



**Universidad
de Concepción**



Energías Renovables 513491-1

Tarea 1

Antonia González Salazar

**Profesores:
Francisco Lang Tasso
Jaime Arturo Belmonte-Pool
Andrés Sepúlveda Allende**

10 de mayo de 2024

Índice de figuras

1.	Rosa de los vientos para verano de 2022 en Chillán.	2
2.	Rosa de los vientos para invierno de 2022 en Chillán.	3
3.	Gráfico de vector progresivo para un año de datos de viento diario en la ciudad de Chillán.	4
4.	Gráficos de la función de densidad de probabilidad Weibull para los datos de viento en [m/s] (izquierda) y para los datos estandarizados (derecha).	5
5.	Gráfico de caudal promedio (izquierda) y caudal clasificado (derecha) para los 30 años del Río Tolten.	8
6.	Gráfico de caudal promedio (izquierda) y caudal clasificado (derecha) para el año 2000 del Río Tolten.	8
7.	Gráfico utilizado para encontrar el caudal de equipamiento.	9

Índice de cuadros

1.	Resultados del calculo de los caudales solicitados.	10
2.	Resultados obtenidos considerando el ancho del rio igual a 100 metros y una profundidad de 3 metros.	10

Pregunta 1

Descargar 1 año de datos de viento de velocidad diaria para alguna parte de Chile desde <https://agrometeorologia.cl>, con esto se debe obtener y explicar los siguientes gráficos:

- Gráfico de la Rosa de los Vientos para las fechas de verano e invierno.
- Gráfico de vector progresivo.
- Gráfico de la función de densidad de probabilidad Weibull para los datos de viento, tanto para los datos en [m/s] y para los datos estandarizados. Usar la siguiente aproximación para calcular el k.

$$k = \left(\frac{\sigma}{media} \right)^{-1,086}$$

Respuesta:

Se recopilieron datos del Aeródromo General Bernardo O'Higgins, ubicado en la ciudad de Chillán, con coordenadas geográficas de 36.58°S y 72.04°W. Estos datos consisten en la velocidad del viento diaria registrada desde el 1 de enero de 2022 hasta el 31 de diciembre de 2022.

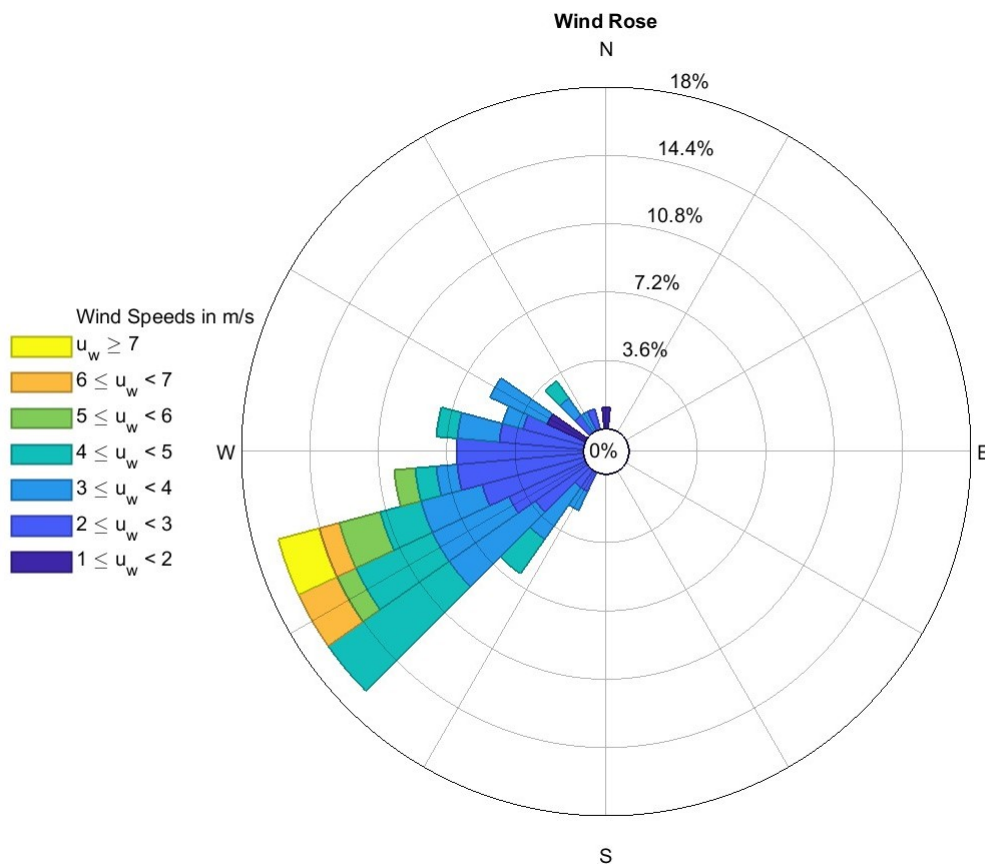


Figura 1: Rosa de los vientos para **verano** de 2022 en Chillán.

