menor Que	Frecuencia Relativa Acumulada Mayor Que
0.5	168	0.0205	0.0205	1.0000
1.5	1247	0.1525	0.1731	0.9795
2.5	1466	0.1793	0.3524	0.8269
3.5	1645	0.2012	0.5536	0.6476
4.5	1484	0.1815	0.7351	0.4464
5.5	958	0.1172	0.8523	0.2649
6.5	542	0.0663	0.9185	0.1477
7.5	274	0.0335	0.9521	0.0815
8.5	153	0.0187	0.9708	0.0479
9.5	112	0.0137	0.9845	0.0292
10.5	57	0.0070	0.9914	0.0155
11.5	34	0.0042	0.9956	0.0086
12.5	16	0.0020	0.9976	0.0044
13.5	10	0.0012	0.9988	0.0024
14.5	2	0.0002	0.9990	0.0012
15.5	6	0.0007	0.9998	0.0010
16.5	2	0.0002	1.0000	0.0002
17.5	0	0.0000	1.0000	0.0000

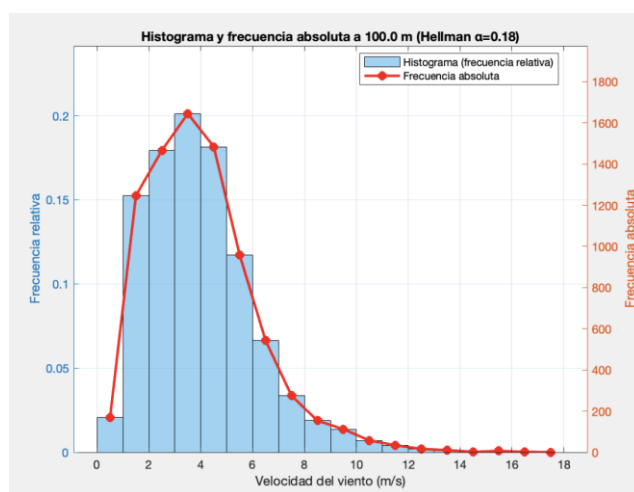


Fig. 3. Histograma y frecuencia absoluta por clase a 100 m.

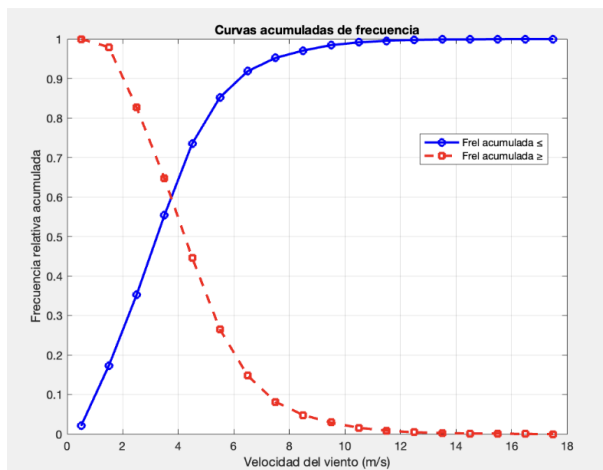


Fig. 4. Curvas acumuladas de frecuencia a 100 m.

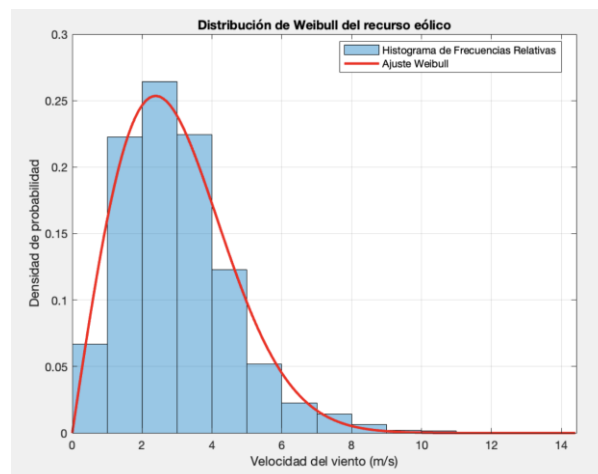


Fig. 5. Distribución de Weibull del recurso eólico.

C. FUNCIÓN DE PROBABILIDAD DE WEIBULL

Se determinan los parámetros k y c de Weibull para la altura original del sitio de 20 m en la Tabla V.

Se crea el ajuste de Weibull en la Fig. 5 de acuerdo con el histograma de frecuencias relativas de los datos donde se observa un ajuste adecuado al validar la función de probabilidad de Weibull para este escenario.

