



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Diseño y dimensionamiento de un Aerogenerador de Eje  
Horizontal, para el centro poblado El Tubo**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTORES:**

Bracamonte Quiroz, Luis Carlos ([orcid.org/0000-0002-4004-0723](https://orcid.org/0000-0002-4004-0723))

Carranza Cueva, Harold Michelle ([orcid.org/0000-0002-0064-4880](https://orcid.org/0000-0002-0064-4880))

**ASESOR:**

Mg. Sánchez Huertas, Carlos Enrique ([orcid.org/0000-0002-6754-8017](https://orcid.org/0000-0002-6754-8017))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo Sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a Dios, pues me dio la sabiduría para poder culminar con éxito el largo camino de mi carrera profesional.

A mi querida madre y hermana quienes nunca perdieron la confianza en mí, y siempre me apoyaron en todo lo que han podido y más.

A mi padre quien creyó incondicionalmente en mis capacidades.

A mi novia por haber estado a mi lado en todo momento, brindándome su apoyo para mantenerme enfocado en todo momento.

**Luis Carlos Bracamonte Quiroz**

Este trabajo de investigación va dedicado a mis padres, por la confianza que depositaron en mí y su apoyo incondicional.

A mis hermanos y abuelos por siempre estar apoyándome en todo sin dudar.

A mis tíos y primos por el apoyo que día a día me dan, sus enseñanzas infaltables para mejorar como persona y como profesional.

**Harold Michelle Carranza Cueva**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría para afrontar los retos que día a día se me presentaron, entendimiento y fortaleza para llegar al final de mi carrera profesional.

A mi familia y a mi novia y especialmente a mi padre Luis Alberto Bracamonte Ferrel quien fue el que hizo todo lo posible para que pueda culminar mi carrera de una manera satisfactoria.

A mis profesores de la UCV quienes siempre me brindaron conocimiento de calidad y primera, con firmeza y mucha sabiduría.

A todos mis amigos y personas que siempre me apoyaron.

**Luis Carlos Bracamonte Quiroz**

Agradezco a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy.

A mi madre María Victoria Cueva Linares de Carranza, a mi padre Elvis Eduardo Carranza Quiroz.

A mis hermanos Eduardo, Dylan, Kazuhiro, Kazuo, Luis y Piero y a mis hermanas Sahori, Katherine, Kimberly, Fernanda y Juleysi.

A mis tías Cynthia, Jessica y July; a mis tíos Gerson, Alex y Colbert.

**Harold Michelle Carranza Cueva**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA.....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>iv</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de Gráficos .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	23
3.2. Variables y Operacionalización .....	23
3.3. Población, Muestra y Muestreo .....	23
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	24
3.5. Procedimientos .....	25

3.6.	Método de análisis de datos.....	25
3.7.	Aspectos éticos.....	25
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>44</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>48</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>51</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno .....	8
Tabla 2. Técnicas e Instrumentos de Investigación .....	24
Tabla 3. Tipos de localidades según la norma DGE RD 031-2004-EM .....	26
Tabla 4. Población en 20 años, obtenida con la Fórmula de Proyección Geométrica .....	27
Tabla 5. Demanda Actual localidad El Tubo.....	27
Tabla 6. Demanda Máxima de las viviendas con proyección de 20 años. ....	28
Tabla 7. Norma DGE RD 017-2003-EM: Alumbrado de Vías Públicas en Áreas Rurales .....	29
Tabla 8. Consumo mensual de alumbrado público en kWh para la localidad El Tubo proyectada a 20 años .....	29
Tabla 9. Puntos de iluminación en la localidad El Tubo.....	30
Tabla 10. Demanda total actual del Alumbrado Público proyectado a 20 años. ....	30
Tabla 11. Cargas especiales para la localidad El Tubo .....	31
Tabla 12. Demanda Máxima Total, proyectada a 20 años .....	32
Tabla 13. Datos de las velocidades del viento en determinadas coordenadas .....	33
Tabla 14. Análisis de Perfiles Aerodinámicos utilizando el Software QBlade para la obtención de los Coeficientes de Sustentación y de Arrastre, así como del ángulo de ataque .....	36
Tabla 15. Datos Recolectados del Software QBlade, evaluando tres perfiles óptimos .....	37
Tabla 16. Valores de diseño de los tres perfiles NACA evaluados .....	37
Tabla 17. Valores obtenidos de los cálculos de diseño en los tres perfiles aerodinámicos NACA.....	38
Tabla 18. Datos Resultantes de los Cálculos sobre el Perfil Aerodinámico NACA 4418.....	39

## Índice de Gráficos

Gráfica 1. Porcentaje de frecuencia y velocidad establecida con redondeo .....	34
Gráfica 2. Función de Distribución de Weibull .....	35
Gráfica 3. Frecuencia y Distribución de Weibull con respecto a la Velocidad del viento y al Porcentaje de Frecuencia .....	35

## Índice de Figuras

Figura 1. Fuerzas Ejercidas en un perfil aerodinámico .....	5
Figura 2. Temperaturas vs Densidades.....	7
Figura 3. Variación de la Velocidad del viento con respecto a la altura sobre el terreno, según la ley exponencial de Hellmann. ....	8
Figura 4. La función de Distribución de Weibull.....	9
Figura 5. Anemómetro AIMO meter MS6252B .....	9
Figura 6. Catavientos .....	10
Figura 7. Veleta.....	10
Figura 8. Velocidad de entrada y de salida para el principio de Betz.....	10
Figura 9. Álabe.....	14
Figura 10. Multiplicador de velocidad .....	14
Figura 11. Vista seccionada de una góndola.....	15
Figura 12. Generador Eléctrico .....	15
Figura 13. Torres de aerogeneradores.....	16
Figura 14. Fuerza Cortante y Momento Flexionante.....	17
Figura 15. Propiedades del Acero Comercial. ....	17
Figura 16. Área de barrido A por un rotor de diámetro D.....	20
Figura 17. Reacciones en los puntos A y B.....	39
Figura 18. Esfuerzos Cortantes.....	40
Figura 19. Momento Flector .....	40
Figura 20. Tabla de Propiedades del Acero 4340 .....	40
Figura 21. GUI en Matlab, para determinar el diámetro del eje, teniendo en cuenta el torque.....	41
Figura 22. Interacción de la velocidad con respecto al aerogenerador .....	41
Figura 23. Deformación Unitaria del eje .....	42
Figura 24. Desplazamiento Estático del eje .....	42
Figura 25. Factor de Seguridad del eje .....	43
Figura 26. Esfuerzo de Von Misses.....	43



## RESUMEN

Como bien se sabe, en la mayoría de zonas rurales no hay acceso a la energía eléctrica, pequeñas aglomeraciones de moradores no cuentan con este servicio; en esta investigación se realizó el diseño de un aerogenerador de eje horizontal con la finalidad de cubrir esa necesidad energética en la localidad El Tubo, en el departamento de La Libertad, provincia de Ascope, se utilizó un factor de simultaneidad de 0.5 y se suministró una potencia por lote de 400 watts, basándonos en la norma DGE RD 031-2003-EM, obtenida del Ministerio de Energía y Minas.

Con este dato importante se logró proyectar a veinte años, una demanda total de 25.20 kW incluyendo las pérdidas por distribución, y las cargas especiales que se consideraron con indagaciones verbales con los pobladores y tratando de cubrir las necesidades, del pueblo en crecimiento.

Se optó por usar un perfil NACA 4414 para este proyecto, dado que fue el más aparente para utilizar el máximo potencial eólico de la zona, siendo el que más Coeficiente de potencia dio.

Se realizó cálculos de diseño para las partes del aerogenerador. Y para cuestión de la GearBox (Caja multiplicadora) y el generador eléctrico se seleccionó la mejor con respecto al requerimiento que se necesitó.

### ***Palabras Clave:***

*Aerogenerador de Eje Horizontal, Potencial Eólico, Demanda Eléctrica.*

## **ABSTRACT**

As is well known, in most rural areas there is no access to electricity, small agglomerations of residents do not have this service; In this investigation, the design of a horizontal axis wind turbine was carried out in order to cover this energy need in the town of El Tubo, in the department of La Libertad, province of Ascope, a simultaneity factor of 0.5 was used and a power per batch of 400 watts, based on the DGE RD 031-2003-EM standard, obtained from the Ministry of Energy and Mines.

With this important data, it was possible to project a total demand of 25.20 kW for twenty years, including losses due to distribution, and special loads that were considered through verbal inquiries with the residents and trying to cover the needs of the growing town.

It was decided to use a NACA 4414 profile for this project, since it was the most apparent to use the maximum wind potential in the area, being the one that gave the highest power coefficient.

Design calculations were made for the parts of the wind turbine. And for the matter of the GearBox (multiplier box) and the electric generator, the best one was selected with respect to the requirement that was needed.

### ***Keywords:***

*Horizontal Axis Wind Turbine, Wind Potential, Electricity Demand.*

## I. INTRODUCCIÓN

Energía eólica es aquella energía que está dentro de la clasificación de energías renovables, y ya se ha venido utilizando desde hace varios siglos. Esta energía es la que se obtiene mediante el viento, hay otras fuentes ricas en energías renovables tales como el sol y el agua (twenergy, 2019).

Se puede definir Energía Renovable como la que proviene de fuentes naturales que son inagotables, esto podría deberse a la inmensa cantidad de energía que hay contenida en dichas fuentes o también porque son capaces de regenerarse de manera natural (Spiegeler & Cifuentes, 2016).

La energía eólica sigue creciendo de manera exponencial en todo el mundo, a pesar de la reciente pandemia mundial, el año 2020 fue el mejor año para la industria eólica mundial, se añadió 93 GW de capacidad en instalación (53% más interanual), llegando de esta manera a un total de 743 GW (Fariza, 2021).

Las olas del mar son ondulaciones que se desplazan por la superficie del agua, este efecto es producido principalmente por el efecto del viento sobre la superficie del mar, este fenómeno comienza con una fricción que genera el viento sobre el agua, lo que da lugar a un arrastre de gotas de agua una sobre otra. Es decir que mientras más fuerza ejerza el viento en la superficie del mar, más grandes terminan siendo las olas (CE Ponce de León de Madrid, 2012).

De indagaciones verbales con los pobladores de Puerto Malabrigo, se sabe que, en 1996, en la localidad de Puerto Malabrigo se implementó un proyecto piloto a cargo de la empresa Petro Munt, el cual consistía en la instalación de dos aerogeneradores de marca Micon fabricados en Dinamarca. Fue instalado por la gran potencialidad eólica que arrojaron los estudios de investigación realizados. Con el objetivo de mejorar la estabilidad de la energía eléctrica y reducir sus costos. Dichos proyectos piloto se desmantelaron por conflictos políticos y económicos, uno de los principales problemas que llevo a esto fue la falta de interés de parte del gobierno de ese entonces en Puerto Malabrigo, así como también la desinformación por parte de los pobladores. Lejos de solucionar conflictos políticos para poder hacer realidad el proyecto de un parque eólico, trasladaron los proyectos a diferentes partes. Como pudimos apreciar hay una gran necesidad en la implementación de aerogeneradores con el fin de brindar un tipo diferente y mejorado

de distribución de energía eléctrica con una manera satisfactoria y adecuada.

En la zona de Puerto Malabrigo, en la localidad El tubo, hay un pueblo en pleno crecimiento que carece de energía eléctrica, pero tiene a favor el espacio necesario para la implementación de un aerogenerador de eje horizontal de tal manera que se le pueda abastecer de esta energía eléctrica, además que al ser una energía renovable contribuimos con el cuidado del medio ambiente, dado esto nos propusimos la siguiente pregunta. ¿Cómo diseñar adecuadamente un aerogenerador de eje horizontal que suministre energía para el centro poblado El tubo? Como consecuente propusimos que la hipótesis a este problema tenía que ser, fijando la demanda eléctrica del centro poblado El tubo, velocidad del viento, altura del aerogenerador, además del uso de softwares computacionales que ayudarán a la ejecución del proyecto.

Nuestro objetivo general consiste en diseñar un aerogenerador de tipo de eje horizontal, haciendo posible que la demanda eléctrica del centro poblado tenga cobertura con el diseño proyectado.

Y como objetivos específicos propusimos determinar la demanda de energía eléctrica de todas las viviendas, establecer una recopilación de datos necesarios para el diseño y modelamiento del aerogenerador con el software SolidWorks.

Como justificación técnica, consideramos que este proyecto es de gran interés e importancia para nosotros, ya que vamos a emplear los conocimientos que hemos adquirido y conocimientos existentes a lo largo de toda nuestra carrera universitaria, de igual manera que nos permitirá conocer de cerca el funcionamiento de un sistema de generación de energía limpia y renovable como un aerogenerador.

Como justificación social, se ha considerado que el proyecto beneficiará principalmente a los moradores de la localidad El Tubo con la obtención de energía eléctrica, de la misma manera que se contribuye a un cuidado del medio ambiente generando electricidad de manera limpia.

## II. MARCO TEÓRICO

(Céspedes Coyullo & Vásquez Mondragón, 2019), En su trabajo de investigación, nos hablan sobre el diseño de un aerogenerador de eje horizontal para la localidad de Quinoa bamba-Pomabamba en el departamento de Ancash, resultando en el uso de 5 aerogeneradores con un diámetro de rotor entre 6 y 6.5 m, con el fin de generar 10 kW, cada uno (p. 30).

(Hernández Escobedo, Espinosa Arenal, Saldaña Flores, & Rivera Blanco, 2012), Evaluaron el potencial que posee el recurso eólico, de tal manera que generen energía eléctrica para el estado de Veracruz, México. Llevaron a cabo mediciones de viento en intervalos de 10 minutos a una altura de 20 metros, entre los años 2008 y 2009. Y concluyeron que se podía generar 14.432 kW mientras exista una velocidad en un rango de 5.45 m/s (p. 215).

(Chavesta Rivera, 2021), Nos refiere que la velocidad máxima fue de 8.23 m/s, una velocidad promedio de 2.89 m/s y una mínima de 0.82 m/s, todas estas velocidades se tomaron en referencia a una altura de 10 metros, en su diseño estableció el perfil NACA 4417 como el óptimo con un diámetro de su rotor en 5 metros y la longitud de su álabe en 2.5 metros, llegó a generar una potencia máxima de 2.3 kW (p. 81).

(Velarde Becerra, 2017), Concluyó que en la provincia de Cajamarca la velocidad promedio era de 7 m/s, con una presión de viento de 30 Pa, el diseño de su aerogenerador lo realizó en SolidWorks y tuvo los parámetros de una potencia de entrada de 5 kW y una de salida de 6 kW, con un rendimiento de 86%, tripala con un diámetro de 6 metros, trabaja con una temperatura promedio de entre 20 y 50°C, una velocidad de arranque de 2.5 m/s, pero una velocidad nominal de 7 m/s (p. 71).

(Otoleas Agurto, 2016), Requirió suministrar una demanda máxima de 10.33 kW, para una empresa de telecomunicaciones en Morrope, aquella necesidad energética la cubrió con un aerogenerador de 6 kW y un grupo electrógeno de 8 kW, la velocidad del viento fue fijado en 5 m/s, medido a alturas que iban desde los 4 hasta los 7 metros, notando que las mayores velocidades, ocurrían durante la noche (p. 92).

Bojorquez Chávez (2018), obtuvo resultados favorables con una producción de energía eléctrica de 15.74, 17.75 y 22.74 KW-h en la zona marina de Talara,

Pacasmayo y Nazca, respectivamente. De lo cual pudieron corroborar que la zona con mayor potencial eólico está en el departamento de Ica. También mencionaron que la construcción total del parque eólico de Talara tuvo una inversión que llegó a los 101 Millones de dólares y que la construcción de un parque eólico marino en Ica arrojaría la cifra de 121 Millones de dólares (p. 56).

