

ESTUDIO DEL VIENTO PARA GENERACIÓN EÓLICA A 10 M DE ALTURA DURANTE 2 AÑOS EN SAN FRANCISCO, CÓRDOBA.

Tonini, Walter R.; Mina, Héctor O.; Bailo, Alejandro H. A.; Giordano, Emanuel A.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco
wtonini@sanfrancisco.utn.edu.ar; hector.omar.mina@gmail.com; alejandro@soliddesign.com.ar;
ema_giordano@hotmail.com.ar

RESUMEN

Este trabajo realiza un análisis sobre una serie de datos en los años 2021 y 2022 completos medidos en la estación meteorológica de la UTN de la ciudad de San Francisco, provincia de Córdoba, a 10 metros de altura desde el suelo. Se aplicaron herramientas de estadísticas para conocer el comportamiento del viento, como la distribución de Weibull para análisis de energía y potencia disponible en la zona y para el cálculo de los perfiles de vientos diarios y mensuales. Se realizaron las rosas de los vientos correspondientes a intensidades, direcciones y potencias para describir lo mejor posible el recurso eólico disponible en la zona. Se realiza una comparación con los datos para la zona extraído del simulador SIGEOLICO perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El sistema de generación eólica aplicable a la ciudad y zona debe tener en cuenta las bajas velocidades de viento presentes y la variabilidad en su dirección.

Palabras Claves: Recurso Eólico, Rosas de los Vientos, Distribución Weibull.

ABSTRACT

This work carries out an analysis on a series of data in the complete years 2021 and 2022 measured at the UTN meteorological station in the city of San Francisco, province of Córdoba, at a height of 10 meters from the ground. Statistical tools were applied to understand the behavior of the wind, such as the Weibull distribution for analysis of energy and power available in the area and for the calculation of daily and monthly wind profiles. Wind roses corresponding to intensities, directions and powers were created to best describe the wind resource available in the area. A comparison is made with the data for the area extracted from the SIGEOLICO simulator belonging to the National Meteorological Service (SMN). The wind generation system applicable to the city and area must take into account the low wind speeds present and the variability in its direction.

Keywords: Wind Resource, Wind Roses, Weibull Distribution.

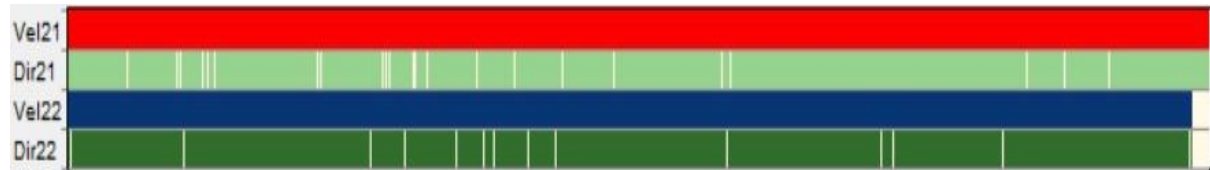
1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata de exponer la disponibilidad de vientos en la ciudad de San Francisco en la provincia de Córdoba y región central de la república Argentina para su utilización como recurso eólico. Aprovechando los datos recolectados durante los años 2021 y 2022 de la estación meteorológica perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco; se analizó las principales variables que definen los vientos y sus características con el fin de brindar información que ayude a seleccionar cuál es el tipo y capacidad que debe tener un sistema eólico de generación instalado en la ciudad o zona, comparándolo con el modelo SIGEOLICO perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

2. METODOLOGÍA

El lugar seleccionado para el estudio es la ciudad de San Francisco, provincia de Córdoba, ubicada en las coordenadas de Latitud: $-31^{\circ} 26' 13''$ y en Longitud: $-61^{\circ} 52' 16''$, zona central de la Argentina. Los datos de velocidades y dirección de viento fueron obtenidos por una estación meteorológica marca Davis Instrument, modelo Vantage Pro 2 (manual DAVIS, 2023). Las mediciones de velocidades de viento se realizan en intervalos de 30 minutos y se expresan en m/s, donde el anemómetro está posicionado a 10 metros de altura sobre el nivel del suelo, y el sensor de temperatura ambiente a 2 metros expresada en $^{\circ}\text{C}$. La base de datos seleccionada son reales para mayor certeza como menciona (Merino, 2022) y corresponde a los años 2021 y 2022, la cobertura de datos es del 98% (Tabla 1) y se llenaron los vacíos utilizando un algoritmo de mínimos cuadrados lineales; y algunas de las recomendaciones de (Jijón, 2015).