D. FUNCIÓN DE PROBABILIDAD DE WEIBULL EXTRAPOLADA

Se comparan los parámetros de Weibull desde la altura original del sitio de 20 m y los extrapolados a la altura de referencia de 100 m en la Tabla VI. Donde se observa el crecimiento de los nuevos parámetros con respecto a los originales.

Al graficar la curva de función de probabilidad de Weibull extrapolado en la Fig. 6 se observa una mayor amplitud en las velocidades de viento estimadas ya que finaliza hasta 12 m/s comparada con la Fig. 5 de 9 m/s.

TABLA V. PARÁMETROS ESTIMADOS DE WEIBULL

Velocidad media (m/s)	Desviación Estándar (m/s)	Parámetro K	Parámetro C (m/s)
2.996	1.584	1.998	3.380

TABLA VI. COMPARATIVA DE PARÁMETROS DE WEIBULL EXTRAPOLADOS

Parámetro Kr	Parámetro K	Parámetro Cr (m/s)	Parámetro C (m/s)
1.998	2.352	3.380	5.304

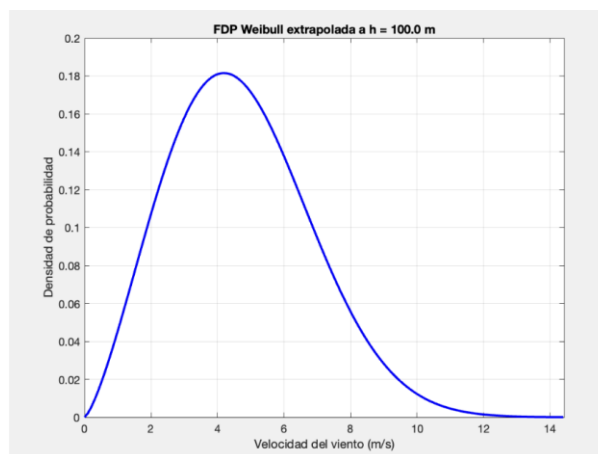


Fig. 6. Distribución de Weibull extrapolada a 100 m.

E. MODELO MATEMÁTICO DE VON KARMAN-VAN DER HOVEN

Se desarrollan las Ec. (9) Ec. (10) y Ec. (11) para generar una simulación estocástica del viento basada en la velocidad media observada en el análisis inicial en la Fig. 7. Esta simulación permite representar variaciones aleatorias realistas del recurso eólico durante un periodo de 200 horas.

El propósito de este modelo es utilizar la señal de viento generada como entrada dinámica para evaluar el comportamiento de un aerogenerador ante fluctuaciones del recurso, que pueden afectar su operación en estado estable y transitorio. Y se busca estimar el potencial energético bajo condiciones futuras más realistas y analizar la respuesta del sistema ante eventos típicos de variabilidad eólica.

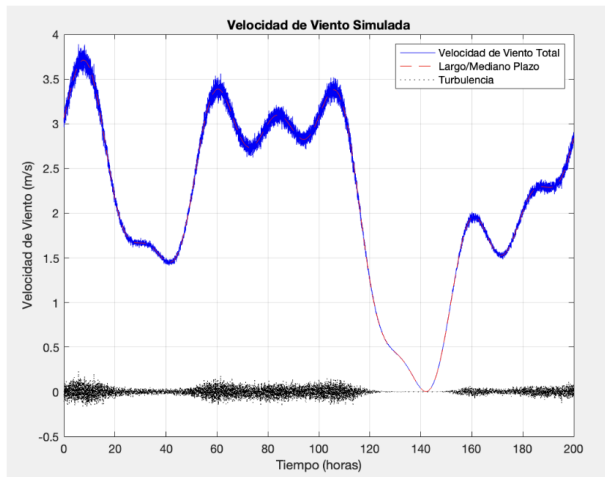


Fig. 7. Velocidad de viento simulada con Von Karman-Van der Hoven.

F. HORAS SOL PICO

Se utiliza la Ec. (9) para determinar las curvas mensuales de recurso solar mediante Horas Sol Pico y permiten analizar las diferencias en irradiación mensual en horas específicas en la Fig. 8. Donde los meses con mayor variabilidad es julio en la Fig. 8 (g) y septiembre en la Fig. 8 (i) los cuales corresponden a la temporada de lluvias de la ciudad de Saltillo [11].