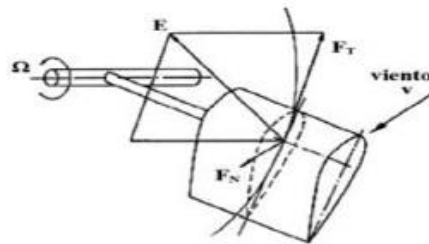
(Yglesias Deza, 2015), En su investigación realizó un estudio sobre la instalación de unos aerogeneradores que suministran energía eléctrica para las viviendas en el centro poblado Playa Blanca – Sechura en el departamento de Piura, dicho lugar cuenta con 3 aerogeneradores con una potencia unitaria de 5 kW, haciendo un total de 15 kW, uno de sus aportes principales fue el de ahorrar 57.38 Toneladas de CO<sub>2</sub> de manera anual.

(Estefanero Usnayo & Umpiri Checalla, 2018), Evaluaron el perfil de un aerogenerador de tipo de eje horizontal, que fue destinado a un edificio de 15 pisos en la Universidad Nacional del Altiplano en el departamento de Puno, buscando reducir costos energéticos de la universidad, concluyendo que se necesitarían cinco aerogeneradores con una potencia unitaria de 3.681 kW, resultando en un total de 18.4 kW de potencia total para todo el edificio.

(Ramos Correa, 2018), Evaluó y determinó una demanda máxima con una proyección de 20 años en la hacienda el triunfo La Libertad de 4.8 kW y de 25.49 kW – hora en su primer año de proyección, y para los veinte años proyectados fue de 6.5 kW y 34.375 kW – hora, con función al crecimiento demográfico. Seleccionó un aerogenerador de 7 kW, para funcionar con unas velocidades de entre 5 y 6 m/s, sin embargo, su análisis de Weibull, le arrojó que la velocidad con 92% de frecuencia fue de 5.43 m/s (p. 94).

## Energía Cinética

Villarrubia (2013, p. 107). Operan por medio de el parámetro de la fuerza de sustentación, la trayectoria vectorial del aire a lo largo del contorno del perfil aerodinámico que causa la existencia de una fuerza de empuje en el perfil. Esta fuerza resultante obtenida se establece por medio de ambas trayectorias de dichas fuerzas que se generan en el perfil siendo una perpendicular al eje de giro de rotor y otra paralela al eje de giro y confirma que ofrece una mejoría de los rendimientos energéticos y llamada fuerza de arrastre.



**Figura 1.** Fuerzas Ejercidas en un perfil aerodinámico

**Fuente:** Villarrubia López, 2016

Dónde:

$E = \text{Fuerza de Empuje } (\rho * v * g)$

$F_T = \text{Perpendicular al eje de giro del rotor originando par de giro}$

$F_N = \text{Paralela al eje de giro del rotor no contribuye al par de giro}$

Villarrubia (2013, p. 92). Indicó que el potencial eólico se debe a una masa de barrido del aire, además, con dicha velocidad promedio del lugar del diseño elevándola al cuadrado. Y es dado por:

$$E_c = \frac{m * v^2}{2} \quad \dots \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

$E_c = \text{Ecuación de la energía}$

$m = \text{masa de aire } (kg * F)$

$v = \text{velocidad } (m/s)$

## **Energía Eólica**

Giménez, Schweickardt & Gómez (2012, p. 109). Nos indican que la energía eólica es causada por las diferentes temperaturas en la superficie de la tierra, y en el clima, en lugares donde hay mucho sol, el aire intenta calentarse y crea un ciclo que hace que el aire se expanda y se vuelve más ligero. Además, que este tipo de energía está vinculada a la velocidad del viento.

## **Viento**

Fernández (Cap. I p. 4). Considera al viento como una masa de aire que se encuentra en movimiento y que aparece como consecuencia del calentamiento desigual de la superficie terrestre, es la principal fuente de la energía eólica.

## **Tipos de Viento**

Miguel Villarrubia (2013, cap. 2) nos habla sobre la clasificación de los vientos.

### **Tipos de Viento según su fuerza y dirección**

- **Ráfagas:** El viento nominado como ráfaga o racha, consiste en el gran aumento, repentino y de corto plazo en la velocidad del viento.
- **Turbonadas:** Es un aumento repentino y fuerte de la velocidad del viento, generalmente asociado con tormentas eléctricas, como lluvia, huracanes o tormentas de nieve.

### **Tipos de vientos según su escala o recorrido**

- **Los vientos globales:** Son cosas creadas como producto de la rotación de la Tierra. Esto conduce a un gradiente de temperatura en la atmósfera debido al aislamiento.
- **Los vientos regionales:** Están determinados por la distribución de las inscripciones marinas, terrestres y continentales. Su dirección no es fija, sino que cambia con las estaciones, y su intensidad puede cambiar con la hora del día.
- **Los vientos locales:** Son específicos de ciertas regiones del planeta y están determinados por los gradientes de presión en la región causados por los cuerpos de agua que rodean o pasan por ese lugar.



## Densidad del Viento

Villarrubia (2013, cap. 2) De esta forma, la energía cinética del aire es dependiente de la densidad del viento, o sea, de su masa por unidad de volumen. En otros términos, cuanto más pesado sea el viento más energía. recibirá la turbina.

Temperatura ° Celsius	Temperatura ° Farenheit	Densidad, es decir, masa de aire seco kg/m <sup>3</sup>
-25	-13	1,423
-20	-4	1,395
-15	5	1,368
-10	14	1,342
-5	23	1,317
0	32	1,292
5	41	1,269
10	50	1,247
15	59	1,225 *)
20	68	1,204
25	77	1,184
30	86	1,165
35	95	1,146
40	104	1,127

**Figura 2.** Temperaturas vs Densidades

## Velocidad del Viento

Miguel Villarrubia (2013, p. 41) nos dice que la velocidad o flujo de viento es una magnitud vectorial, es una porción atmosférica importante causada por el aire que se mueve de alta a baja presión, principalmente se mide con un anemómetro.

## Ley Exponencial de Hellmann

Fernández (Cap. I, p. 12). Menciona que la velocidad obtenida del viento se ve afectada por la altura a la que se mide, de tal manera que se vuelve una ecuación de tipo estadística, que se conoce como la ley exponencial de Hellmann, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V = V_h \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha \quad \dots \quad (Ec. 2)$$

Dónde:

$V$  = Velocidad del viento

$V_h$  = Velocidad a la que se midió el viento con el instrumento

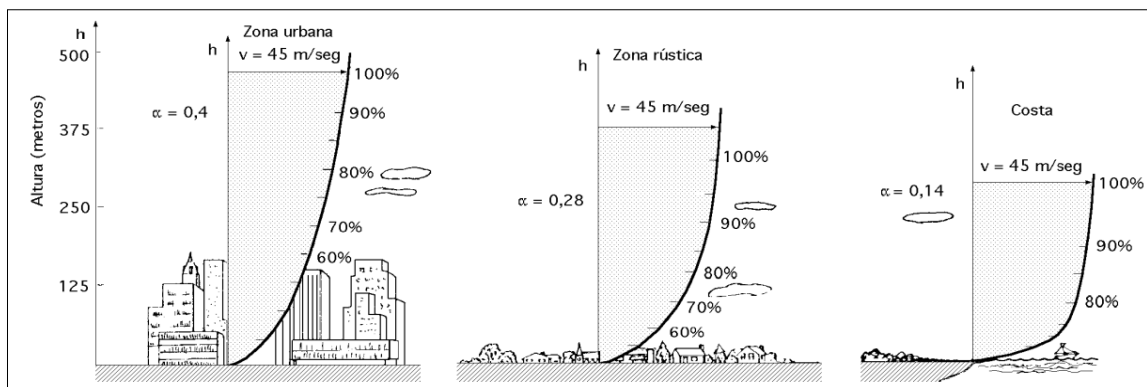
$h$  = altura de la torre

$\alpha$  = Exponente de Hellman

La Tabla 1. nos indica los valores que se le han asignado al exponente de Hellmann, los cuales varían con el tipo de terreno, y la Figura 3. nos indica las variaciones de la velocidad del viento en relación con la altura, respecto al exponente de Hellmann.

**Tabla 1.** Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno

Lugares llanos con hielo o hierba	$\alpha = 0,08 \div 0,12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0,14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0,13 \div 0,16$
Zonas rústicas	$\alpha = 0,2$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0,2 \div 0,26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0,25 \div 0,4$



**Figura 3.** Variación de la Velocidad del viento con respecto a la altura sobre el terreno, según la ley exponencial de Hellmann.

### Distribución de Weibull

Hernández (2018, p. 67). Nos indica que la distribución de Weibull es la más usada para aplicar un modelo que represente la distribución de la velocidad del viento debido a la facilidad con la que asume las características de diferentes distribuciones en la frecuencia de los datos. Esta función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull Viene dada por:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad \dots \quad (Ec. 3)$$

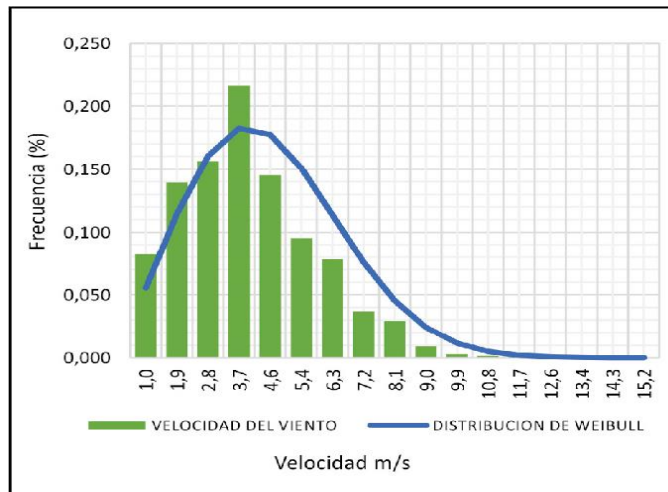
Dónde:

$f(v)$  = Función densidad de probabilidad Weibull

$v$  = Velocidad del viento (m/s)

$C$  = Factor de escala (m/s), este valor es próximo a una velocidad media anual

$k$  = Parámetro de forma Weibull sin dimensiones



**Figura 4.** La función de Distribución de Weibull

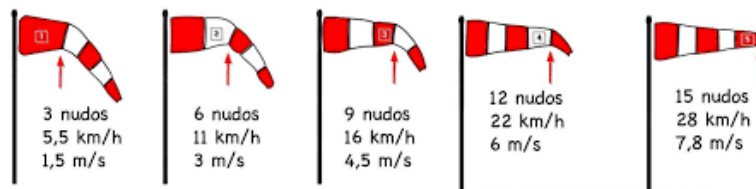
### Instrumento de Medición del Viento

- **Anemómetro:** Es un dispositivo meteorológico utilizado para medir la velocidad del viento, como también algunos otros parámetros como temperatura, área, entre otras. Y de esta manera ayudarnos con el pronóstico del tiempo.



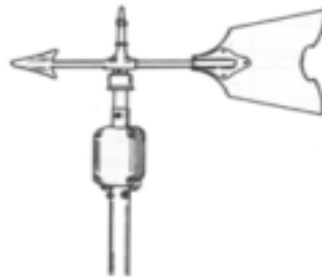
**Figura 5.** Anemómetro AIMO meter MS6252B

- **Catavientos:** Nos proporciona la velocidad y dirección del viento



**Figura 6.** Catavientos

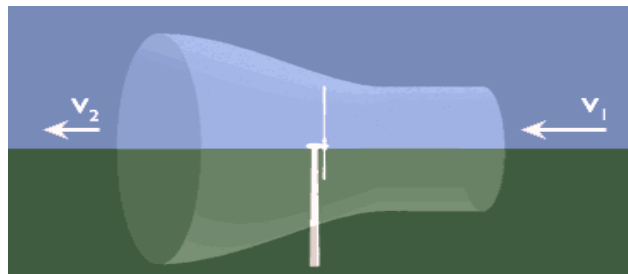
- **Veleta:** Una veleta es un dispositivo giratorio que consta de una placa que gira libremente, un puntero que indica la dirección del viento.



**Figura 7.** Veleta

### La ley de Betz

Camargo (2021, p.52). La ley de Betz es la que nos fija el límite de potencia que se puede extraer del viento, este límite se deriva de la conservación de la masa y del momento de inercia del flujo de aire. El límite de Betz indica que la turbina no puede aprovechar más del 59.3% de la energía cinética del viento. Aunque las turbinas más modernas obtienen entre el 75% y el 80% del límite de Betz.



**Figura 8.** Velocidad de entrada y de salida para el principio de Betz

Con estas velocidades se deduce la siguiente fórmula:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right] \left[ 1 + \frac{V_2}{V_1} \right] \quad \dots \text{ (Ec. 4)}$$

Dónde:

$P_0$  = Energía entrante en las aspas

$P$  = Energía de salida separada de las aspas

$V_1$  = Velocidad entrante

$V_2$  = Velocidad de salida

### **Demanda Eléctrica**

OSINERGMIN (2011, p. 23). Se conoce a la demanda eléctrica como a una variable a través del tiempo, debido a que lo que se consume en electricidad varía con respecto a las horas del día. Esto nos refleja que en ciertas horas del día hay más consumo eléctrico que en otras horas, mayormente en las noches, o en horas punta, por lo tanto, se infiere que máxima demanda hace referencia a un registro de mayor consumo de demanda en un tiempo determinado.

### **Proyección Demográfica Anual**

Torres-Degró, A (2011), Se puede estimar una tasa de crecimiento poblacional, suponiendo un patrón con anticipación, existen tres modelos para calcular dicho índice y el crecimiento proyectado en una amplitud determinada: El Aritmético, Geométrico y Exponencial. El modelo Aritmético se calcula de la siguiente manera:

$$P_F = P_0(1 + r/100 * t) \quad \dots \text{ (Ec.5)}$$

Dónde:

$P_F$ : Población Final en un tiempo  $t$

$P_0$ : Población Inicial

$r$ : Índice de crecimiento Poblacional

$t$ : Amplitud de tiempo

El método aritmético suele usarse para amplitudes de 1 a 10 años como máximo, para periodos mayores se suele utilizar el método geométrico y exponencial, los cuales son, respectivamente:

$$P_F = P_o(1 + r/100)^t \quad \dots \text{ (Ec. 6)}$$

$$P_F = P_o * e^{rt} \quad \dots \text{ (Ec. 7)}$$

Dónde:

*P<sub>F</sub>*: Población Final en un tiempo *t*

*P<sub>o</sub>*: Población Inicial

*r*: Índice de crecimiento Poblacional

*t*: Amplitud de tiempo

### **Cálculo del Número de Puntos de Iluminación**

Ministerio de Energía y Minas (2003), nos menciona que para hallar el número de puntos de iluminación se debe de aplicar el siguiente procedimiento:

- ✓ Determinar el consumo de energía mensual por alumbrado público, mediante la fórmula:

$$CMAP = KALP * NU \quad \dots \text{ (Ec. 8)}$$

Dónde:

*CMAP*: Consumo mensual de alumbrado público en kWh

*KALP*: Factor de AP en kWh/usuario – mes

*NU*: Número de Usuarios

- ❖ El factor KALP, es distinto para cada tipo de sector, que está determinado por la Resolución Ministerial N° 074-2009-MEM/DM.
- ❖ El factor KALP, será determinado por OSINERGMIN y presentado al Ministerio de Energía y Minas para su aprobación.