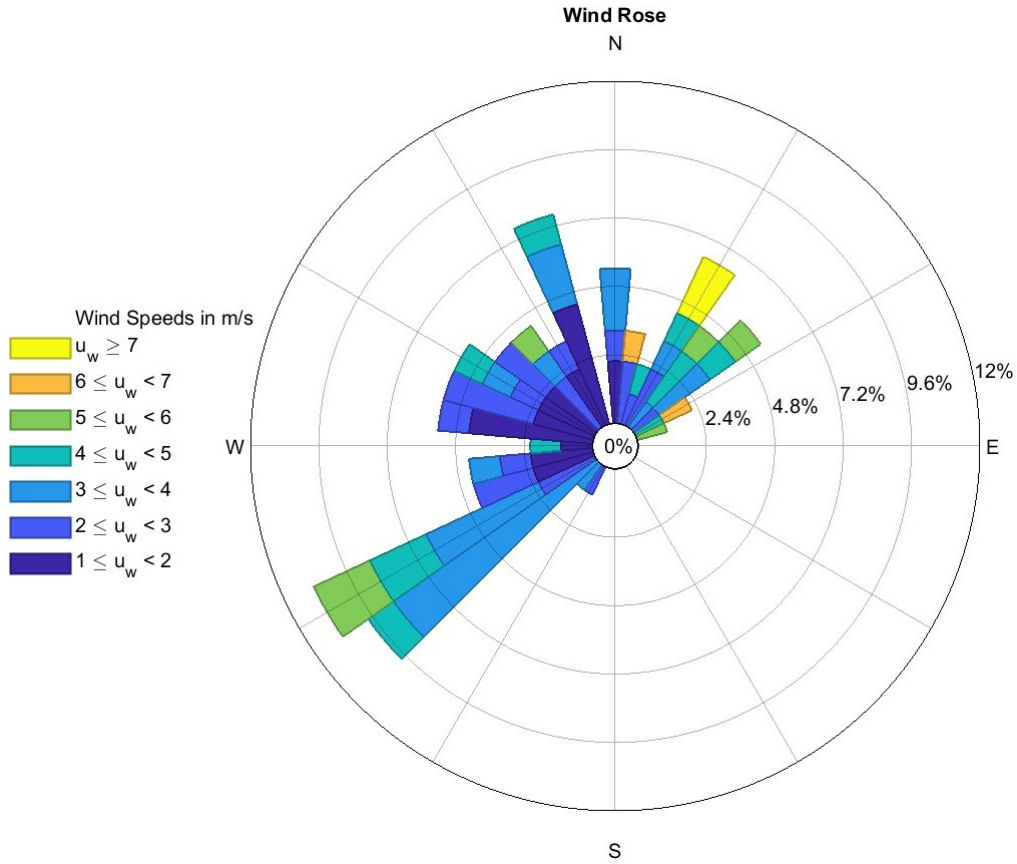


Figura 2: Rosa de los vientos para **invierno** de 2022 en Chillán.

La rosa de los vientos, una herramienta visual comúnmente utilizada en meteorología, ofrece una representación gráfica detallada de la dirección y la frecuencia del viento en una ubicación específica durante un período determinado. En el contexto del estudio realizado para analizar los patrones de viento a lo largo del año 2022 en Chillán, se empleó esta herramienta para proporcionar una comprensión más profunda de cómo varían los vientos en la región a lo largo de las estaciones.

Durante los meses de verano, la figura (1) revela un patrón predominante en el que más del 50% de los vientos provienen del suroeste. Este fenómeno se caracteriza por velocidades que oscilan mayoritariamente entre 2 m/s (mostradas en azul) y más de 7 m/s (indicadas en amarillo), lo que sugiere una intensificación del viento durante esta temporada.