Tabla 1 Resumen de los Parámetros de limpieza y relleno de la base de datos de velocidades de viento a 10 metros de altura durante el período 2021-2022 en la ciudad de San Francisco.

Cantidad total de datos	70080
Vacíos o datos perdidos	1386
% de Cobertura de datos	98
Cantidad de vacíos	299
Vel21 y Dir21: Velocidades y dirección para el año 2021 respectivamente.	
Vel22 y Dir22: Velocidades y dirección para el año 2021 respectivamente.	
Vel21	
Dir21	
Vel22	
Dir22	

Se procedió a la aplicación de herramientas de estadísticas clásicas para obtener los parámetros estadísticos como la media, desvíos estándares, frecuencias relativas, histogramas y la distribución de Weibull; similar a lo realizado por (Otero, 2017) en la región de San Julián-Santa Cruz. Los períodos de *calma* se definieron para velocidad de viento menor a 0,675 m/s.

Para contemplar la dirección predominante, se calcularon y crearon las Rosas de los Vientos como gráficos que ayuden al análisis de direcciones e intensidades, agregando la Rosa de Energía disponible.

3. RESULTADO

Como primer paso se obtuvieron los parámetros estadísticos básicos para la serie de datos seleccionada para los años 2021 y 2022, los que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Parámetros obtenidos de estadística descriptiva sobre la base de datos de velocidades de viento a 10 metros de altura durante el período 2021 y 2022 en la ciudad de San Francisco.

Parámetro	2021	2022
Velocidad media del viento (m/s)	3,238	3,373
Velocidad mínima de viento (m/s)	0	0
Velocidad máxima de viento (m/s)	13,861	12,972
Weibull k	1,693	1,835
Weibull c (m/s)	3,624	3,793
Densidad de potencia media (W/m ²)	46	49
Contenido de energía medio (kWh/m ² /yr)	406	426
Energy pattern factor	2,231	2,071
Porcentaje de Calma (%)	8,98	6,12
Porcentaje de Datos válidos (%)	99,43	97,57

En las Figuras 1 a 3 se realizaron las rosas de los vientos correspondientes a dirección, intensidad y potencia eólica disponible para cada dirección de viento. En la comparación correspondiente a la Rosa de los vientos (frecuencias porcentuales) de las direcciones (Figura 1) y la Rosa de los vientos de las intensidades (Figura 2) muestra los vientos predominantes son del NE (Noreste) y del SO (Suroeste). Esta región céntrica es afectada por el Anticiclón del Atlántico cuyos vientos predominantes son del NE en invierno y anual; mientras que en verano el anticiclón cambia haciendo que se desplace hacia el Este (NCEP/NCAR, 2023). También se puede superponer el efecto de continente, donde las temperaturas presentes en la superficie de la tierra pueden originar diversos centros de Alta Presión (AP) y Baja Presión (BP) que afecten la dirección de los vientos, diferenciándolos entre las estaciones de verano e invierno.