- ✓ Y, por último, para determinar el número de puntos de iluminación, se usa la siguiente fórmula:

$$PI = (CMAP * 1000)/(NHMAP * PPL) \quad \dots \text{ (Ec. 9)}$$

Dónde:

*PI: Puntos de Iluminación*

*CMAP: Consumo mensual de alumbrado público en kWh*

*NHMAP: Número de horas mensuales del servicio de alumbrado público  $\left(\frac{\text{horas}}{\text{mes}}\right)$*

*PPL: Potencia nominal promedio de la lámpara de alumbrado público*

- ❖ El número de horas mensuales del servicio de alumbrado público (NHMAP) dependerá del encendido y apagado: Usualmente se usa 360 horas al mes.
- ❖ La potencia nominal de la lámpara de alumbrado público incluye la potencia de la lámpara, más sus accesorios de encendido.

## **AEROGENERADOR**

Chauncey (2015, p. 44), nos relata que el aerogenerador vendría a ser un dispositivo cuya función es convertir energía cinética que proviene del viento en energía mecánica que se envía hacia su eje, que al mismo tiempo se acoplan aun generador para producir energía eléctrica, con el fin de conectar un sistema interconectado o alimentar una carga específica.

### **Aerogenerador de Eje Horizontal**

Guipe (2014, p. 52), nos dice que estos se conocen más y que más lograron mayores resultados a lo que conversión de energía respecta; hay muchos diseños que se utilizan para este tipo de aerogenerador, la manera en la que convierten la energía es mediante unos dispositivos que están ubicados sobre la torre, al igual que muchas turbinas de viento cuyas funciones son producir energía eléctrica a través de un generador, el cual está unido al eje del rotor mediante un dispositivo conocido como multiplicador y está ubicado en la navicilla, su eje rotacional esta paralelo a la superficie, suele tener rotores de 1 a 3 palas, actualmente se estiman aproximadamente más de un millón de molinos para este tipo de operaciones.

## **PARTES DE UN AEROGENERADOR**

### **Palas o Álabes**

Martínez (2015, p. 29), nos dice que este componente es el más importante ya que es este él logra captar la energía cinética del viento transmitiéndola por el eje principal de potencia.



*Figura 9. Álabe*

### **Multiplicador**

Martínez (2015, p. 41), es un componente cuya función consiste en aumentar la velocidad de giro permitiendo al Aerogenerador lograr una velocidad adecuada para poder generar energía eléctrica esto debido a que la velocidad de giro del toro es muy lenta a diferencia de la velocidad del giro del generador.

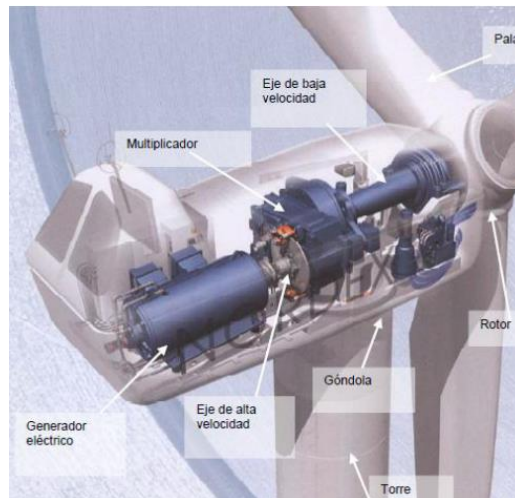


*Figura 10. Multiplicador de velocidad*



## Góndola

García (2017, p. 9). Es la que en torno a la torre está girando, para que la turbina pueda encarar al viento. Los componentes de la turbina se encuentran dentro: La caja multiplicadora, el eje principal, el generador y los mecanismos de giro.



**Figura 11.** Vista seccionada de una góndola

Normalmente son metálicas, construidas con unas placas y perfiles de acero, las cuales van puestos en la torre, en la parte superior de esta.

## Generador Eléctrico

(García, 2017; Fernández Díez; Hernández Arroyo, Córdova Tuta, & García Sánchez, 2019; Gabriel Camargo, 2021; Gimenez Alvarez, Schweickardt, & Gómez Targarona, 2012; Hibbeler, 2010; Budynas & Nisbett, 2008), Este componente se encarga de convertir la energía mecánica que produce el rotor en energía eléctrica.



**Figura 12.** Generador Eléctrico

## Torre

Rodríguez (2017, p. 31). Es donde se soporta la góndola y el alabe, su estructura está conformada depende del tipo de alabe y características climatológicas, estas pueden ser de acero, celosía y hormigón. Hay casos en los cuales los aerogeneradores ponen en sus torres de tipo tubular acero debido a que suelen tener una sección transversal cónica y pueda que lleguen a alturas consideradas depende a la potencia que se desea generar.



*Figura 13. Torres de aerogeneradores*

## ECUACIONES DE DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO

Villanueva (capítulo 3) nos muestra sobre las ecuaciones físicas para analizar algunos fenómenos que ocurren en un aerogenerador, también nos da las pautas para dimensionar un aerogenerador siguiendo un algoritmo de diseño.

### Momento de una fuerza

Hibbeler (2010, p. 117). Cuando se aplica una fuerza hacia un cuerpo, se producirá una tendencia a que el cuerpo gire alrededor de un punto que no va a estar en la línea de acción de la fuerza. A estas tendencias de girar en un punto se le conoce como *par de torsión*, pero en la mayoría de los libros y/o ocasiones se le denomina **el momento de una fuerza**. Se expresa como:

$$M = F * d \quad \dots \quad (Ec. 10)$$

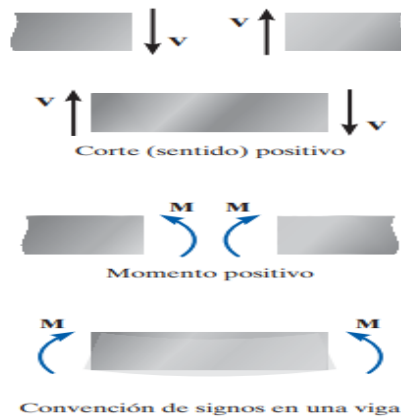
Dónde:

$F = Fuerza$

$d = distancia$

## Ecuaciones y Diagramas de Fuerza Cortante y de Momento Flexionante

Hibbeler (2010, p. 345). Comúnmente se utiliza para poder determinar cuanta carga es que puede soportar una máquina, una viga, un eje, etc. De tal manera de poder hallar los puntos críticos que producirían una falla, se representa mediante diagramas.



**Figura 14.** Fuerza Cortante y Momento Flexionante

Fuente: Hibbeler 12va. Edición

## Selección de Material

Budynas (2008, p. 1020). Existe una tabla con los aceros más empleados en el Perú llamada Tabla A-20.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

**Figura 15.** Propiedades del Acero Comercial.

Fuente: BUDYNAS, NISBETT

### **Coeficiente de Potencia Máxima**

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{B} \right) \left( \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_d}{C_l} \cdot \lambda_d \right) \right] \quad \dots \text{(Ec. 11)}$$

Dónde:

$(C_p)_{\text{máx}}$  = *Coeficiente de Potencia Máxima*

$B$  = *Número de álabes*

$\varphi$  = *Ángulo de ataque*

$C_d$  = *Coeficiente de Arrastre*

$C_l$  = *Coeficiente de Sustentación*

$\lambda_d$  = *Celeridad de la turbina*

### **Ángulo de Flujo**

$$\varphi = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_d} \right) \quad \dots \text{(Ec. 12)}$$

Dónde:

$\varphi$  = *Ángulo de flujo*

$\lambda_d$  = *Celeridad de la turbina*

### **Radio de la Turbina**

$$R_t = \left[ \frac{2 * P}{\eta_t * C_p * \rho * \pi * V_h^3} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \text{(Ec. 13)}$$

Dónde:

$R_t$  = *Radio de la turbina*

$P$  = *Potencia de la turbina*

$\eta_t$  = *Rendimiento de la turbina*

$C_p$  = *Coeficiente de potencia máxima*

$\rho$  = *Densidad del aire*

$V_h$  = *Velocidad del aire medida a una altura específica*

### **Velocidad de Rotación de las Turbina**

$$\Omega = \frac{V * \lambda_d}{R_t} \quad \dots \quad (\text{Ec. 14})$$

Dónde:

$\Omega$  = Velocidad de rotación de la turbina

$V$  = *Velocidad del aire*

$\lambda_d$  = *Celeridad*

$R_t$  = *Radio de la turbina*

### **Celeridad en las Álabes**

$$\lambda_r = \lambda_d \left( \frac{r}{R_t} \right) \quad \dots \quad (\text{Ec. 15})$$

Dónde:

$\lambda_r$  = Celeridad en las álabes

$\lambda_d$  = Celeridad de la turbina

$r$  = Radio del rotor dividido en partes iguales

$R_t$  = Radio de la turbina

### **Ángulo de flujo de los álabes**

$$\varphi_r = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \right) \quad \dots \quad (\text{Ec. 16})$$

Dónde:

$\varphi_r$  = Ángulo de flujo de los álabes

$\lambda_r$  = Celeridad de los álabes

### **Cálculo de las Cuerdas**

$$C = \left( \frac{8 * \pi * r}{B * C_l} \right) (1 - \cos \varphi_r) \quad \dots \quad (\text{Ec. 17})$$

Dónde:

$C$  = *Cuerdas de los álabes*

$r =$  Radio del álabe dividido en partes iguales

$B =$  Número de álabes

$C_l =$  Coeficiente de Sustentación

$\varphi_r =$  Ángulo de flujo de los álabes

### Ángulo de Sección de los álabes

$$\beta_r = \varphi_r - \alpha \quad \dots \text{ (Ec. 18)}$$

Dónde:

$\beta_r =$  Ángulo de sección de los álabes

$\varphi_r =$  Ángulo de flujo de los álabes

$\alpha =$  Ángulo de ataque

### Energía Útil del Viento

Fernández (Cap. I, p. 14). Expresa que dentro de una corriente de aire de densidad  $\rho$ , velocidad  $\vec{v}$ , tal y como lo indica la Figura 16, la disponibilidad de potencia que atravesará una superficie  $A$  para hacer un recorrido  $L$  en un tiempo  $t$ , está dada por la siguiente ecuación:

$$N_{viento} = \frac{E_{cinética}}{t} = \frac{mv^2}{t} = \frac{v^2}{2t}(vtA\rho) = \frac{\rho Av^3}{2} \quad \dots \text{ (Ec. 19)}$$

Dónde

$N_{viento} =$  Energía útil del viento

$E_{cinética} =$  Energía cinética

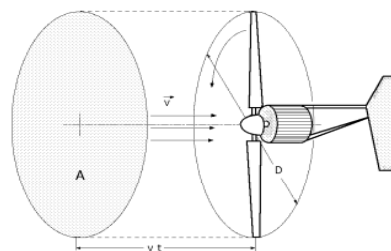
$t =$  tiempo

$m =$  masa

$v =$  velocidad

$\rho =$  densidad del aire

$A =$  área de barrido



**Figura 16.** Área de barrido  $A$  por un rotor de diámetro  $D$

## Área de Barrido del Rotor

Para un aerogenerador de eje horizontal con un diámetro de álabes  $D$ , la sección  $A$  sería:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \dots \quad (Ec. 20)$$

Dónde:

$A$  = área de barrido del rotor

$D$  = diámetro del rotor

## Potencia de Salida

Narváez & Vinueza (2018, p.106). Aplicando el principio de Bernoulli y la conservación del momento lineal, se puede obtener que la potencia de salida que entrega el aerogenerador está dada por:

$$P_{out} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 * \eta_{turb} * C_p \quad \dots \quad (Ec. 21)$$

Dónde:

$P_{out}$  = Potencia de salida

$\rho$  = Densidad del aire

$A$  = Área de barrido del rotor

$V$  = Velocidad promedio del viento

$\eta_{turb}$  = Eficiencia de la turbina

$C_p$  = Coeficiente de potencia máxima

## DISEÑO DEL EJE

### Masa del Rotor

$$m_r = 0.486 * R_t^{2.6} \quad \dots \quad (Ec. 22)$$

Dónde:

$m_r$  = Masa del Rotor

$R_t$  = Radio de la Turbina

### **Peso del Rotor**

$$w_r = m_r * g \quad \dots \text{ (Ec.23)}$$

Dónde:

$w_r =$  *Peso del Rotor*

$m_r =$  *Masa del Rotor*

$g =$  *Gravedad*

### **Torque en el Rotor**

$$T_r = \frac{P_{out}}{\Omega} \quad \dots \text{ (Ec.24)}$$

Dónde:

$T_r =$  *Torque en el Rotor*

$P_{out} =$  *Potencia de Salida*

$\Omega =$  *Velocidad de Rotación de la Turbina*



### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

- Este proyecto es de tipo Aplicada.
- El diseño no experimental.

#### **3.2. Variables y Operacionalización**

##### **Variables**

- VARIABLE DEPENDIENTE: Diseño de un aerogenerador de eje Horizontal.
- VARIABLE INDEPENDIENTE: Potencial Eólico y Demanda máxima de energía Eléctrica de la Población.

##### **Operacionalización (Ver Anexo 1)**

#### **3.3. Población, Muestra y Muestreo**

**Población:** Conjunto de aerogeneradores a nivel nacional

**Muestra:** Aerogenerador de Eje Horizontal del Perú

**Muestreo:** No probabilístico intencionado.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

*Tabla 2. Técnicas e Instrumentos de Investigación*

Técnica de recolección de datos	Instrumentos de recolección de datos	Validación
Entrevista	Guía de Entrevista	Por especialistas
Observación	Guía de observación de campo	Por Expertos
Análisis Documental	Ficha de Investigación	Por especialistas

**Fuente:** Elaborado por los autores

### **3.5. Procedimientos**

Los pasos realizados en este trabajo fueron los siguientes (Ver Anexo 2):

- Recolección de datos
- Indagaciones sobre proyectos piloto anteriores en la zona
- Determinación de la demanda máxima de energía eléctrica y su proyección en el centro poblado El Tubo
- Medición de la velocidad del aire
- Localización del aerogenerador y el patio de llaves
- Cálculos de diseño
- Diseño en SolidWorks

### **3.6. Método de análisis de datos**

En este proyecto se emplea un método descriptivo para evaluar los datos de que se obtienen de esta investigación. Asimismo, con esta información recolectada por los instrumentos que se emplean en esta investigación, serán analizados y presentados en cuadros de Microsoft Excel.

### **3.7. Aspectos éticos**

En este documento se presenta información que hacen referencia a otros autores que han sido debidamente citada respetando sus derechos como autores y su respectiva propiedad intelectual, según las normas establecidas por la Universidad Cesar Vallejo.

#### IV. RESULTADOS

Para poder obtener la demanda máxima requerida nos basamos en la norma DGE RD 031-2003-EM: Bases para el diseño de Redes Secundarias con Conductores Autoportantes para Electrificación Rural, obtenida del Código Nacional de Electricidad:

**Tabla 3.** Tipos de localidades según la norma DGE RD 031-2004-EM

Localidades de Tipo I	Localidades de Tipo II
Se menciona que son aquellas que son capitales de distritos o Centros Poblados Urbano-Rurales las cuales representan una configuración urbana definida por calles y plazas. A este tipo de localidad se le asigna 600 W por lote.	Estas vienen a ser viviendas situadas en áreas rurales que aún no presentan una configuración urbana. Estas viviendas se ubican generalmente a lo largo de las carreteras, caminos de herradura o dentro de chacras de sus propietarios. Se le asigna 400 W por lote.