Sin embargo, en invierno, como se observa en la figura (2), el patrón de vientos cambia notablemente. Aunque aproximadamente el 20% de los vientos aún provienen del suroeste, se aprecia una mayor diversidad en las direcciones del viento, que van desde el suroeste hasta el noreste, como se muestra en la representación. Este cambio en los patrones de viento entre las estaciones puede tener implicaciones significativas en diversos aspectos, desde la agricultura hasta la planificación urbana y la generación de energía renovable.

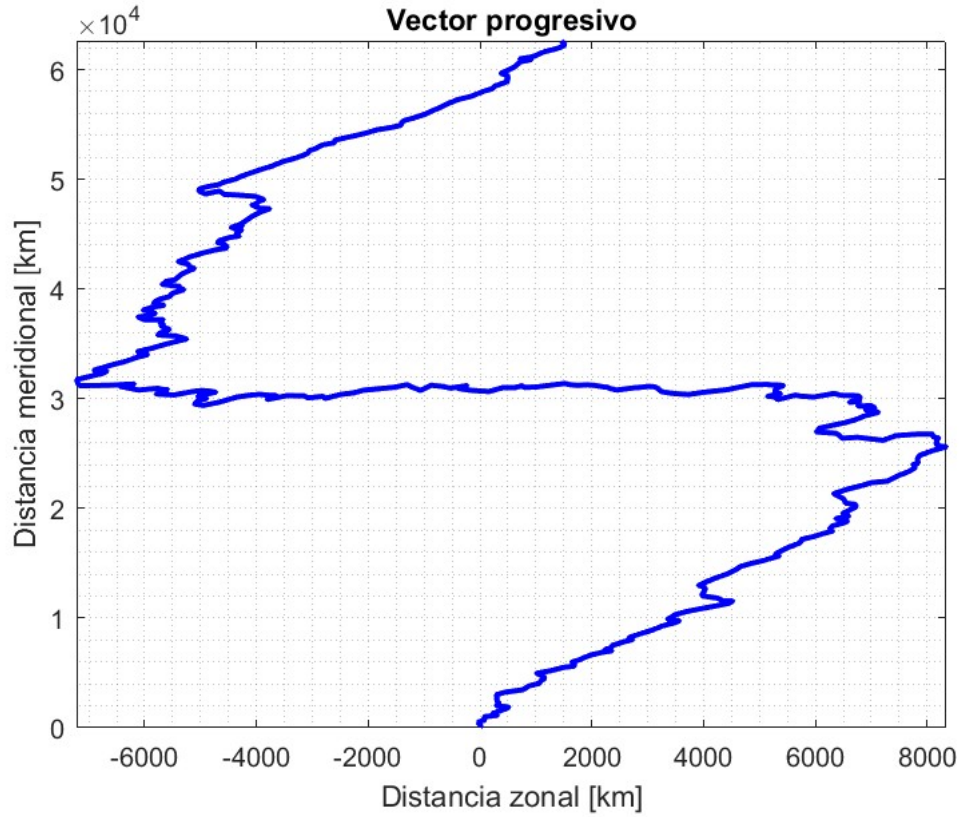


Figura 3: Gráfico de vector progresivo para un año de datos de viento diario en la ciudad de Chillán.

El gráfico de vector progresivo, una herramienta esencial en meteorología, ofrece una representación dinámica de cómo una partícula sería transportada por el viento a lo largo de un período de tiempo determinado, ilustrando los cambios en la dirección del viento a lo largo de ese lapso. Este análisis permite comprender mejor los patrones de circulación atmosférica y sus variaciones estacionales.

Al observar la figura (3), se aprecia un patrón intrigante que revela la evolución de la dirección del viento a lo largo del año 2022. Inicialmente, los vientos soplan hacia el noreste, sugiriendo posiblemente influencias estacionales específicas o patrones climáticos regionales que dominan en ese momento. Sin embargo, este patrón experimenta un cambio repentino, donde la dirección del viento se desplaza hacia el oeste, con una notoria ausencia de componentes meridionales. Este cambio podría indicar la influencia de sistemas meteorológicos transitorios o fenómenos climáticos de escala mayor.

Luego, conforme avanzan los meses, se observa cómo la dirección del viento nuevamente cambia, retornando a una orientación predominantemente hacia el noreste, similar a su configuración inicial. Este ciclo de cambio en la dirección del viento sugiere la presencia de cierta estacionalidad en los patrones atmosféricos durante el año 2022 en la región estudiada.