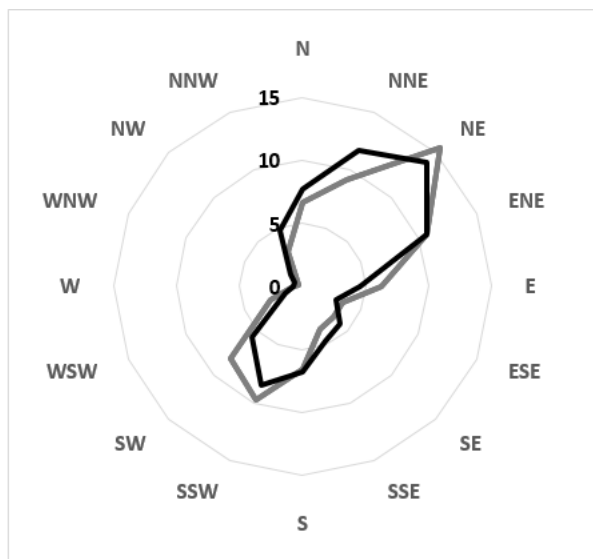


Figura 1: Rosa de los vientos (frecuencias porcentuales) de las direcciones del viento anual considerando los estados de calma (9% y 6,1%) para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el período 2021 (negro) y 2022 (gris).

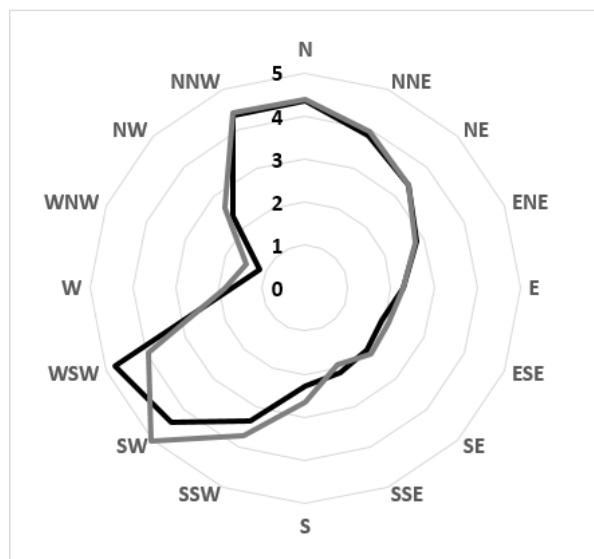


Figura 2: Rosa de los vientos de las intensidades en m/s del viento anual para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el período 2021 (negro) y 2022 (gris).

Respecto a la potencia teórica disponible en el viento de la ciudad, se observa que existe una pequeña variación en sus Rosas de los vientos, pero se mantiene la dirección predominante de la misma y el valor de su intensidad, como se compara en la figura 3:

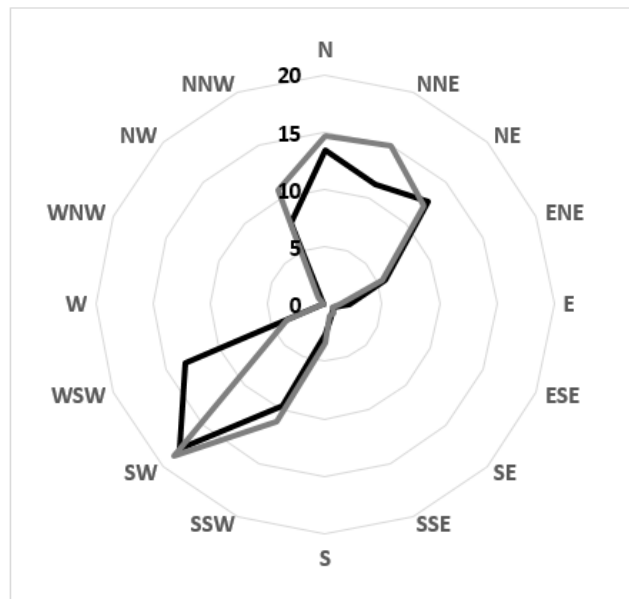


Figura 3: Rosa de los vientos de la potencia disponible en (%) del viento anual para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el período 2021 (negro) y 2022 (gris).