**Fuente:** Código Nacional de Electricidad

Como podemos apreciar en la Tabla 3, la localidad de El Tubo se encuentra dentro de la categoría de Localidades Tipo II por lo que aún no tienen una configuración netamente urbana (Ver Anexo 3).

Basándonos en el Boletín de Análisis Demográfico N°38 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2019, pág. 42 & 43), se estimó un promedio de los crecimientos anuales de la población en el Perú, comprendidos entre los años 2020 y 2040 (Ver Anexo 4).

Dicho promedio, sirvió para poder hallar la cantidad de habitantes aproximada en 20 años, considerando una cantidad inicial de 40 personas en la localidad El Tubo, como se muestra en la Tabla 4.

Teniendo todos los datos necesarios, se procedió a aplicar la ecuación de Proyección Geométrica (Ec. 6) para hallar el número de habitantes en 20 años

**Tabla 4.** Población en 20 años, obtenida con la Fórmula de Proyección Geométrica

<b>Nombre</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
<b>Población Inicial</b>	$P_o$	40
<b>Tasa de Crecimiento (%)</b>	$r$	0.81
<b>Tiempo (Años)</b>	$t$	20
<b>Población en 20 años</b>	$P_f$	<b>47</b>

Fuente: Elaborado por los autores

Como se observa en la Tabla 4, la población estimada en 20 años será de 47 habitantes.

Con la información de la Tabla 3, pudimos obtener la demanda energética de las viviendas de la localidad El Tubo, resultando en 10 kW necesarias como se visualiza en la Tabla 5:

**Tabla 5.** Demanda Actual localidad El Tubo

<b>N°</b>	<b>Ítem</b>	<b>Cargas de Servicio particular según normas DGE (kW)</b>	<b>Cantidad (und)</b>	<b>Factor de Simultaneidad (FS)</b>	<b>Demanda Máxima Eléctrica (kW)</b>
1	Lotes	0.4	20	0.50	10.00

Fuente: Elaborada por los autores

En la Tabla 5, se aprecia la demanda requerida actualmente para la localidad El Tubo, multiplicando los 400 Watts que nos decía la Tabla 3, por la cantidad de casas y con el factor de simultaneidad, resultando en 10 kW como demanda actual.

Utilizando la fórmula de la proyección geométrica (Ec. 6), encontramos la demanda proyectada a 20 años tal y como nos muestra la Tabla 6.

**Tabla 6.** Demanda Máxima de las viviendas con proyección de 20 años.

<b>Nombre</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
<b>Demanda Actual (kW)</b>	$D_A$	10.00
<b>Tasa de Crecimiento (%)</b>	$r$	0.81
<b>Tiempo (Años)</b>	$t$	20
<b>Demanda Proyectada (kW)</b>	$D_p$	11.75

Fuente: Elaborado por los autores

### **Determinamos el número de puntos de iluminación de la localidad El Tubo**

Con el fin de poder hallar la máxima demanda generada por el alumbrado público en la localidad El Tubo, se calculó el número de puntos de iluminación, utilizando la (Ec. 8) y la (Ec. 9). Tal y como se explicó para poder aplicar la Ec. 9, se tiene que hallar el consumo eléctrico mensual en la localidad El Tubo.

Datos establecidos en la norma de Alumbrado de Vías Públicas en Áreas Rurales, del mismo modo, la misma norma nos indica el tipo de sector, las pérdidas y la potencia de la lámpara de alumbrado (Ver Tabla 7).

**Tabla 7.** Norma DGE RD 017-2003-EM: Alumbrado de Vías Públicas en Áreas Rurales

Sector	KALP	Potencia de la lámpara (kW)	Pérdidas (kW)	Potencia Total de Lámpara (kW)
4	3.30	0.07	0.012	0.0816
5	6.30	0.05	0.010	0.060
Especial	4.70	0.05	0.010	0.060

Fuente: Elaborado por los autores

Considerando a la localidad como el sector 4, tal y como nos indica la norma, podemos aplicar la (Ec. 8) para poder hallar el consumo mensual de alumbrado público (CMAP) proyectado a 20 años, usando el dato de la población proyectada que se obtuvo en la Tabla 4, tal y como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Consumo mensual de alumbrado público en kWh para la localidad El Tubo proyectada a 20 años

Nombre	Variable	Valor
Factor de AP (KWh/usuario - mes)	KALP	3.30
Número de Usuarios	NU	47
Consumo Mensual de Alumbrado Público (KWh)	CMAP	155.05

Fuente: Elaborado por los autores

Aplicando la (Ec. 9) se halló el número de los puntos de iluminación con proyección de 20 años considerando los datos de las Tablas 7 y 8.

**Tabla 9.** Puntos de iluminación en la localidad El Tubo

<b>Nombre</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Número de Horas al mes del Alumbrado Público	NHMAP	360.00
Potencia Promedio de la lámpara (W)	PPL	81.60
<b>Puntos de Iluminación</b>	<b>PI</b>	<b>5</b>

Fuente: Elaborado por los autores

Al final se multiplica la potencia de cada lámpara de alumbrado público con el número de puntos de iluminación a 20 años, considerando una lámpara por punto de iluminación y los datos nos arrojan:

**Tabla 10.** Demanda total actual del Alumbrado Público proyectado a 20 años.

<b>Nombre</b>	<b>Potencia por Unidad (kW)</b>	<b>Demanda Total en 20 Años (kW)</b>
<b>Postes de Iluminación</b>	0.0816	0.43

Fuente: Elaborado por los autores



## Hallamos la demanda total de las Cargas Especiales

Se consideraron las siguientes cargas para la localidad El Tubo (Ver Tabla 11)

*Tabla 11. Cargas especiales para la localidad El Tubo*

N°	Equipo o Taller	Potencia (kW)	Cantidad (und)	Demanda de Carga por Equipo (kW)	Factor de Simultaneidad (FS)	Demanda Máxima Eléctrica (kW)
1	Electrobomba	0.35	4	1.40	0.50	0.70
2	Luminaria de Cancha Deportiva	0.40	6	2.40	0.50	1.20
3	Taller	4.71	1	4.71	0.50	2.36
4	Peluquería	5.00	1	5.00	0.70	3.50
5	Restaurante	4.00	1	4.00	0.70	2.80
6	Bodega	1.00	1	1.00	0.70	0.70
7	Otros	1.00	1	1.00	1.00	1.00
<b>TOTAL</b>						<b>12.26</b>

**Fuente:** Elaborado por los autores

En la Tabla 11 podemos apreciar los equipos que podrían utilizarse en el transcurso de 20 años en la localidad El Tubo, se consideran factores de simultaneidad distintos, dependiendo del tipo de artefacto y/o equipo que se usará, para darnos una Demanda Máxima Eléctrica por Cargas Especiales de 12.26 kW.

El siguiente paso es hallar la demanda máxima total proyectada a los 20 años, considerando las demandas halladas anteriormente y realizando la sumatoria respectiva.

**Tabla 12.** Demanda Máxima Total, proyectada a 20 años

N°	Descripción	Demanda de Carga (kW)	Incluidas las Pérdidas (kW)	Factor de Potencia (kW)	Potencia Total (kW)
1	Demanda de Cargas Especiales	12.26	12.62	1.00	12.62
2	Demanda de AP a 20 años	0.43	0.44	0.90	0.48
3	Demanda de Carga Proyectada 20 Años	11.75	12.099	1.00	12.10
				<b>TOTAL</b>	<b>25.21</b>

**Fuente:** Elaborada por los autores

Como se puede apreciar, se realizó una sumatoria de las tres demandas totales que hemos hallado, anteriormente. De la Tabla 12 podemos inferir que la demanda máxima total proyectada a 20 años, nos da 25.21 kW, la cual se usará para realizar los cálculos de diseño para el aerogenerador de eje horizontal.

### **Recolección de datos referente a las velocidades del viento en alrededores de la localidad El Tubo**

Para poder hallar la velocidad del viento se tuvo que realizar mediciones con un anemómetro certificado (Ver Anexo 5) modelo MS6252B en 4 lugares diferentes (Ver Anexo 6) para poder sacar una media más precisa con respecto a la velocidad del viento.

**Tabla 13.** Datos de las velocidades del viento en determinadas coordenadas

Fecha	Horas	Coordenadas (Latitud - Longitud)	Velocidad Mínima	Velocidad Máxima	Velocidad Promedio
10/12/2021	9:00 a 14:35	-7.706716, -79.445586	5 m/s	8 m/s	8 m/s
28/04/2021	07:00 a 12:16	-7.709647, -79.431499	7.94 m/s	10.2 m/s	9 m/s
21/05/2022	12:00 a 15:48	-7.710241, -79.432292	5.74 m/s	8.5 m/s	7 m/s
22/05/2022	11:00 a 14:28	-7.710241, -79.432292	5.14 m/s	7.89 m/s	8 m/s
<b>PROMEDIO</b>					<b>8 m/s</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

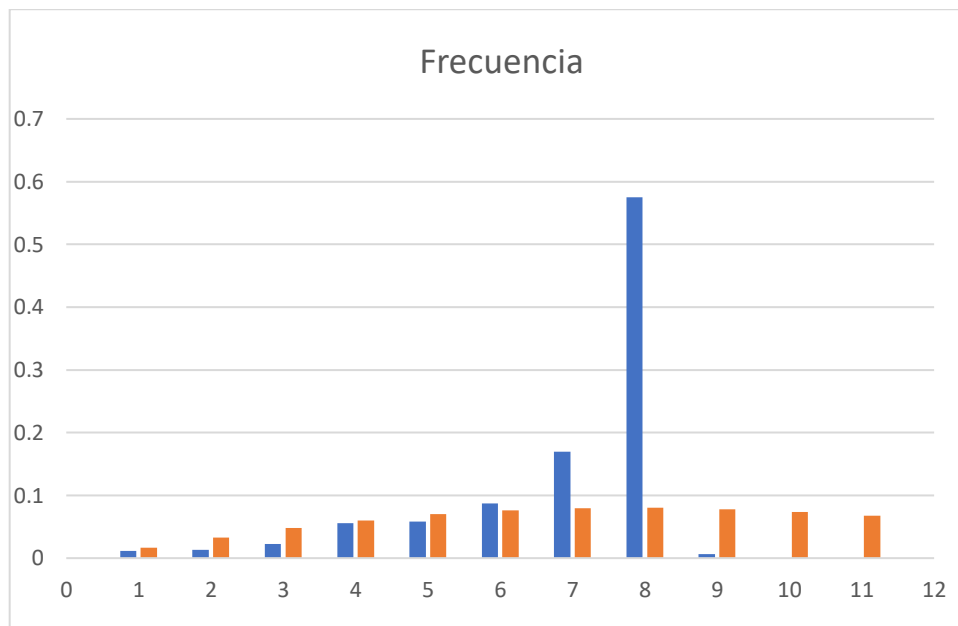
Con los datos registrados en la Tabla 13, procedió a establecer las áreas designadas para la ubicación perfecta del aerogenerador o los aerogeneradores en caso se necesiten más de uno, así como también la mejor ubicación para un patio de llaves, el cual tendrá como objetivo distribuir la energía eléctrica a toda la localidad (Ver Anexo 7).

## Determinando la frecuencia de las mediciones y aplicando la distribución de Weibull

De los datos de frecuencia y velocidad (Ver Anexo 8) se realizó un gráfico de frecuencia con ayuda del Software Microsoft Excel para poder determinar la velocidad más recurrente, y posteriormente realizar una Distribución de Weibull.

En Gráfica 1. Se dedujo que las velocidades que más se repiten en los datos que se obtuvieron son: la de 8 m/s con un porcentaje de frecuencia de 57%, seguido por una velocidad de 7 m/s con un 18% de frecuencia y 6 con un 9% de frecuencia.

**Gráfica 1.** Porcentaje de frecuencia y velocidad establecida con redondeo



**Fuente:** Elaboración de los autores

De la gráfica 1 inferimos que, la velocidad óptima fue la que más porcentaje de frecuencia tuvo, siendo esta la de 8 m/s.

Con ayuda de la Gráfica 1. Se pudo obtener los datos de frecuencia y velocidades de viento necesarios para poder realizar la Distribución de Weibull y poder hallar la velocidad definitiva, la cual se usaría en los cálculos de dimensionamiento.

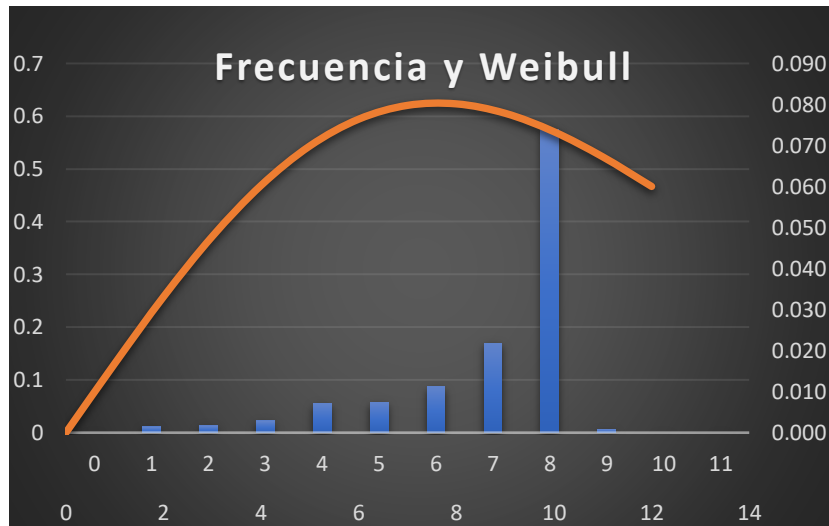
**Gráfica 2.** Función de Distribución de Weibull



**Fuente:** Elaboración de los autores

Se comprobó en las Gráficas 1 y 2, que la velocidad ideal del viento es de 8 m/s.

Se realizó un gráfico de Distribución de Weibull y Frecuencia de manera simultánea.



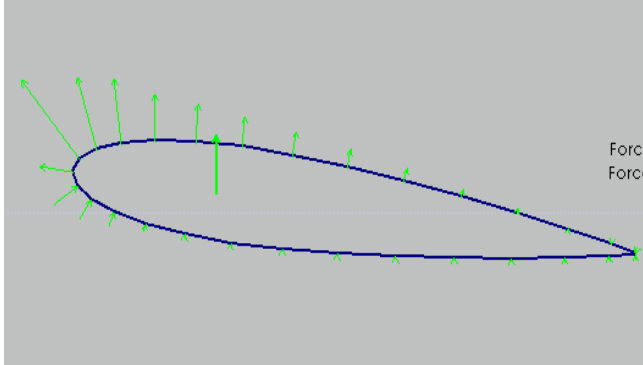
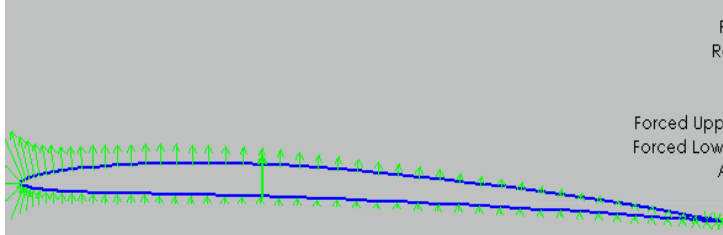
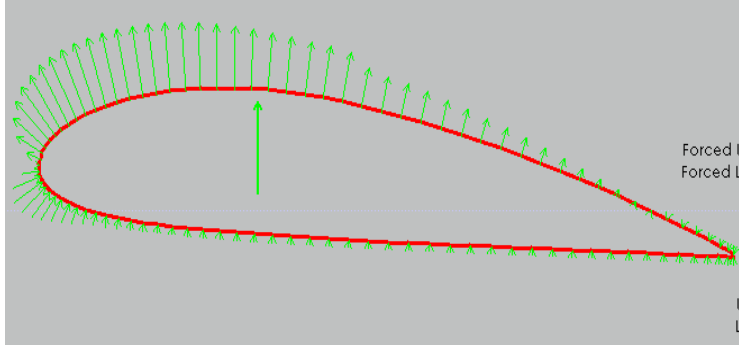
**Gráfica 3.** Frecuencia y Distribución de Weibull con respecto a la Velocidad del viento y al Porcentaje de Frecuencia

**Fuente:** Elaboración de los autores

### Realización de los algoritmos de diseño para la elección del perfil más adecuado para los álabes del aerogenerador de eje horizontal

Se usó el Software gratuito QBlade para evaluar perfiles NACA de manera que se pueda obtener un Coeficiente de Potencia Máxima óptimo para y de igual forma obtener el ángulo de ataque.