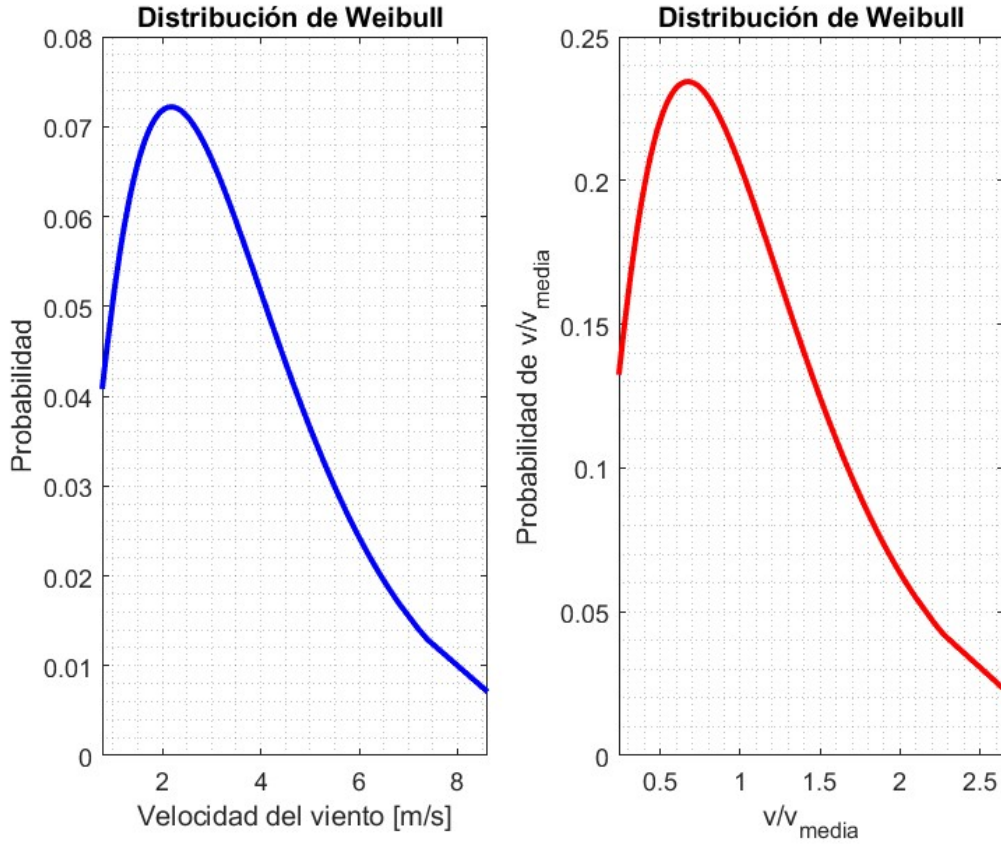


Figura 4: Gráficos de la función de densidad de probabilidad Weibull para los datos de viento en [m/s] (izquierda) y para los datos estandarizados (derecha).

La distribución de Weibull, una función matemática ampliamente utilizada en meteorología y energía eólica, proporciona un modelo estadístico para comprender la variabilidad de la velocidad del viento en una ubicación específica. La figura (??) presenta la distribución de Weibull para los datos, tanto en su forma normalizada como en unidades de metros por segundo (m/s), ofreciendo una visión detallada de la distribución de la velocidad del viento en el área de estudio.

Al examinar el gráfico de la izquierda, que representa los datos en m/s, se observa un rango de velocidades que va desde 0 hasta aproximadamente 8.5 m/s. La altura de la curva en el punto de máximo refleja la probabilidad de que ocurra una velocidad del viento específica. En este caso, el pico se sitúa en 2.5 m/s, con una probabilidad de ocurrencia del 0.07. Esta observación sugiere que existe una alta probabilidad de que la velocidad del viento sea alrededor de 2.5 m/s en el área bajo estudio.

Este punto máximo en la distribución de Weibull representa la velocidad del viento más común en la región, proporcionando valiosa información para la planificación de proyectos de energía eólica. Conocer la velocidad del viento predominante en el área ayuda a optimizar el diseño y la ubicación de los aerogeneradores, maximizando así la eficiencia de la generación de energía renovable.