En la Figura 4 se traza el histograma de las frecuencias relativas y la acumulada de los datos de viento anual para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el período 2022, para continuar con el análisis estadístico. Desde aquí se considera que la calma no aporta demasiado al análisis para el aprovechamiento del recurso eólico por lo que se quitan los datos que son considerados como calmas, en este caso para velocidades de viento menores a los 0,4 m/s en cualquiera de sus direcciones. Los datos se sintetizaron en intervalos estadísticos o BIN según la siguiente ecuación de (Panofsky, 1958):

$$5 \log_{10}(N) \tag{1}$$

Donde N es la cantidad de datos disponibles.

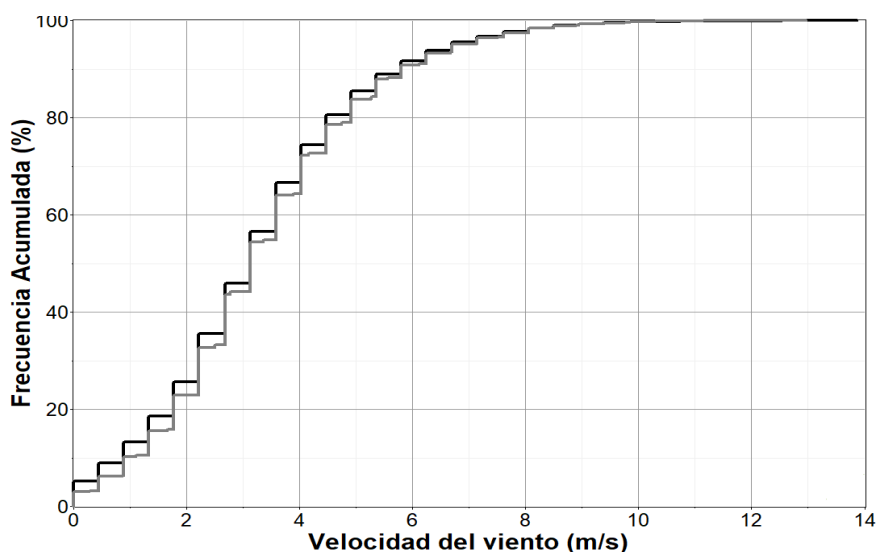


Figura 4: Ojiva de la serie de datos correspondiente a la intensidad de vientos (en m/s) anuales SIN los estados de calma para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el período 2021 (negro) y 2022 (gris).

Con el objeto de lograr un mejor ajuste en los datos, se utiliza la distribución estadística de Weibull y se comparan su ajuste con la frecuencia relativa de los datos, en la figura 5 y 6 se puede observar la distribución de Weibull con trazado suave que abarca todos los datos con muy buen ajuste.