**Tabla 14.** Análisis de Perfiles Aerodinámicos utilizando el Software QBlade para la obtención de los Coeficientes de Sustentación y de Arrastre, así como del ángulo de ataque

Perfiles	QBlade
NACA 0015	 <p>                     Polar Type = 1                      Reynolds = 500 000                      Mach = 0.000                      NCrit = 9.000                      Forced Upper Trans. = 1.000                      Forced Lower Trans. = 1.000                      Alpha = 7.40 deg                      Cl = 0.881                      Cm = -0.012                      Cd = 0.014                      L/D = 63.727                      Upper Trans. = 0.079                      Lower Trans. = 0.997                 </p>
NACA 2404	 <p>                     Polar Type = 1                      Reynolds = 500 000                      Mach = 0.000                      NCrit = 5.000                      Forced Upper Trans. = 1.000                      Forced Lower Trans. = 1.000                      Alpha = 2.75 deg                      Cl = 0.513                      Cm = -0.049                      Cd = 0.009                      L/D = 56.718                      Upper Trans. = 0.046                      Lower Trans. = 1.000                 </p>
NACA 4418	 <p>                     Polar Type = 1                      Reynolds = 500 000                      Mach = 0.000                      NCrit = 9.000                      Forced Upper Trans. = 1.000                      Forced Lower Trans. = 1.000                      Alpha = 6.50 deg                      Cl = 1.135                      Cm = -0.088                      Cd = 0.012                      L/D = 93.370                      Upper Trans. = 0.421                      Lower Trans. = 1.000                 </p>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 15.** Datos Recolectados del Software QBlade, evaluando tres perfiles óptimos

Perfiles NACA	Coeficiente de Arrastre ( $C_d$ )	Coeficiente de Sustentación ( $C_l$ )	Ángulo de ataque ( $\alpha$ )	$\frac{C_d}{C_l}$
<b>0015</b>	0.014	0.881	7.4 °	0.016
<b>2404</b>	0.009	0.513	2.75 °	0.018
<b>4418</b>	0.012	1.135	6.5 °	0.011

Fuente: Elaborada por los autores

**Tabla 16.** Valores de diseño de los tres perfiles NACA evaluados

Perfiles	Potencia (P)	Celeridad ( $\lambda_d$ )	Número de Álabes (B)	Coeficiente de Potencia Máxima ( $C_p$ )	Velocidad a altura medida ( $V_6$ )	Altura de la torre (h)
NACA 0015	25.23 kW	6	3	0.49	8 m / s	18 m
NACA 2404	25.23 kW	6	3	0.48	8 m / s	18 m
NACA 4418	25.23 kW	6	3	0.508	8 m / s	18 m

Fuente: Elaborada por los autores

Estos tres perfiles se escogieron debido a que los tres presentaron un óptimo rendimiento aerodinámico ( $C_p$ ) (Ver Anexos 9 al 11).

### Verificación de Celeridad ( $\lambda_d$ ) y el $C_p$

Una vez se encontró el Coeficiente de Potencia Máxima ( $C_p$ ) de los tres perfiles NACA, se procedió a verificar si la celeridad ( $\lambda_d$ ) establecida concuerda con los  $C_p$  encontrados, para esto se usó un Diagrama conocido como el Diagrama del Límite de Betz (Ver Anexo 12).

Para los tres perfiles se estableció un rendimiento de turbina de 52%, y luego de realizar los cálculos de diseño (Ver Anexos 13 al 15), se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 17.** Valores obtenidos de los cálculos de diseño en los tres perfiles aerodinámicos NACA

<b>Perfil Aerodinámico</b>	<b>NACA 0015</b>	<b>NACA 2404</b>	<b>NACA 4418</b>
<b>Rendimiento de la Turbina (<math>\eta_t</math>)</b>	0.52	0.52	0.52
<b>Velocidad de Viento (V)</b>	8.69 m / s	8.69 m / s	8.69 m / s
<b>Radio de Turbina (<math>R_t</math>)</b>	9.04 m	9.10 m	8.88 m
<b>Número de Turbinas (<math>N_t</math>)</b>	5	5	5
<b>Radio para N aerogeneradores (<math>RN_t</math>)</b>	4.04 m	4.07 m	3.97 m
<b>Velocidad de Rotación de la Turbina (<math>\Omega</math>)</b>	154.63 rpm	153.75 rpm	157.44 rpm
<b>Cuerda del álabe (C)</b>	0.76 m	1.31 m	0.58 m
<b>Ángulo del álabe (<math>\beta_r</math>)</b>	19.14°	23.79°	20.04°

Fuente: Elaboración de los autores

En la Tabla 9, apreciamos que de los tres perfiles el que resultó óptimo para la finalidad de este proyecto es el NACA 4418, debido a que la celeridad dio 6 de manera exacta tal y como se había puesto en un inicio, otros parámetros que hacen que sea la mejor opción es la velocidad de rotación de la turbina, ya que es el que arrojó una velocidad de rotación más baja.



Se continuaron con los cálculos, pero esta vez enfocándonos en el perfil seleccionado el NACA 4418, y del resultado se obtuvieron los siguientes datos (Ver Anexo 16):

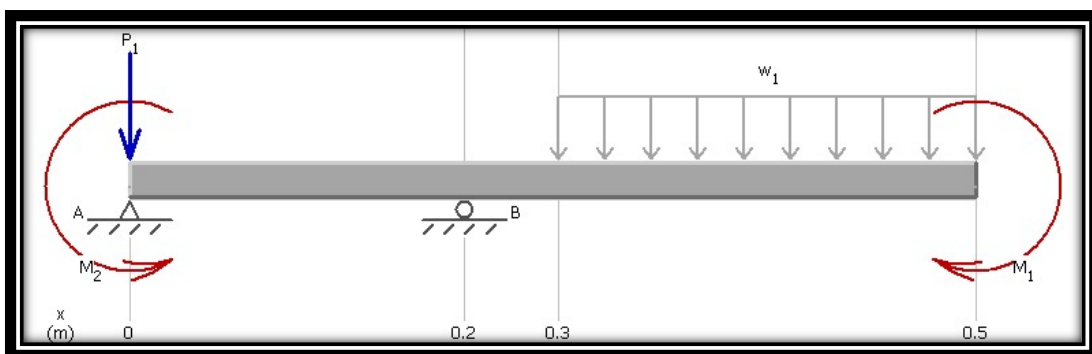
**Tabla 18.** Datos Resultantes de los Cálculos sobre el Perfil Aerodinámico NACA 4418

Perfil Aerodinámico NACA 4418	
Área de Barrido (A)	49.57 m <sup>2</sup>
Potencia de Salida (P <sub>out</sub> )	5.1 kW
Masa del Rotor (m <sub>r</sub> )	106.21 kg
Peso del Rotor (w <sub>r</sub> )	1.042 kN
Torque en el rotor (T <sub>r</sub> )	0.309 kN.m

Fuente: Elaborado por los autores

El único aerogenerador que coincidió con la celeridad establecida en un inicio fue el NACA 4418, por lo tanto, optamos por elegir este perfil aerodinámico.

#### Reacciones usando MDSolids:

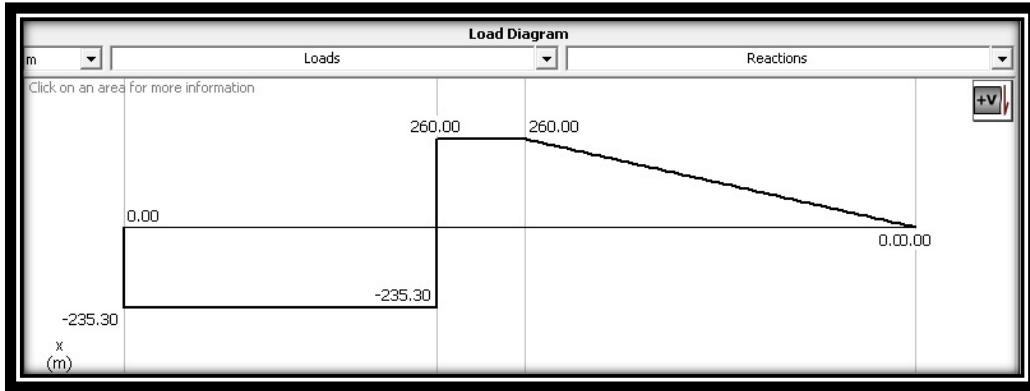


**Figura 17.** Reacciones en los puntos A y B

Fuente: Elaborado por los autores

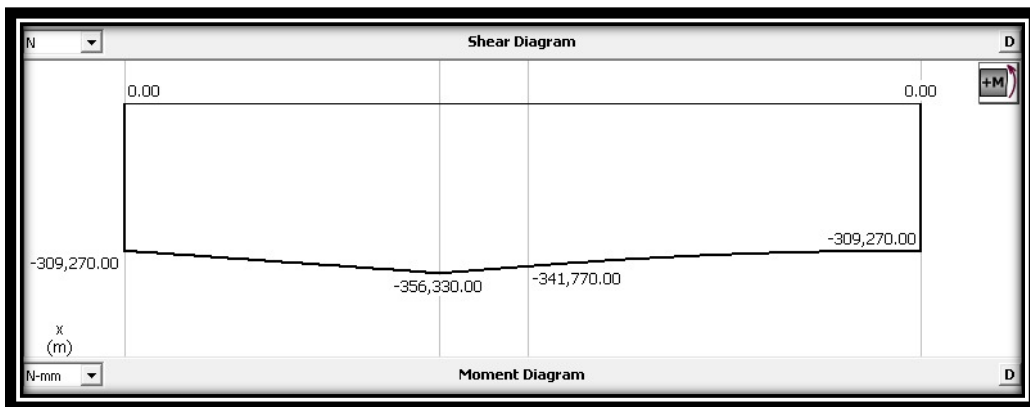
$$A_y = 235.30 \text{ N}$$

$$B_y = 495.30 \text{ N}$$



**Figura 18. Esfuerzos Cortantes**

Fuente: Elaborado por los autores



**Figura 19. Momento Flector**

Fuente: Elaborado por los autores

**Diámetro de Eje: (Acero 4340)**

$$S_e(\text{Resistencia a la fatiga}) = 689\text{MPa}$$

$$S_{ult}(\text{Resistencia última}) = 1227\text{MPa}$$

$$F.S = 2.5$$

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Alarga/ en 2" (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)	Relación de maquinabilidad <sup>1212</sup> EF =100%
	MPa	PSI	MPa	PSI				
Caliente y maquinado	1227	178000	689	100000	10	30	383	50
Templado y revenido	1200	174000	1124	163000	16	48	352	

**Figura 20. Tabla de Propiedades del Acero 4340**

Fuente: Hibbeler 12va edición

Usando los datos obtenidos en la Figura 20 y con ayuda el Software Matlab (Ver Anexo 17), se realizó un GUI para determinar el Diámetro del eje

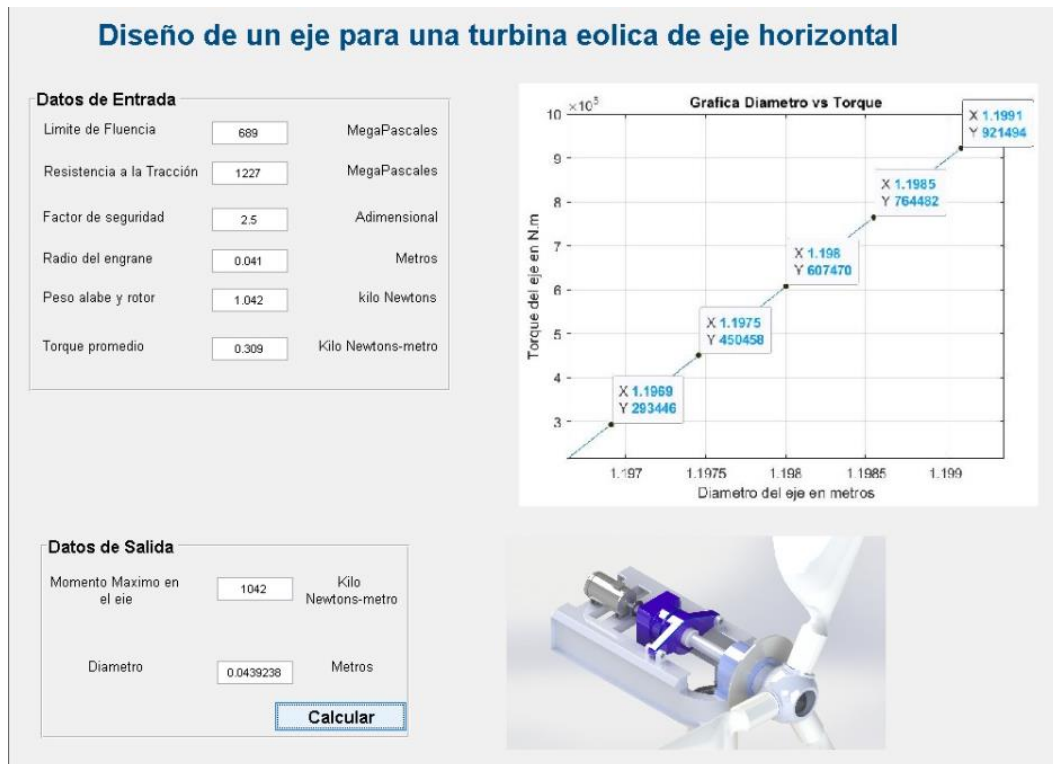


Figura 21. GUI en Matlab, para determinar el diámetro del eje, teniendo en cuenta el torque