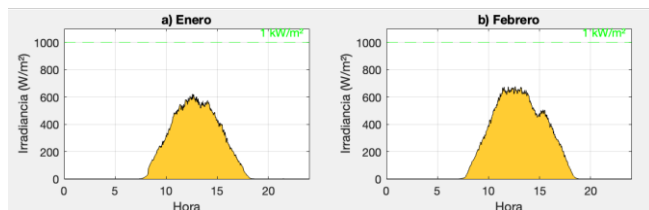


Fig. 8. (a) y (b). Curva mensual de Horas Sol Pico Enero-Febrero.

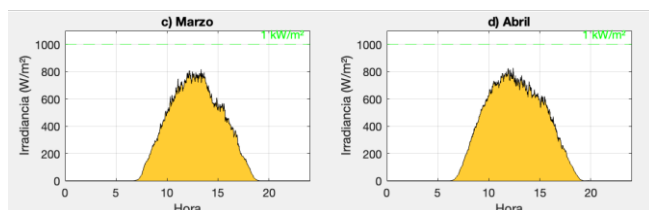


Fig. 8. (c) y (d). Curva mensual de Horas Sol Pico Marzo-Abril.

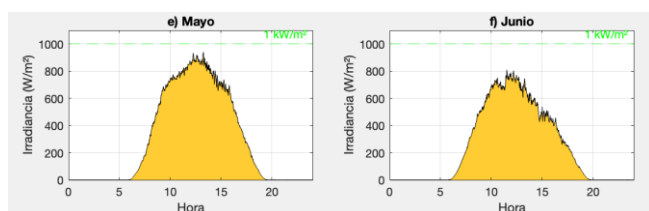


Fig. 8. (e) y (f). Curva mensual de Horas Sol Pico Mayo-Junio.

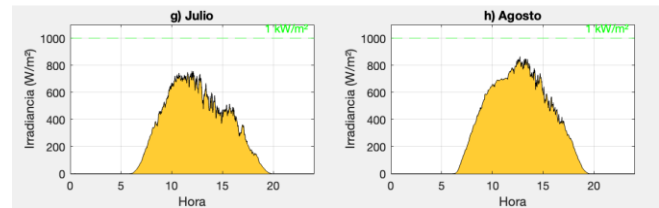


Fig. 8. (g) y (h). Curva mensual de Horas Sol Pico Julio-Agosto.

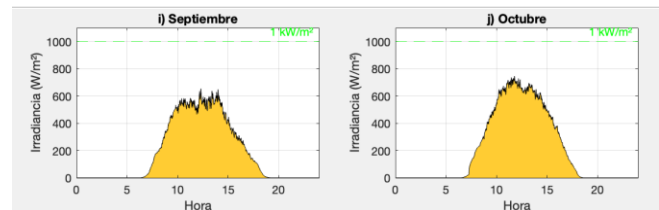


Fig. 8. (i) y (j). Curva mensual de Horas Sol Pico Septiembre-Octubre.

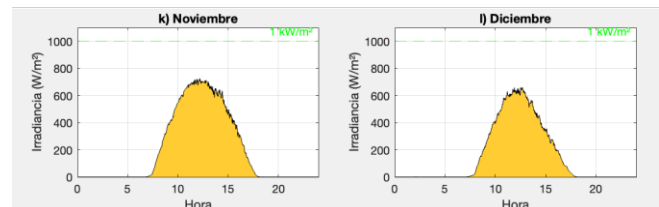


Fig. 8. (k) y (l). Curva mensual de Horas Sol Pico Noviembre-Diciembre.

En la Fig. 9 esta el resumen mensual de Horas Sol Pico, en el cual se establecen los meses de mayo y agosto con la mayor cantidad de HSP donde se puede considerar un promedio de 4 HSP anuales.

G. Curva anual de energía solar diaria

Se determina la curva anual de energía solar diaria y el potencial solar que tendría cada etapa del año en la Fig. 10 que coincide con los meses representados en la Fig. 9.

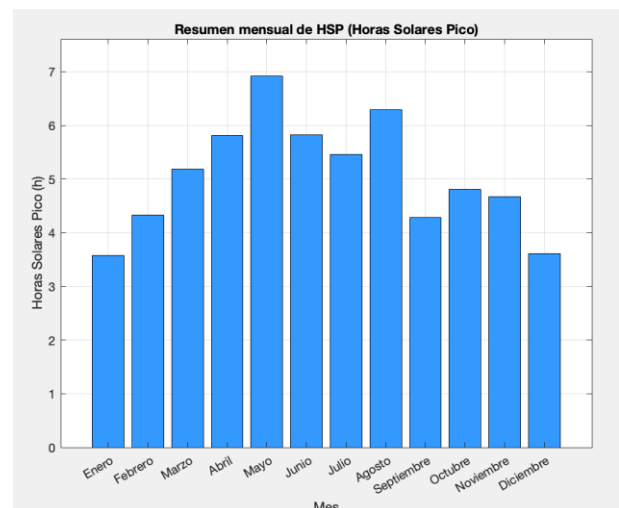


Fig. 9. Resumen anual por mes de Horas Sol Pico.