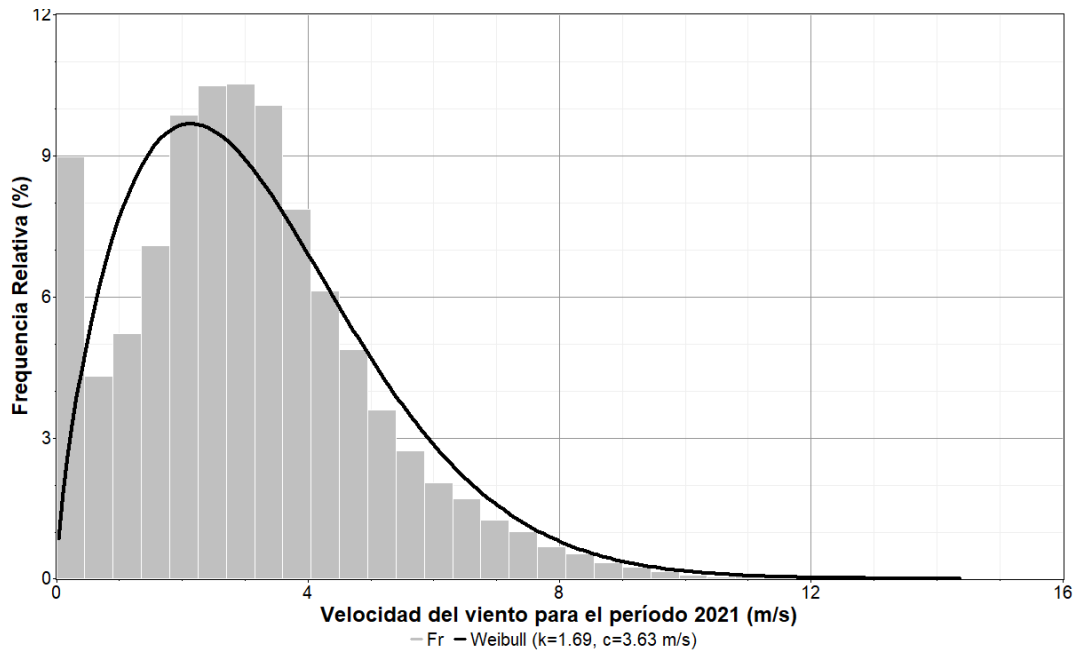


Figura 5: Comparación entre frecuencias relativas y su ajuste por Weibull, ambas en %, de la serie de datos correspondiente a la intensidad de vientos (en m/s) anual para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el período 2021.

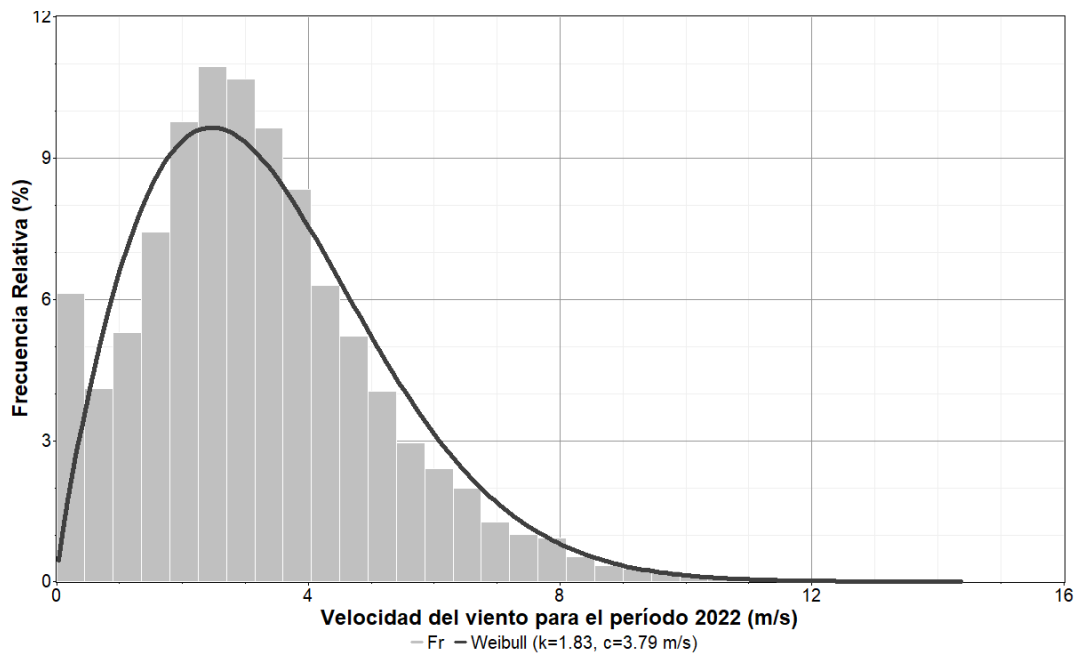


Figura 6: Comparación entre frecuencias relativas y su ajuste por Weibull, ambas en %, de la serie de datos correspondiente a la intensidad de vientos (en m/s) anual para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el período 2022.

En la distribución de Weibull, $f(v)$ es la frecuencia relativa de ocurrencia de la velocidad v del viento, k es un parámetro de forma y c es un parámetro de escala. Entonces esta distribución está dada por:

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

Cabe destacar que no se consideraron las velocidades de calma (NCEP/NCAR, 2023).

Como referencia, se expone en la figura 7 a continuación los datos generados por el (SIGEOLICO, 2023) para dicha ciudad. Los datos expresados aquí difieren en los analizados anteriormente. Esto puede deberse al modelo que utiliza el sistema para interpolar los datos sobre la ciudad ya que no existe mediciones sobre la misma que se incorpore directamente.