Por otro lado, al analizar el gráfico del lado derecho, que muestra la distribución de Weibull para los datos estandarizados (es decir, divididos por la media), se revela

que aproximadamente el 24 % de los datos de velocidad del viento tienen un valor de alrededor de 0.6 en términos de la distribución estandarizada. Esto indica que estos datos están aproximadamente al 60 % de la media, la cual en este caso es igual a 3.24 m/s.

Este análisis detallado de la distribución de Weibull proporciona una comprensión más profunda de la variabilidad de la velocidad del viento en el área de estudio, permitiendo tomar decisiones informadas en cuanto a la implementación y gestión de proyectos relacionados con la energía eólica.

Pregunta 2

Al igual que en el práctico, ingrese al Explorador Climático del CR2 y obtenga esta vez 30 años de datos de caudales para algún río o arroyo de cualquier parte de Chile.

- Grafique los caudales promedios diarios y los caudales clasificados para los 30 años, y además para un año en específico, y compare.
- Determine el caudal del promedio que podría usarse para obtener energía hidromotriz, indicando el tipo de sección sobre la que trabaja (estimar área, perímetro mojado, radio hidráulico y espejo de agua). Además estime un caudal ecológico ¿qué opina sobre este caudal?
- Usando Google Earth o cualquier otra forma para calcular la pendiente, calcule la potencia hidromotriz que se podría obtener del río y recomiende una turbina para esa potencia. Asuma valores razonables para todos los parámetros que usted necesite y que no conozca (sus valores deben ser realistas).

Respuesta:

Para desarrollar esta pregunta, se emplearon tres décadas de registros hidrológicos del Río Toltén, cuyas coordenadas geográficas son 39.26°S y 72.23°O. Este río, cuya fuente emana del lago Villarrica, traza su curso de oeste a este a través de la provincia de Cautín, en la Región de la Araucanía, hasta desembocar en el océano Pacífico. Los datos recopilados abarcan desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2010.

La representación visual de estos treinta años de datos se materializa en la figura (5), donde se presentan gráficos ilustrativos del caudal promedio y el caudal clasificado. Se aprecia una marcada tendencia estacional: durante los meses estivales, el caudal medio experimenta una disminución, alcanzando un promedio de 100 metros cúbicos por segundo. Por contraste, en los meses invernales, el caudal se incrementa significativamente, superando más de cuatro veces su valor estival, hasta alcanzar los 450 metros cúbicos por segundo. Además, en el gráfico de la derecha se exhibe la curva de caudal clasificado, que señala el número de días en el año en los que el caudal es superado.

Por otro lado, la figura (6) replica el análisis anterior, pero centrándose exclusivamente en el año 2000. Se destaca que durante el invierno de dicho año se registró un caudal notablemente superior al promedio de los treinta años anteriores, sugiriendo la posibilidad de que este fenómeno esté relacionado con mayores índices de precipitación registrados en ese periodo específico.