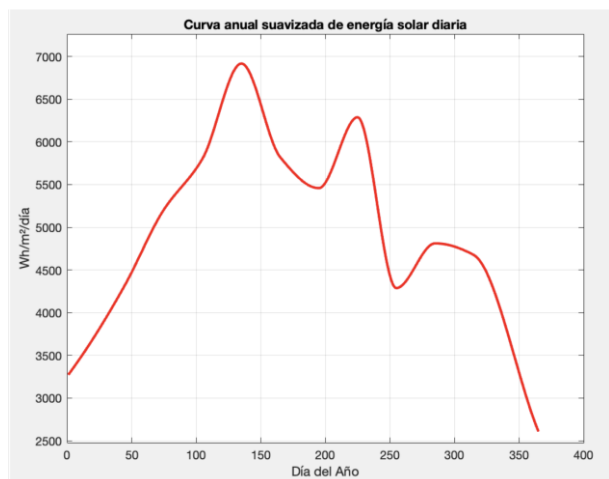


Fig. 10. Curva anual de energía solar diaria.

H. TRAYECTORIA SOLAR

La trayectoria solar en la Fig. 11 representa la variación estacional. En el solsticio de verano, el Sol tiene alturas mayores y un recorrido diario más largo, lo que aumenta la irradiancia disponible. En el solsticio de invierno la altura del Sol es menor y el tiempo de exposición solar disminuye.

Este análisis coincide con los resultados de irradiancia de la Fig. 8 y horas sol pico en la Fig. 9. Donde los periodos con trayectorias solares más altas corresponden a los meses con mayor energía solar disponible.

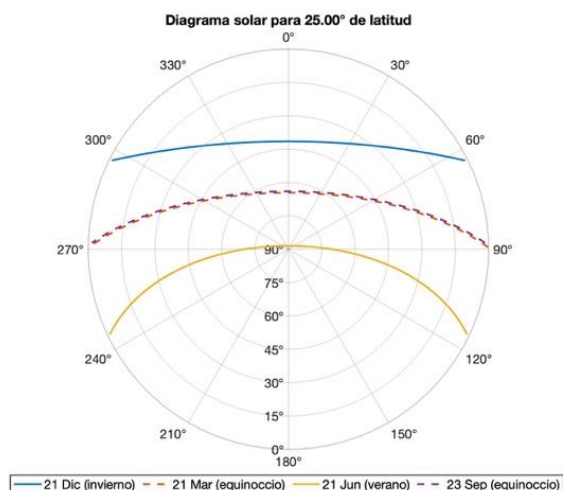


Fig. 11. Diagrama de trayectoria solar para Saltillo.

IV. CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la caracterización de los recursos solar y eólico establecen una base sólida para el diseño de sistemas híbridos. A partir del análisis estadístico del recurso eólico, se define una velocidad media de 2.996 m/s a 20m, con un comportamiento modelado mediante la

distribución de Weibull, lo que valida su uso para estimaciones de frecuencia y variabilidad del viento.

La extrapolación vertical de la velocidad media a 100m mediante la ley de Hellman alcanza 4.002 m/s, lo que representa una mejora del 33.6%. Lo cual, resulta esencial en el dimensionamiento de aerogeneradores. Al igual, la generación de series sintéticas mediante los modelos espectrales de Von Karman y Van der Hoven permiten simular la variabilidad temporal del viento, y ofrecen una herramienta útil en escenarios con datos limitados.

En cuanto al recurso solar, el uso de datos minútales permite construir curvas promedio mensuales de horas sol pico (HSP), que oscilan entre < 4 h/día en invierno y > 6 h/día en verano y una estimación de disponibilidad anual de 1,803 HSP. El análisis del diagrama de trayectoria solar confirma alturas solares de 85° en verano y 45° en invierno. Esto permite optimizar los sistemas solares, con la inclinación adecuada del panel, sombras mínimas y periodos de menor disponibilidad energética.

Ambos recursos muestran patrones estacionales, lo que refuerza la viabilidad de los sistemas híbridos como solución ante la intermitencia. Se concluye que una caracterización detallada y complementaria de los recursos renovables es fundamental para diseñar soluciones energéticas eficientes y resilientes en contextos con alta variabilidad climática.