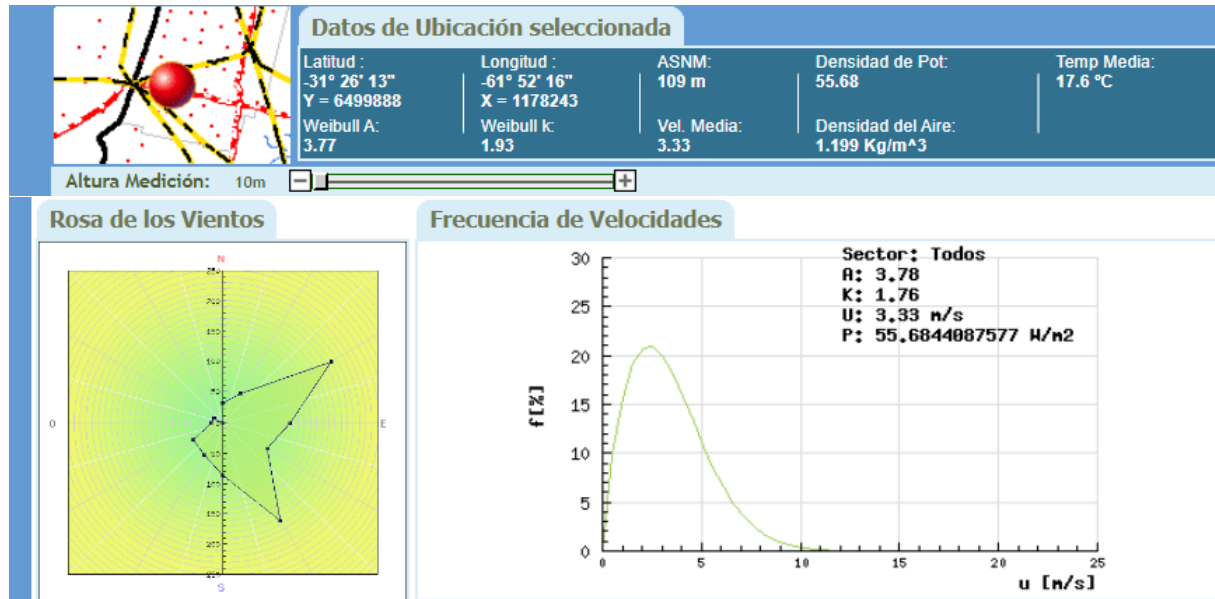


Figura 7: Datos del SIGEOLICO para la ciudad de San Francisco.

También se calcularon los perfiles diario promedio de los años 2021 y 2022; encontrando el valor promedio de todos los datos en 1 hora, luego a la siguiente hora y así sucesivamente hasta abarcar las 24 horas del día; presentando una disminución pequeña en el último año como es la tendencia marcada por (Palavecino, M. A., 2021). Es interesante ver este perfil diario (ver figura 8), aunque hay mucha variación de mes a mes, inclusive entre semanas; pero resulta útil para poder comparar los vientos con otras regiones.

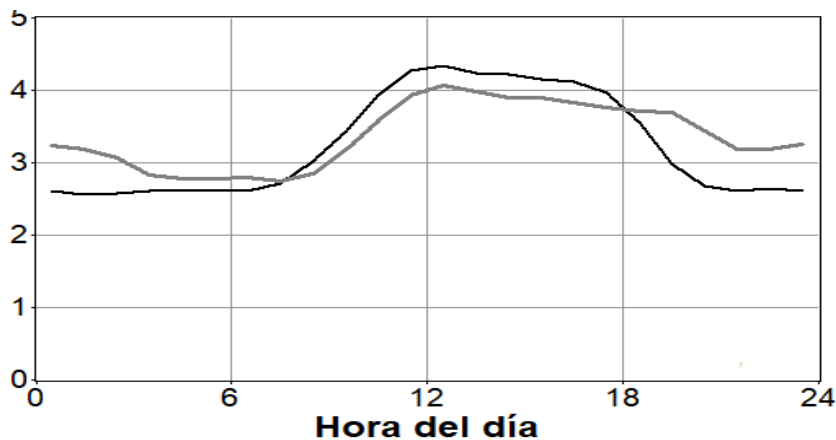


Figura 8: Perfil de la intensidad de vientos medios (en m/s) diario para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el periodo 2021 (negro) y 2022 (gris).