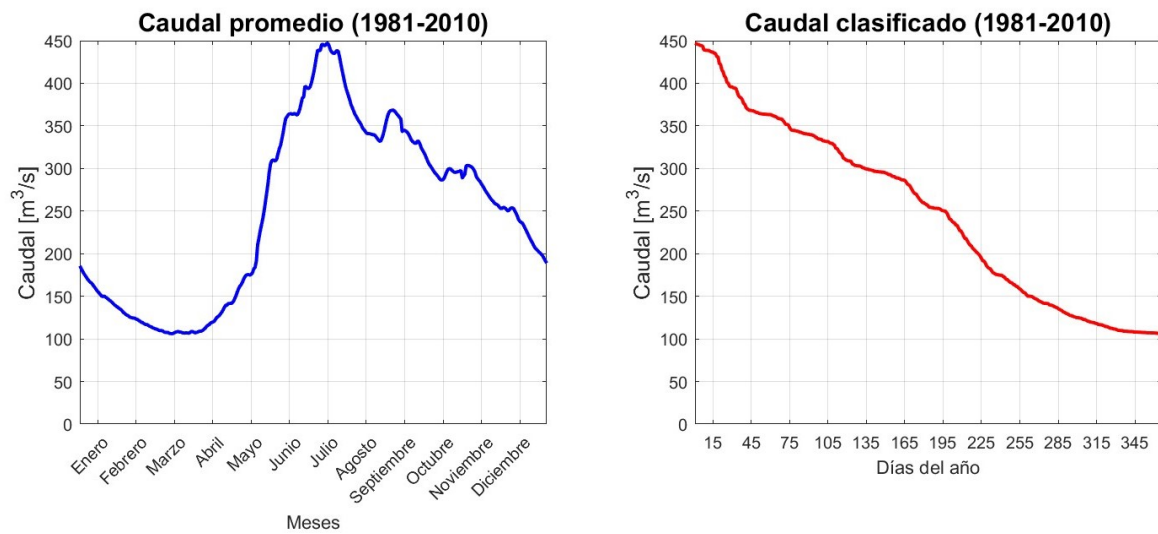


Figura 5: Gráfico de caudal promedio (izquierda) y caudal clasificado (derecha) para los 30 años del Río Tolten.

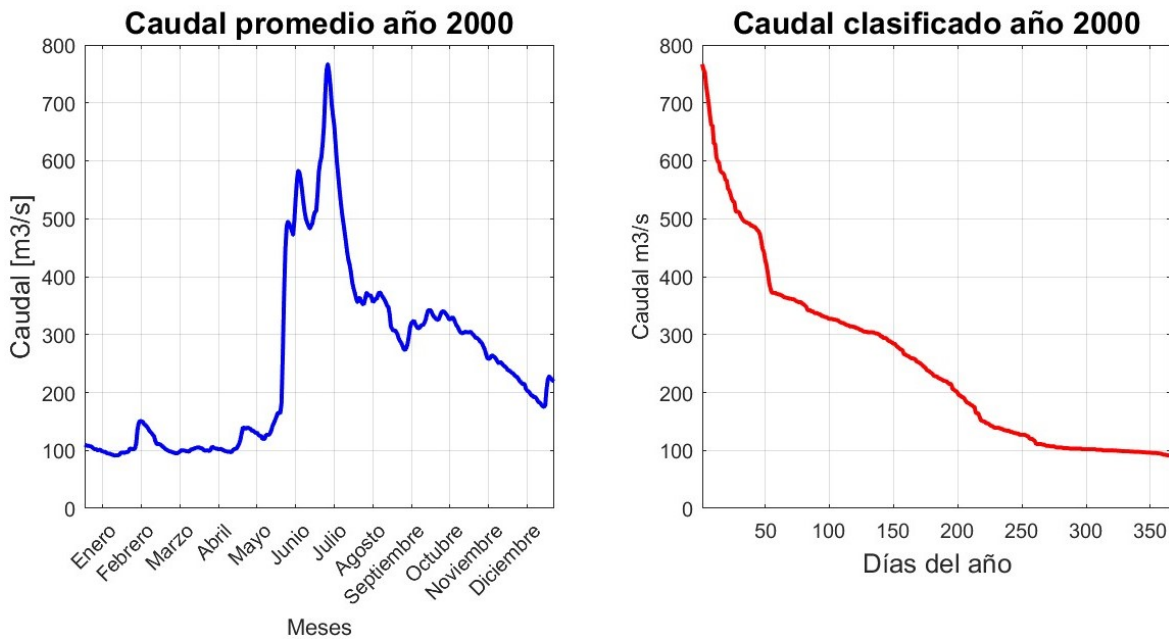


Figura 6: Gráfico de caudal promedio (izquierda) y caudal clasificado (derecha) para el año 2000 del Río Tolten.

Para determinar el caudal promedio apto para la generación de energía hidroeléctrica, es necesario primero calcular el caudal ecológico, que constituye el caudal mínimo esencial para mantener el ecosistema del río en equilibrio durante todo el año. Este valor se define como el 10 % del caudal promedio registrado durante un periodo de referencia, en este caso, 30 años. Para estos datos, el caudal ecológico se estima en 24,945 metros cúbicos por segundo, siendo notablemente inferior incluso al mínimo histórico observado en el río durante dicho periodo (consultar figura 5). Esta discrepancia podría

tener un impacto significativo en la flora y fauna de la región, lo que sugiere que este caudal no resulta adecuado para su implementación.

Posteriormente, se determina el caudal de equipamiento restando el caudal ecológico del caudal clasificado, como se muestra en la figura (5). El caudal de equipamiento se selecciona dentro del rango comprendido entre los valores Q80 y Q100, donde Q80 representa el caudal que se mantiene durante al menos 80 días al año, y Q100, aquel que se mantiene durante al menos 100 días al año. Esta elección se clarifica en la figura (7). Al promediar estos caudales, se obtiene finalmente el caudal de equipamiento deseado, que en este caso es de 116.35 metros cúbicos por segundo.