Fuente: Elaborado por los autores

## Resultados de Simulación en SolidWorks

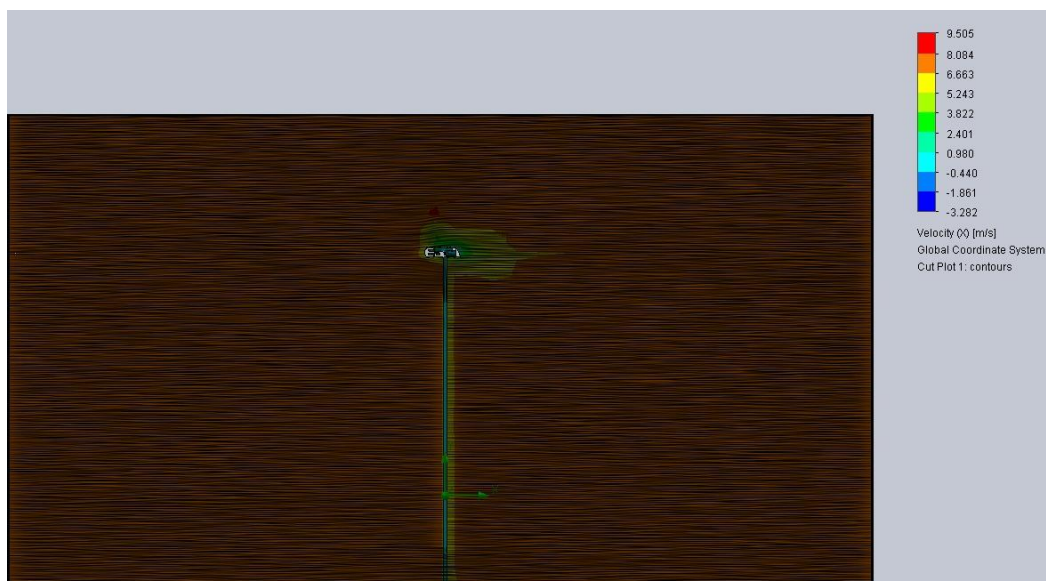
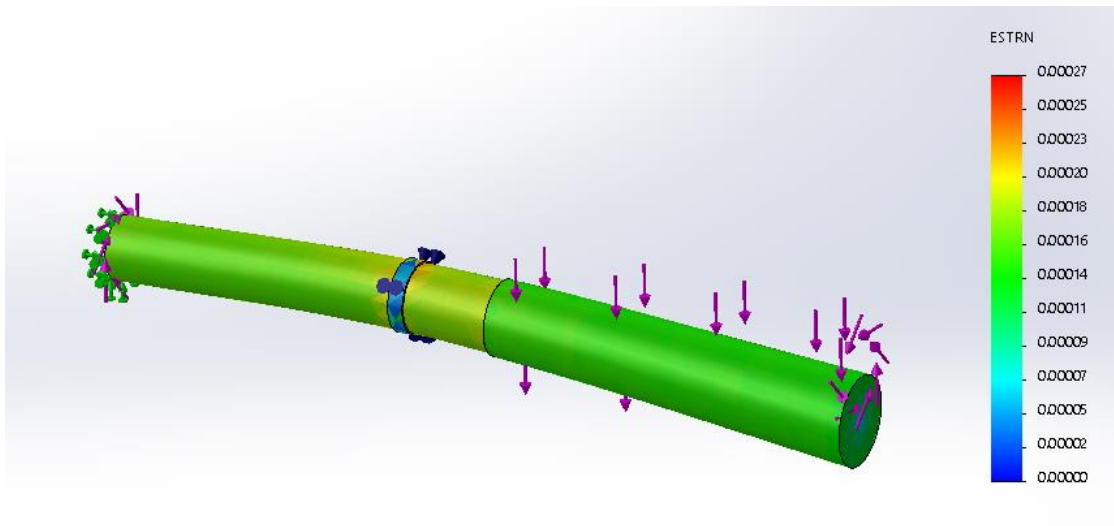


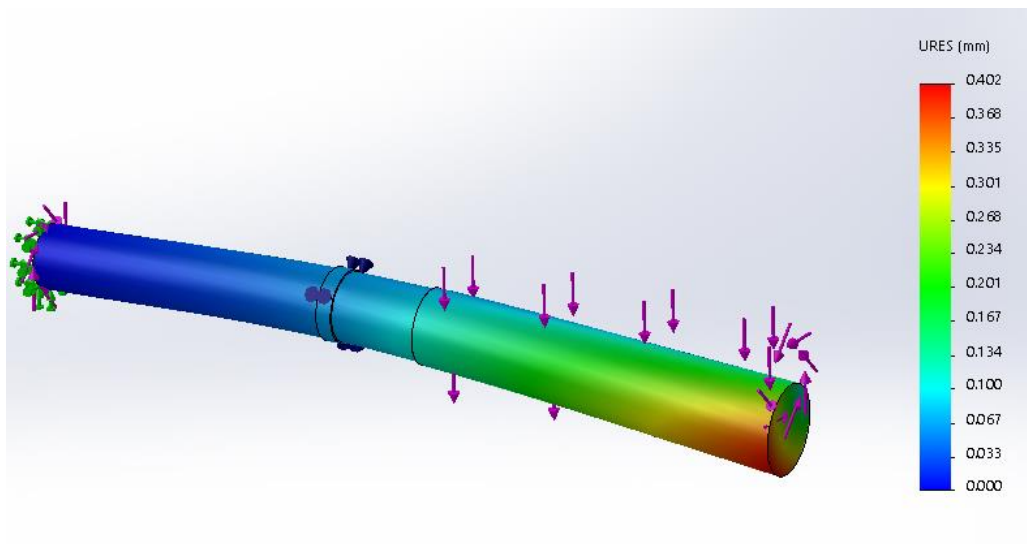
Figura 22. Interacción de la velocidad con respecto al aerogenerador

Fuente: Elaborado por los autores



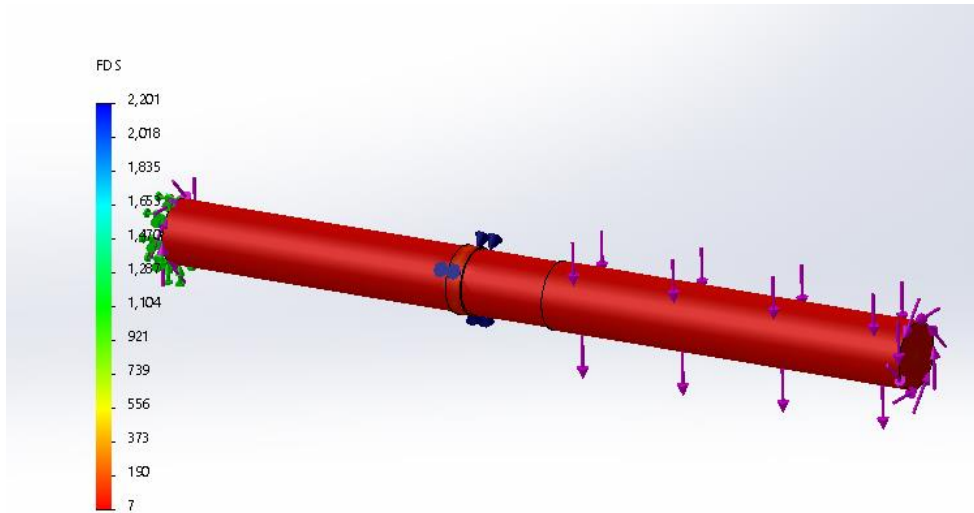
**Figura 23.** Deformación Unitaria del eje

Fuente: Elaborado por los autores



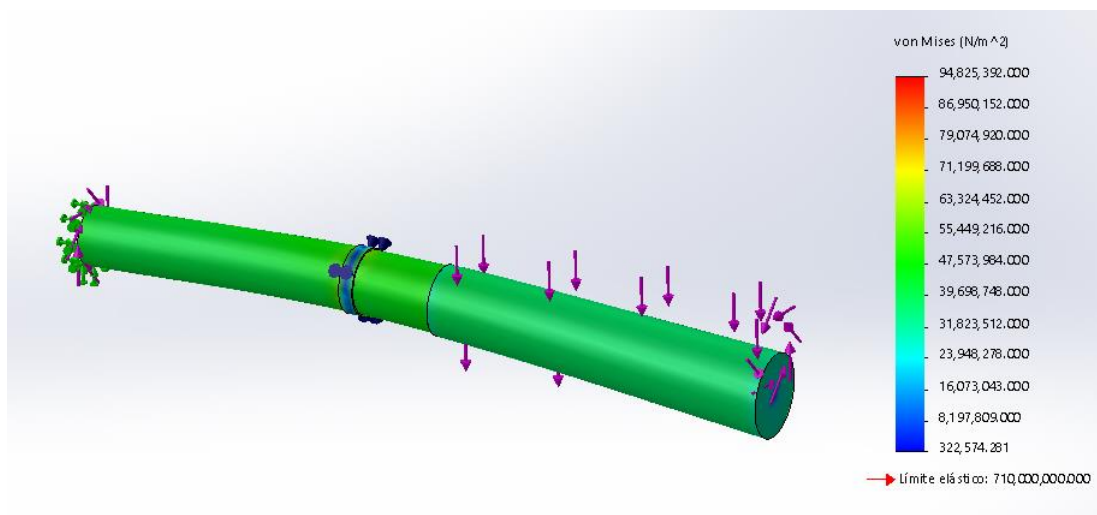
**Figura 24.** Desplazamiento Estático del eje

Fuente: Elaborada por los autores



**Figura 25.** Factor de Seguridad del eje

Fuente: Elaborado por los autores



**Figura 26.** Esfuerzo de Von Mises

Fuente: Elaborado por los autores

## V. DISCUSIÓN

Nuestro objetivo general consiste en diseñar un aerogenerador de tipo de eje horizontal, haciendo posible que la demanda eléctrica del centro poblado tenga cobertura con el diseño proyectado.

Y como objetivos específicos propusimos determinar la demanda de energía eléctrica de todas las viviendas, establecer una recopilación de datos necesarios para el diseño y modelamiento del aerogenerador con el software SolidWorks

Demanda máxima, después de haber evaluado, se determinó que la máxima demanda de energía para la localidad El Tubo es de 20 kW para lo cual contamos con un recurso eólico de velocidad de viento de 8 m/s, encontrada mediante tomas de datos y una distribución de Weibull, resultados que al ser comparados con los fundamentos teóricos de los proyectos de energía eólica están dentro de los rangos permitidos de mayores de 4 y menores de 10 m/s para mini-eólicas, además, teniendo como referencia al estudio Ramos Correa (2018), que en su estudio realizado en la hacienda el triunfo en La Libertad y buscando el aprovechamiento de la velocidad del viento trabajó con velocidades de 5 y 6 m/s el cual fue viable, y siendo la velocidad en nuestro proyecto de 8 m/s podemos concluir que estamos dentro de los rangos que señala la teoría y además avalados por el antecedente del investigador Ramos Correa.

El análisis del viento que se realizó en la zona rural fue muy importante para realizar este estudio, Villarrubia (2013), menciona que si se quiere determinar velocidades de viento óptimas se debe de hacer a una altura determinada del suelo con el fin de que el flujo del aire no este perturbado por el efecto del terreno, el autor recomienda que sea a 10 metros de altura y que no existan obstáculos en las cercanías. Basándonos en esta teoría se realizó un seguimiento a las velocidades del viento en una localidad rural, de manera presencial a una altura determinada de 10 metros, encontrando que la velocidad promedio fue de 8 m/s tal y como se muestra en la Tabla 13.

En el trabajo que se realizó por parte Otoleas Juan (2017) en la ciudad de Morrope, se realizó un método de recolección de datos similar al que se realizó en este

proyecto, puesto que, se utilizó un anemómetro digital para obtener los datos del viento por intervalos de tiempo, además, que se midió a alturas distintas. En el presente trabajo se optó por usar una sola altura, debido a que queríamos valores que vayan acorde a una en específico, sin embargo, se podría concluir que, para ambos casos, el tipo de medición resulto beneficiosa porque en ambos casos, se logró determinar la máxima demanda requerida, para Otoleas (2017) fue de 10,33 kW, y el uso un grupo electrógeno y un aerogenerador para suplir dicha necesidad, sumando entre ambos una potencia de 13 kW. Y teniendo como referencia el trabajo que realizó Otoleas (2017), podemos darnos cuenta de que este proyecto está por encima de los parámetros hallados por sus mediciones, pero con una potencia final muy similar.

Respecto a la potencia de salida generada, según el investigador Yglesias Deza (2015), nos dice en su trabajo realizado en el centro poblado Playa Blanca – Sechura en Piura, instaló tres aerogeneradores con una potencia unitaria de 5 kW, haciendo un total de 15 kW, teniendo en cuenta esto podemos inferir que haber elegido un total de 5 aerogeneradores de 5.1 kW de potencia unitaria, se encuentra avalado por una investigación en una zona similar como lo es la costera, realizada por el investigador Yglesias Deza.

Dimensionamiento de rotor, a través del algoritmo de diseño usado para álabes se halló que el radio del rotor fue de 3.97 metros, por lo tanto, nuestro diámetro es de 7.94 metros y, considerando los resultados de los investigadores Céspedes Coylo & Vásquez Mondragón (2019), que obtuvieron en su trabajo para el departamento de Ancash, en la localidad de Quinoa Bamba – Pomabamba, acerca del diseño de un aerogenerador de eje horizontal de 10 kW que tuvo un diámetro de entre 6 y 6.5 metros, podemos inferir que nuestro diseño está comprendido dentro de los rangos que dicta la teoría de cálculo y también está cerca a los parámetros de los investigadores Céspedes & Vásquez.

## VI. CONCLUSIONES

Se determinó la demanda total de la energía eléctrica de la localidad El Tubo con una proyección de 20 años, considerando las cargas de las viviendas, las cargas especiales y también las cargas de alumbrado público, y se obtuvo una demanda máxima total de 25.21 kW, considerando las pérdidas del 3%.

Se realizó un estudio de viento en la localidad El Tubo con la ayuda de un anemómetro en diferentes puntos, para poder ubicar los aerogeneradores de manera óptima conforme a la dirección del viento. Se obtuvo que la velocidad promedio del viento fue de 8 m/s, dato con el cual se procedió a realizar los cálculos de diseño.

Se realizó un modelo estadístico conocido como Distribución de Weibull para poder verificar la velocidad hallada con los datos obtenidos con el anemómetro, esta distribución arrojó que las velocidades más frecuentes eran las de 6, 7 y 8 m/s, de tal manera que se optó por elegir la que más eventos presentó, siendo esta la de 8 m/s.

Con la ayuda de un estudio de tres tipos de álabes para seleccionar el perfil más adecuado, con lo cual se concluyó que el perfil NACA 4418 fue el que más se acomodaba a lo esperado en este trabajo, debido al Coeficiente de potencia máxima que tenía, el cual por teoría nos indica que el aprovechamiento del potencial eólico de la localidad El Tubo será mucho mejor que el de los demás perfiles.



## **VII. RECOMENDACIONES**

Con respecto al cálculo de la demanda eléctrica, se recomienda hacer un escaneo al detalle del tiempo de uso en los artefactos eléctricos por vivienda en la localidad, con la finalidad de no sobredimensionar el aerogenerador

Se recomienda realizar un estudio de suelo para la zona de instalación de los aerogeneradores, de tal manera que exista una construcción óptima de la base y no surjan desperfectos y/o complicaciones en un futuro.

Para proyectos similares futuros, se recomienda la instalación de un sistema de dirección automatizada y utilizar más softwares computacionales para poder hacer un buen escaneo y simulación del entorno que complemente a la simulación del aerogenerador en sí.