De forma similar, se calculó un perfil análogo pero en intervalo mensual, como se muestra en la figura 9:

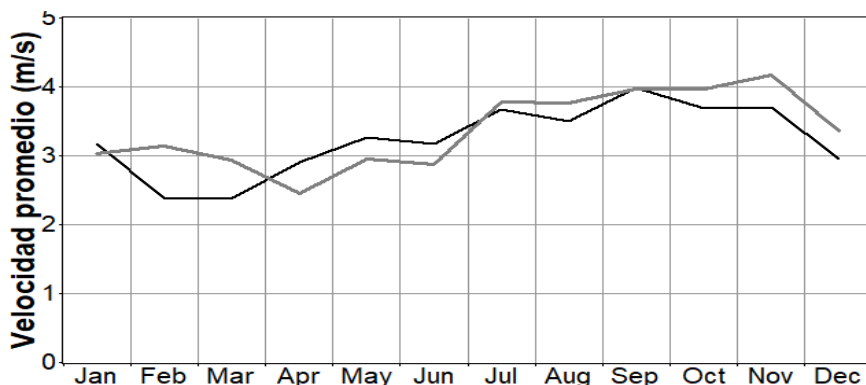


Figura 9: Perfil de la intensidad de vientos medios (en m/s) mensual para la ciudad de San Francisco, a 10 metros de altura durante el periodo 2021 (negro) y 2022 (gris).

4. CONCLUSIONES

El recurso eólico disponible en la ciudad es bajo por lo que hay que tener en cuenta a la hora de adoptar sistemas de generación eólico que sean acordes a estas velocidades y bajas potencias. Las distribuciones de Weibull brindan información importante para pronosticar la energía que puede obtenerse en esta ciudad y zona. La generación de potencia eólica en la ciudad es de clase baja, pero se dispone de recurso que puede ser utilizado teniendo en cuenta esta característica.

5. REFERENCIAS

Jijón, D., Constante, J., Moya, M., & Guerrón, G.;2015: Métodos para homogenizar y rellenar datos de viento de la torre meteorológica del Parque Eólico Villonaco en Loja-Ecuador. ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, 7(2).

NCEP/NCAR, Reanalysis Project 1959-1997. Análisis realizado en: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>

Manual de usuario DAVIS, 2023: www.davisinstruments.com .

Merino, R. A., Gassmann, M. I., 2022: Wind trends analysis in southern South America from weather station and reanalysis data. International Journal of Climatology, 42(4), 2117– 2134. DOI:10.1002/joc.7355.

Otero, F., Cerne, B., Campetella, C., 2017: Estudio preliminar de la velocidad del viento en San Julián en referencia a la generación de energía eólica. Meteorológica, 42(2), 59-79.

Palavecino, M. A., 2021: Caracterización de la intensidad del viento en la escala diaria y verificación del pronóstico numérico en la estación Ezeiza. Tesis de Licenciatura. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Buenos Aires.

Panofsky, H.A. y G.W. Brier, 1958: Some applications of statistics to meteorology, The Pennsylvania State University, 223pp.

SIGEOLICO https://mapaeolicossl.energia.gob.ar/pmapper_demo_new/info_vientos_f.php?molino=358599&x=-61.931129492846836&y=-31.371569257964914 , último ingreso: 17 Mayo 2023.

Agradecimientos

A Roberto Bohn por suministrarnos los datos de la estación meteorológica UTN-FR San Francisco.

A Marisa Cogliati por su apoyo en la temática.