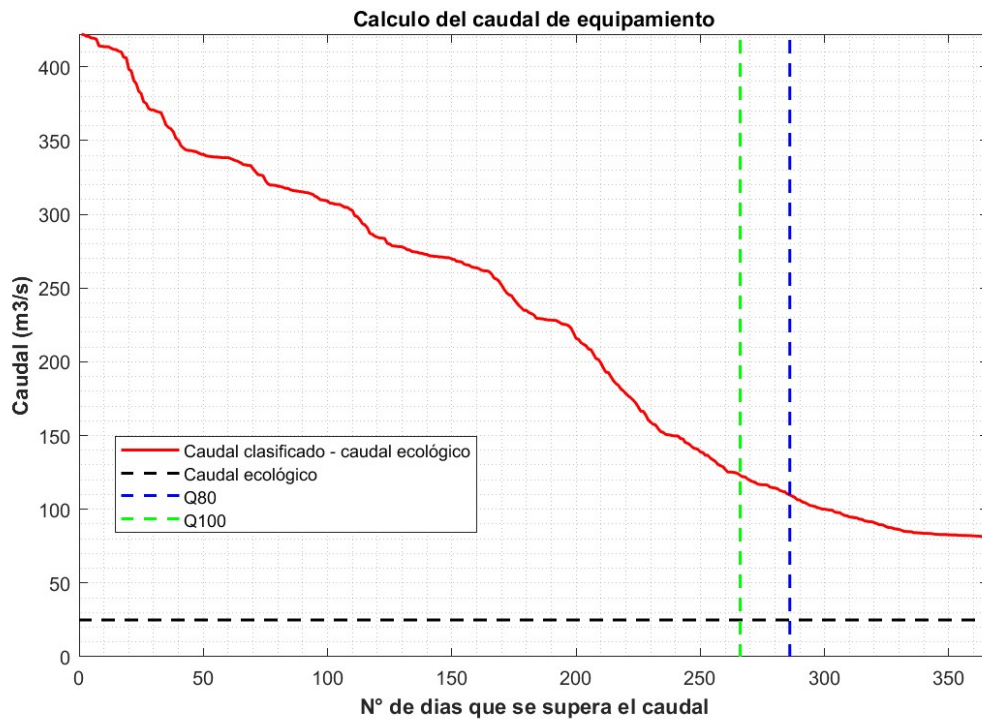


Figura 7: Gráfico utilizado para encontrar el caudal de equipamiento.

En cuanto a la sección transversal considerada, se optó por una forma rectangular con un ancho de 100 metros, obtenido mediante mediciones realizadas en Google Earth, y una profundidad estimada de 3 metros. A partir de estos datos, se calcularon el área, el perímetro mojado, el radio hidráulico y el espejo de agua utilizando las ecuaciones correspondientes proporcionadas en la documentación del curso. Todos estos resultados se presentan en la tabla (2).

Caudal Promedio [m^3/s]	249.45
Caudal Ecológico [m^3/s]	24.945
Q_{80} [m^3/s]	109.70
Q_{100} [m^3/s]	123
Caudal de Equipamiento [m^3/s]	116.35
H (desnivel) [m]	20
Potencia Hidromotriz [kW]	19.081

Cuadro 1: Resultados del calculo de los caudales solicitados.

Tipo de sección	Rectangular
Área [m^2]	300
Perimetro mojado [m]	106
Radio hidraulico [m]	2,8
Espejo de agua [m]	100

Cuadro 2: Resultados obtenidos considerando el ancho del rio igual a 100 metros y una profundidad de 3 metros.

Luego, se procedió al cálculo de la potencia hidromotriz utilizando la ecuación:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

Donde H representa la altura del desnivel del agua antes y después de pasar por la turbina, η la eficiencia que consideraremos del 85 % y P la potencia expresa en kilowatts (kW). Las mediciones realizadas en Google Earth revelaron un desnivel de 20 metros, lo que resultó en una potencia hidromotriz calculada de aproximadamente 20.000 kW, tal como se detalla en la tabla (1).

Por último, al seleccionar el tipo de turbina, es crucial tener en cuenta tanto la carga (H) como el caudal de equipamiento disponible (ver tabla 1). Dado que la carga disponible es considerable y el caudal de equipamiento es relativamente alto, la turbina más adecuada para esta situación es la turbina Francis.