## REFERENCIAS

- (2012). Obtenido de CE Ponce de León de Madrid:  
[http://www.ponceleon.org/revista01/index.php?option=com\\_content&view=article&id=139:iporque-hay-olas-en-el-mar&catid=82:el-porque-de-las-cosas&Itemid=65](http://www.ponceleon.org/revista01/index.php?option=com_content&view=article&id=139:iporque-hay-olas-en-el-mar&catid=82:el-porque-de-las-cosas&Itemid=65)
- Álvarez Marivela, N. (2009). *uc3m*. Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid BIBLIOTECA: <http://hdl.handle.net/10016/8247>
- Bojorquez Chavez, M. (29 de Noviembre de 2018). *PUCP*. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13054>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Céspedes Coyllo, R. H., & Vásquez Mondragón, F. (diciembre de 2019). *Repositorio Institucional de la UTP*. Obtenido de [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/4857/R.Cespedes\\_F.Vasquez\\_Trabajo\\_de\\_Investigacion\\_Bachiller\\_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/4857/R.Cespedes_F.Vasquez_Trabajo_de_Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Chavesta Rivera, P. A. (2021). *Repositorio de la Universidad César Vallejo*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87739>
- El Peruano. (5 de febrero de 2009). *Plataforma única digital del Estado Peruano*. Obtenido de [https://minem.gob.pe/archivos/legislacion-xz70z71z350w0-R\\_M\\_074-2009.pdf](https://minem.gob.pe/archivos/legislacion-xz70z71z350w0-R_M_074-2009.pdf)
- Estefanero Usnayo, C. E., & Umpiri Checalla, S. B. (28 de diciembre de 2018). *Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Altiplano*. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10597>
- Fariza, I. (25 de Marzo de 2021). *EL PAÍS*. Obtenido de <https://elpais.com/economia/2021-03-25/la-energia-eolica-esquiva-la-crisis-y-cierra-un-2020-record-en-todo-el-mundo.html>
- Fernández Díez, P. (s.f.). *Energía Eólica*. España: Universidad de Cantabria.
- Gabriel Camargo, F. (2021). *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532021000400050&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532021000400050&lang=es)

- García, M. C. (2017). *Diseño electromagnético de un generador eléctrico para turbina eólica de 100kW*. Recuperado el 21 de 6 de 2022, de <http://oa.upm.es/49261>
- Gimenez Alvarez, J. M., Schweickardt, G., & Gómez Targarona, J. C. (2012). *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532012000200012&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532012000200012&lang=es)
- Hernández Arroyo, E., Córdova Tuta, E., & García Sánchez, G. (2019). *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-36672018000200065&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-36672018000200065&lang=es)
- Hérrnandez Escobedo, Q., Espinosa Arenal, F., Saldaña Flores, R., & Rivera Blanco, C. (2012). *Scientific Electronic Library Online*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532012000100027&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532012000100027&lang=es)
- Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería Mecánica - Estática*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (s.f.).
- Minga Peralta, J. M., Ramos Curo, L. E., & Talledon Girón, J. I. (2020). *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Piura*. Obtenido de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2454/IMEC-MIN-RAM-TAL-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Electricidad. (30 de mayo de 2002). *Ley de Electrificación Rural y de Localidades Aisladas y de Frontera*. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/legislacion/002su bsectorelectricidad/Ley%2027744.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Electricidad. (diciembre de 2003). *Plataforma digital única del Estado Peruano*. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/electricidad/legislacion/rd031-2003-EM-DGE.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2006 - 2008). *Manual de Sustentación del Código Nacional de Electricidad Utilización 2006*. Lima.

- Narvaéz Hidalgo, J. A., & Vinueza Lozada, A. F. (2018). *Scientific Electronic Library Online*. Obtenido de Scielo:  
[http://scielo.senescyt.gov.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422018000300106&lang=es](http://scielo.senescyt.gov.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000300106&lang=es)
- Osinermin. (2011). *Fundamentos Técnicos y Económicos del Sector Eléctrico Peruano*. Lima: Grapex Perú S.R.L.
- Otoleas Agurto, J. A. (2016). *Repositorio de la Universidad César Vallejo*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/8923>
- PADDLE SURF WEB. (2021). Obtenido de <https://paddlesurfweb.com/sitios/chicama/>
- Ramos Correa, J. L. (2018). *Repositorio de la Universidad César Vallejo*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/30098>
- Spiegeler, C., & Cifuentes, J. I. (2016). *Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/>
- twenergy. (3 de Septiembre de 2019). Obtenido de <https://twenergy.com/energia/energia-eolica/energia-eolica-casera/>
- Velarde Becerra, W. F. (2017). *Repositorio de la Universidad César Vallejo*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/17298>
- Villarrubia López, M. (2013). *Ingeniería de la Energía Eólica - Nuevas Energías*. Alfaomega Grupo Editor.
- Yglesias Deza, Y. M. (2015). *Repositorio de la Universidad César Vallejo*. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/9709/yglesias\\_dy.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/9709/yglesias_dy.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

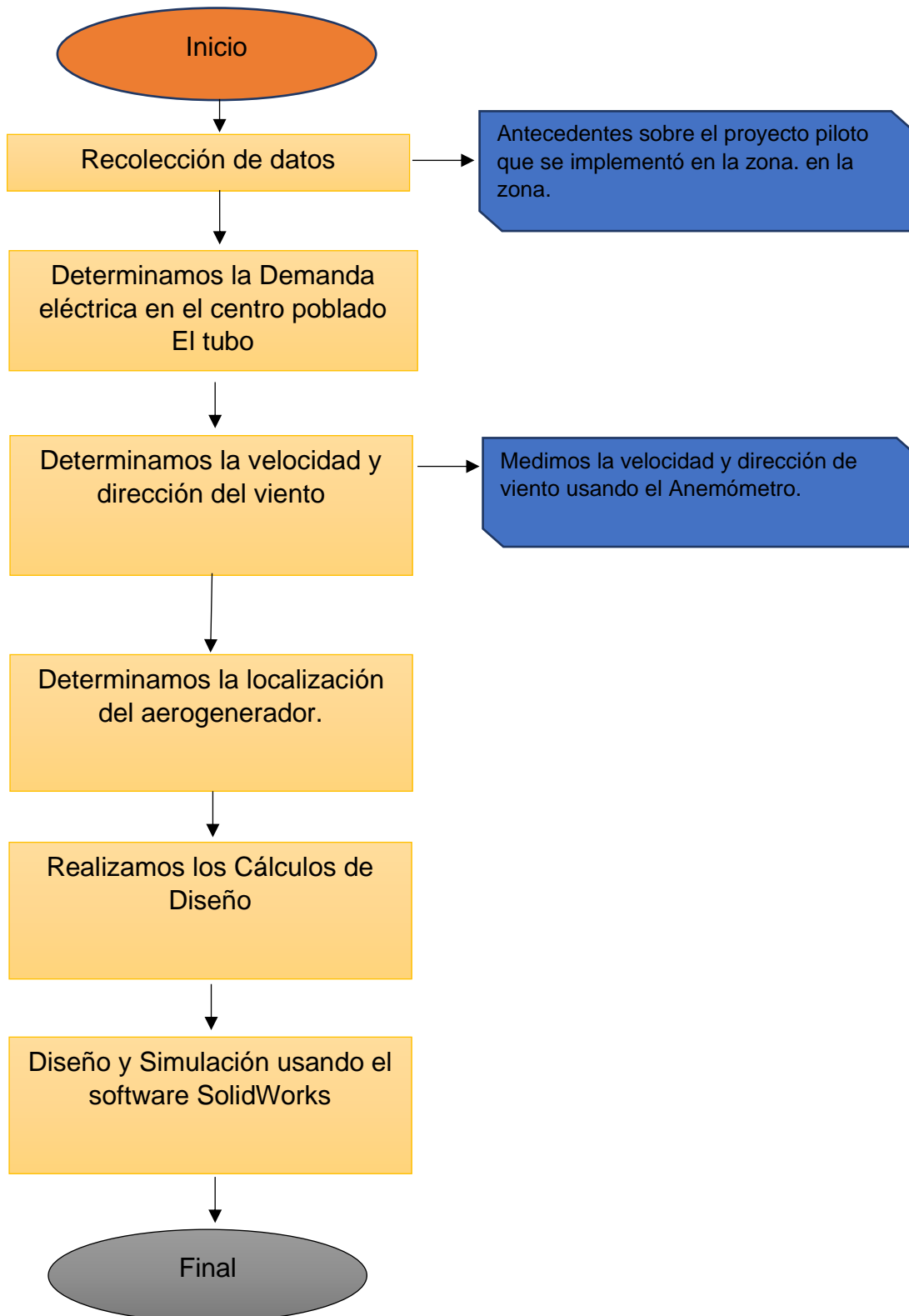
# **ANEXOS**

## Anexo 1: Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición
<p><b>Dependiente:</b></p> <p>Diseño de Aerogenerador</p>	<p>Una turbina eólica es un dispositivo que utiliza palas giratorias para generar energía eléctrica a partir de energía eólica.</p>	<p>Se utilizará el software SolidWorks implementando una simulación para intentar predecir un funcionamiento a escala real.</p>	<p>Radio de la turbina</p> <p>Dimensiones de las palas</p>	<p>Razón</p>
<p><b>Independiente:</b></p> <p>Potencial Eléctrico y</p> <p>Potencial Eólico</p>	<p>El potencial eléctrico hace referencia principalmente a los conjuntos necesarios para una buena distribución del suministro de energía eléctrica y el Potencial Eólico esta referido a las zonas preferentes que serían de interés para la instalación de aerogeneradores o parques eólicos</p>	<p>Se considera a la demanda eléctrica como el principal componente, además de una zona favorable para un máximo beneficio del potencial del viento en la zona.</p>	<p>Demanda Eléctrica</p> <p>Velocidad del Viento</p>	<p>Razón</p>

Fuente: Elaborada por los autores

## Anexo 2: Procedimiento



### Anexo 3: Ubicación de la Localidad El Tubo





#### Anexo 4: Crecimiento de la Población Según INEI

Año	Número de Habitantes	r = Tasa de crecimiento anual (%)
2020	32,625,948	1.54
2021	33,035,304	1.25
2022	33,396,698	1.09
2023	33,725,844	0.99
2024	34,038,457	0.93
2025	34,350,244	0.92
2026	34,660,114	0.90
2027	34,957,600	0.86
2028	35,244,330	0.82
2029	35,521,943	0.79
2030	35,792,079	0.76
2031	36,054,888	0.73
2032	36,309,290	0.73
2033	36,555,034	0.68
2034	36,791,909	0.65
2035	37,019,661	0.62
2036	37,238,190	0.59
2037	37,447,651	0.56
2038	37,648,215	0.54
2039	37,840,036	0.51
2040	38,023,290	0.51
	PROMEDIO	0.81

## Anexo 5: Certificación Anemómetro MS6252B

A32, 3rd Floor, Building A, Quanzhou  
Shenzhen Science and Technology In-  
novation Park, 1313 Renzhou Avenue,  
Shatian Town, Dongguan City, Guang-  
dong Province, China  
www.cty-lab.com/

  
RBT-LAB

### CERTIFICATE OF CONFORMITY

No.: RBT191220008EC-RF01

**Applicant** : Dongguan Xintai Instrument Co.,Ltd  
**Address** : Building F, NO. 13-16, Hongye Industrial Zone, Tangxia  
Community, Tangxia Town, Dongguan City, Guangdong  
Province, China  
**Manufacturer** : Dongguan Xintai Instrument Co.,Ltd  
**Address** : Building F, NO. 13-16, Hongye Industrial Zone, Tangxia  
Community, Tangxia Town, Dongguan City, Guangdong  
Province, China  
**Brand** : HTI  
**Product** : Thermal imaging camera  
**Model Name** : HT-A8, HT-H8, HT-A9

The submitted sample of the above equipment has been tested and found to comply with the following European Directive:

**Radio Equipment Directive 2014/53/EU**

The standard(s) used for showing compliance with the essential requirements in the specified directive(s):

Applicable Standard(s)	Test Report(s) Number
ETSI EN 300 328 V2.1.1(2016-11)	RBT191220008ER-EM01
Draft ETSI EN 301 489-1 V2.2.0(2017-03)	RBT191220008ER-EM02
Draft ETSI EN 301 489-17 V3.2.0(2017-03)	
EN 62311:2008	RBT191220008ER-EM03

This certificate is part of the full test report(s) and should be read in conjunction with it. This certificate is based on an evaluation of one sample of above mentioned product. It does not imply assessment of the production of the product. Without the written approval of Dongguan Rongbiao Testing Technology Co., Ltd. this certificate is not permitted to be reproduced, except in full. It is not permitted to use the test lab's logo. The CE marking may only be used if all the relevant and effective European Directives are applicable.



  
Chris Yu  
Manager

Date: December 20, 2019



## MS6252A/B Digital Anemometer with Temperature & Humidity Tester

Large display of Airflow or Air Velocity plus model with built-in Ambient Temperature & Humidity Tester

### CE EMC RoHS

#### Features:

Model MS6252A – Anemometer with Bar Graph

Model MS6252B – anemometer with Ambient Temperature & Humidity Tester and USB Interface

Simultaneous display of Ambient Temperature/Humidity and Air Flow or Air Velocity

Easy to set Area from 0.001m<sup>2</sup> to 9.999m<sup>2</sup> / (0.001ft<sup>2</sup> to 9.999ft<sup>2</sup>)

Large LCD and Bright Display Back Light

Data Hold and MAX/MIN

Auto Power Off

Complete with 9V 6F22 battery and carrying case

#### Applications:

HVAC installation, repair, diagnostics, and optimization

Ventilation system installation, servicing, and analysis

Environmental wind and temperature testing / analysis

Boiler rooms

Automobile aerodynamic testing

Plant / Facilities Maintenance

### Specification

Air Velocity	Range	Accuracy	MS6252A	MS6252B
m/s(meter per second)	0.80~30.0	±3%	√	√
ft/m(feet per minute)	80~5900	±3%	√	√
km/h(kilometer per hour)	1.4~108.0	±3%	√	√
mile/h(mile per hour)	0.9~67.0	±3%	√	√
Knots(nautical miles per hour)	0.8~58.0	±3%	√	√
Air Temperature	-20 to 60 °C (-4 to 140 °F)	±1 °C (±2.0 °F)		√
Air Relative Humidity	0 to 100% RH	±3%		√
Air Flow	Range	Area		
CFM	0 to 99990	0 to 9.999ft <sup>2</sup>	√	√
CMM	0 to 99990	0 to 9.999 m <sup>2</sup>	√	√
CMS	0 to 9999	0 to 9.999 m <sup>2</sup>	√	√
Flow area setting			√	√
MAX/MIN function			√	√
Display Backlight			√	√
Auto power off			√	√
°C / °F Selection				√
Ambient , Dew point & Wet bulb Temperature selection				√
Low battery Display			√	√
USB Interface (Windows OS)				√
General				
Power Supply			1×9V 6F22	1×9V 6F22
Product Size			165mm×85mm×38mm/ 6.5"×3.3"×1.5"	165mm×85mm×38mm/ 6.5"×3.3"×1.5"
Product Weight			200g/0.4lb	200g/0.4lb
Certificate			CE	CE

## Anexo 6: Lugares Medidos

**Fecha:** 10 de diciembre 2021

**Coordenadas:** -7.706716, -79.445586



**Fuente:** Foto tomada por los autores



**Fuente:** Google Maps



Fecha: 28 de abril 2022

Coordenadas: -7.709647, -79.431499



Fuente: Google Maps

**Fecha:** 21 y 22 de mayo 2022

**Coordenadas:** -7.710241, -79.432292



**Fuente:** Google Maps

## Anexo 7: Ubicación de los aerogeneradores y el Patio de Llaves Localidad El Tubo



Fuente: Google Maps

Leyenda	
Localización de los Aerogeneradores	Localización del Patio de Llaves
-7.710241, -79.432292	-7.711295, -79.431691