REFERENCIAS

- [1] Q. Hassan, S. Algburi, A. Z. Sameen, H. M. Salman, y M. Jaszczur, "A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications", *Results Eng.*, vol. 20, p. 101621, dic. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101621.
- [2] M. Santhosh, C. Venkaiah y D. M. Vinod Kumar, "Current advances and approaches in wind speed and wind power forecasting for improved renewable energy integration: A review", *Eng. Rep.*, vol. 2, n.º 6, may 2020. <https://doi.org/10.1002/eng2.12178>
- [3] I. Tizgui, H. Bouzahir, F. E. Guezar, y B. Benaid, "Wind speed extrapolation and wind power assessment at different heights", en *2017 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)*, nov. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/EITech.2017.8255215.
- [4] P. Megantoro, M. A. Syahbani, I. H. Sukmawan, S. D. Perkasa, y P. Vigneshwaran, "Effect of peak sun hour on energy productivity of solar photovoltaic power system", *Bull. Electr. Eng. Inform.*, vol. 11, núm. 5, Art. núm. 5, oct. 2022, doi: 10.11591/eei.v11i5.3962.
- [5] Atmosférico, UNAM Observatorio. "Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos de la UNAM." *Obtenido de Observatorio Atmosférico UNAM*: http://www.ruoa.unam.mx/UNAM/index_UNAM.html (2015).
- [6] F. H. Mahmood, A. K. Resen y A. B. Khamees, "Wind characteristic analysis based on Weibull distribution of Al-Salman site, Iraq", *Energy Rep.*, vol. 6, pp. 79–87, feb 2020. doi: 10.1016/j.egy.2019.10.021
- [7] A. Chauhan y R. P. Saini, "Statistical analysis of wind speed data using Weibull distribution parameters," 2014 1st International Conference on Non-Conventional Energy (ICONCE 2014), Kalyani, India, 2014, pp. 160-163, doi: 10.1109/ICONCE.2014.6808712.
- [8] C. Nichita, D. Luca, B. Dakyo and E. Ceanga, "Large band simulation of the wind speed for real time wind turbine simulators," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 17, no. 4, pp. 523-529, Dec. 2002, doi: 10.1109/TEC.2002.805216.
- [9] P. P. Vergara-Barrios, J. M. Rey-López, G. A. Osma-Pinto y G. Ordóñez-Plata, "Evaluación del potencial solar y eólico del campus

central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia", Revista UIS Ingenierías, vol. 13, no. 2, pp. 49–57, jul.-dic. 2014.

- [10] J. J. Ontiveros, C. D. Ávalos, F. Loza, N. D. Galán y G. J. Rubio, "Evaluation and Design of Power Controller of Two-Axis Solar Tracking by PID and FL for a Photovoltaic Module", *Int. J. Photoenergy*, vol. 2020, pp. 1–13, jul 2020. doi:10.1155/2020/8813732
- [11] M. D. Arauz-Solís, J. G. Salas-Alemán, M. S. Florencio-Martínez, E. Colunga-Urbina y I. M. De la Garza-Rodríguez, "Análisis de la composición de agua de lluvia en la ciudad de Saltillo, Coahuila", *PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 11, pp. 121–125, 2023.

BIOGRAFÍAS



LIDIA M. FLORES-LÓPEZ Recibió el título de Ingeniera en Energías Renovables por la Universidad Tecnológica de Culiacán, en 2022. Actualmente cursa la Maestría en Ciencias de la Ingeniería en el TecNM-ITC-CIIDEDEC. Sus intereses de investigación incluyen la caracterización de recursos renovables, el diseño de sistemas híbridos de generación energética y el desarrollo de soluciones en el área de la electromovilidad.



GUILLERMO J. RUBIO ASTORGA Recibió el título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Culiacán, en 1998, en 2001 obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica y el grado de Doctor en Ciencias por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Campus Guadalajara, México, en 2013. Sus líneas de investigación actuales incluyen el control no lineal de máquinas eléctricas.



NÉSTOR D. GALÁN HERNÁNDEZ Obtuvo el grado de Ingeniero Electromecánico por el Instituto Tecnológico de Acapulco, México. La Maestría y el Doctorado en Ciencias en Ing. Eléctrica por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN CINVESTAV-Guadalajara, México. Sus líneas de investigación actuales incluyen máquinas eléctricas, sistemas eléctricos de potencia, generación distribuida con fuentes renovables y calidad de la energía.