Fuente: Elaborado por los autores

## Anexo 8: Tabla de Frecuencia y Velocidad

<b>Velocidad (m / s)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje de Frecuencia</b>
0	0	0 %
1	0	0 %
2	0	0 %
3	0	0 %
4	0	0 %
5	9	2 %
6	76	17 %
7	118	26 %
8	81	18 %
9	59	13 %
10	100	22 %
11	4	1 %

Fuente: Elaborada por los autores



## Anexo 9: Evaluación del Coeficiente de Potencia Máxima NACA 0015

El perfil NACA 0015 poseía un  $C_l = 0.881$ ,  $C_d = 0.014$  y un ángulo de ataque de  $7.40^\circ$ , con estos valores ya establecidos se procede a dividir el  $C_l$  entre el  $C_l$ .

$$C_l = 0.881 \quad C_d = 0.014 \quad \alpha = 7.40^\circ$$

$$\frac{C_D}{C_L} = 0.016$$

Se puede obtener el Coeficiente de Potencia Máximo, con el Valor del  $C_d/C_l$  y el empleo de la (Ec. 6):

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{B} \right) \left( \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_d}{C_l} \cdot \lambda_d \right) \right]$$

Notamos que para poder emplear esta fórmula necesitamos encontrar el ángulo de flujo ( $\varphi$ ) y para eso empleamos la (Ec. 7):

$$\varphi = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_d} \right)$$

Reemplazamos el valor de la celeridad  $\lambda_d$  por el escogido antes: 6

$$\varphi = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{6} \right)$$

$$\varphi = 6.31^\circ$$

Realizamos conversión de este valor a Radianes

$$\rightarrow \varphi = 6.31^\circ * \frac{\pi \text{Rad}}{180^\circ} = 0.11 \text{ Radianes}$$

- ❖ Con el valor del ángulo de flujo y reemplazando la celeridad ( $\lambda_d$ ) ya podemos emplear la fórmula para el Coeficiente de Potencia Máxima ( $C_p$ ):

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{B} \right) \left( \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_d}{C_l} * \lambda_d \right) \right]$$

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{3} \right) \left( \sin \frac{0.11}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \cdot 6^{(-1.29)}} - 0.016 * 6 \right) \right]$$

$$(C_p)_{\text{máx}} = 0.490 \frac{KJ}{KgK}$$

## Anexo 10: Evaluación de Coeficiente de Potencia Máxima NACA 2404

El perfil NACA 2404 poseía un  $C_l = 0.513$ ,  $C_d = 0.009$  y un ángulo de ataque de  $2.75^\circ$ , con estos valores ya establecidos se procede a dividir el  $C_l$  entre el  $C_l$ .

$$C_l = 0.513 \quad C_d = 0.009 \quad \alpha = 2.75^\circ$$

$$\frac{C_D}{C_L} = 0.018$$

Se puede obtener el Coeficiente de Potencia Máximo, con el Valor del  $C_d/C_l$  y el empleo de la (Ec. 6):

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{B} \right) \left( \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_d}{C_l} \cdot \lambda_d \right) \right]$$

Notamos que para poder emplear esta fórmula necesitamos encontrar el ángulo de flujo ( $\varphi$ ) y para eso empleamos la (Ec. 7):

$$\varphi = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_d} \right)$$

Reemplazamos el valor de la celeridad  $\lambda_d$  por el escogido antes: 6

$$\varphi = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{6} \right)$$

$$\varphi = 6.31^\circ$$

Realizamos conversión de este valor a Radianes

$$\rightarrow \varphi = 6.31^\circ * \frac{\pi \text{Rad}}{180^\circ} = 0.11 \text{ Radianes}$$

- ❖ Con el valor del ángulo de flujo y reemplazando la celeridad ( $\lambda_d$ ) ya podemos emplear la (Ec. 6):

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{B} \right) \left( \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_d}{C_l} * \lambda_d \right) \right]$$

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{3} \right) \left( \sin \frac{0.11}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \cdot 6^{(-1.29)}} - 0.018 * 6 \right) \right]$$

$$(C_p)_{\text{máx}} = 0.480 \frac{KJ}{KgK}$$

## Anexo 11: Coeficiente de Potencia Máxima para el NACA 4418

El perfil NACA 0015 poseía un  $C_l = 0.881$ ,  $C_d = 0.014$  y un ángulo de ataque de  $7.40^\circ$ , con estos valores ya establecidos se procede a dividir el  $C_l$  entre el  $C_l$ .

$$C_l = 1.135 \quad C_d = 0.012 \quad \alpha = 6.50^\circ$$

$$\frac{C_D}{C_L} = 0.011$$

Se puede obtener el Coeficiente de Potencia Máximo, con el Valor del  $C_d/C_l$  y el empleo de la (Ec. 6):

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{B} \right) \left( \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_d}{C_l} \cdot \lambda_d \right) \right]$$

Notamos que para poder emplear esta fórmula necesitamos encontrar el ángulo de flujo ( $\varphi$ ) y para eso empleamos la (Ec. 7):

$$\varphi = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_d} \right)$$

Reemplazamos el valor de la celeridad  $\lambda_d$  por el escogido antes: 6

$$\varphi = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{6} \right)$$

$$\varphi = 6.31^\circ$$

Realizamos conversión de este valor a Radianes

$$\rightarrow \varphi = 6.31^\circ * \frac{\pi \text{Rad}}{180^\circ} = 0.11 \text{ Radianes}$$

- ❖ Con el valor del ángulo de flujo y reemplazando la celeridad ( $\lambda_d$ ) ya podemos emplear la fórmula para el Coeficiente de Potencia Máxima ( $C_p$ ):

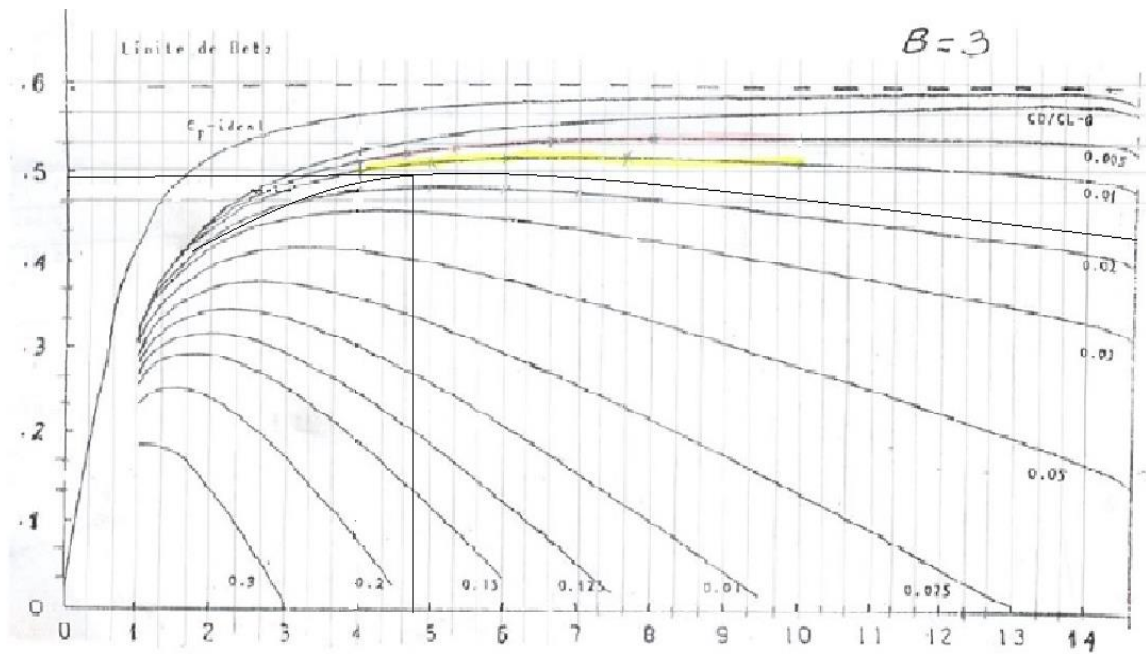
$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{B} \right) \left( \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \lambda_d^{(-1.29)}} - \frac{C_d}{C_l} * \lambda_d \right) \right]$$

$$(C_p)_{\text{máx}} = \left[ 1 - \left( \frac{1.386}{3} \right) \left( \sin \frac{0.11}{2} \right) \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{16}{27} \right) \left( e^{-0.35 \cdot 6^{(-1.29)}} - 0.011 * 6 \right) \right]$$

$$(C_p)_{\text{máx}} = 0.508 \frac{KJ}{KgK}$$

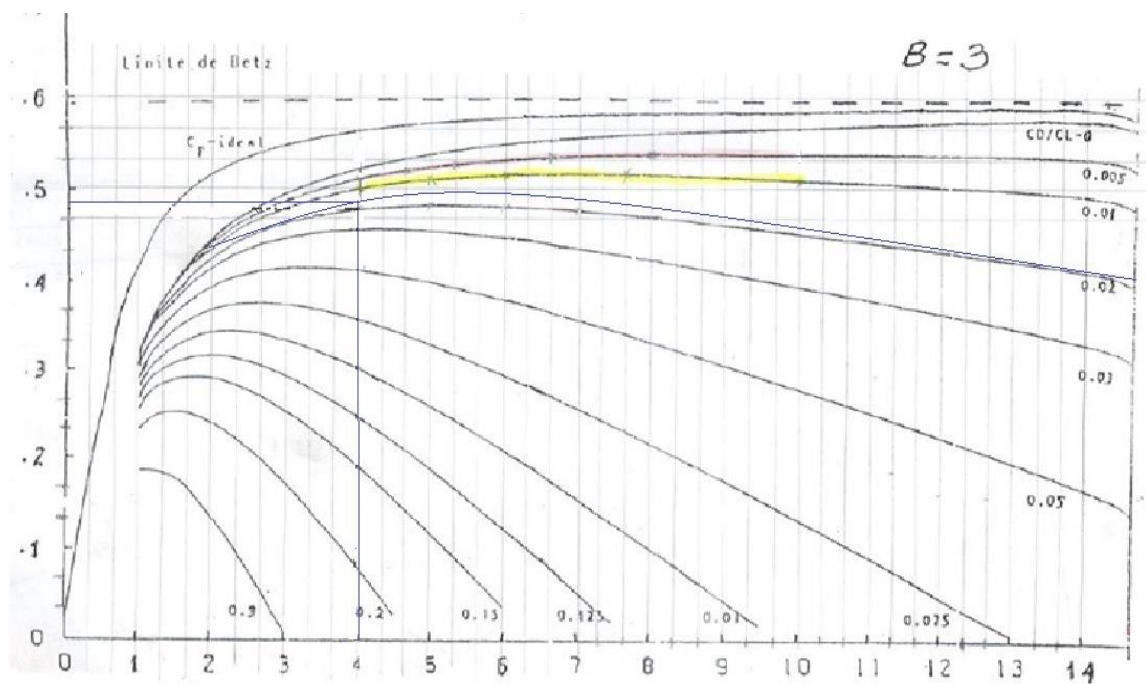
## Anexo 12: Verificación de Celeridad en los perfiles NACA 0015, 2404 y 4418

### NACA 0015



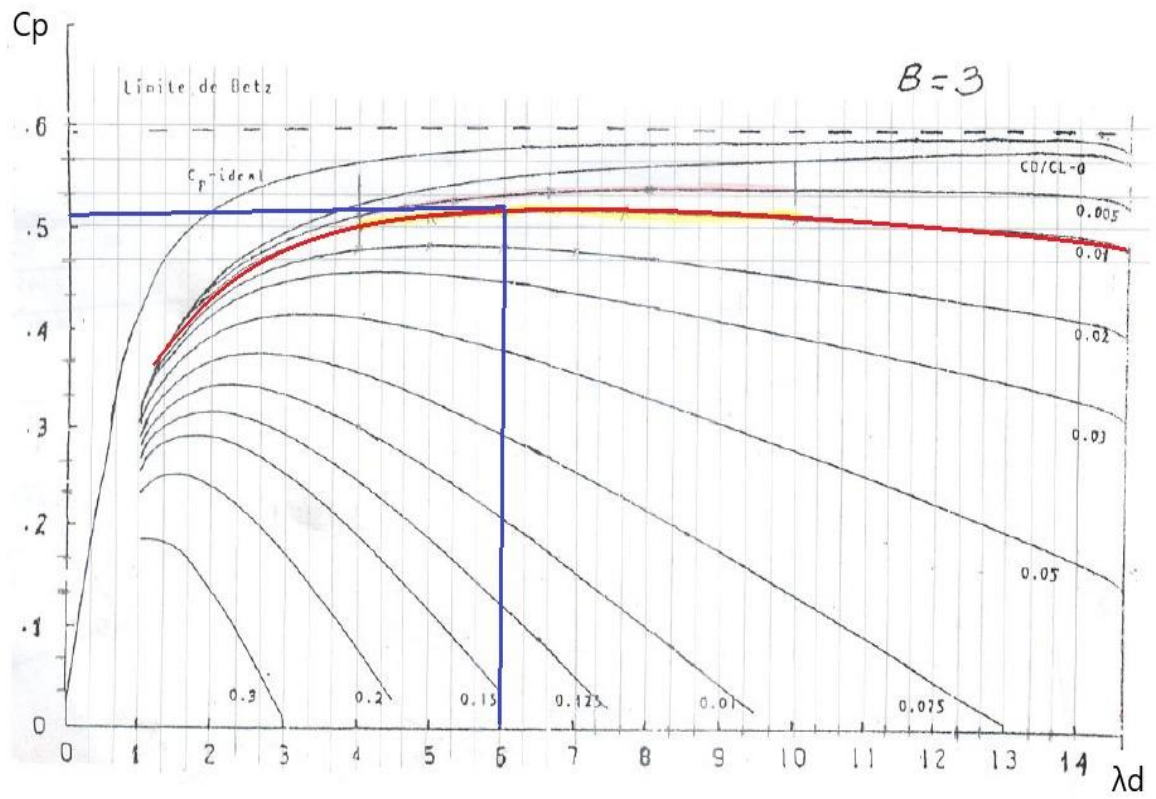
Fuente: Elaborada por los autores

### NACA 2404



Fuente: Elaborada por los autores

# NACA 4418



Fuente: Elaborada por los autores

### Anexo 13: Cálculos de Diseño del perfil NACA 0015

De la Tabla 1. Se obtuvo el valor del Exponente de Hellmann basado en el tipo de rugosidad del terreno en donde se instalará los aerogeneradores. Para este trabajo el valor de Hellmann fue de 0.14, se reemplazó en la (Ec. 2):

$$V = V_h \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha$$

$$V = 8 \left( \frac{h}{10} \right)^{0.14}$$

$$V = 8.69 \text{ m/s}$$

#### Cálculo del radio de la turbina $R_t$

$$R_t = \left[ \frac{2 * P}{\eta_t * C_p * \rho * \pi * V^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Reemplazamos los valores de potencia, rendimiento,  $C_p$ , densidad, y la velocidad referencial para poder realizar la fórmula para el radio de la turbina.

$$R_t = \left[ \frac{2 * 25830}{0.52 * 0.508 * 1.204 * \pi * 8.69^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_t = 9.04 \text{ m}$$

Debido a que el valor del radio de la turbina salió muy elevado, se decidió añadir más aerogeneradores para poder reducir el tamaño del radio del aerogenerador y que los parámetros se ajusten de una mejor manera.

Se decidió añadir una turbina más para que en total sean dos turbinas, entonces se divide la potencia total entre el número total de aerogeneradores a usar y se obtuvo el nuevo radio.

$$R_{nt} = \left[ \frac{2 * \frac{25830}{5}}{0.52 * 0.490 * 1.204 * \pi * 8.69^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{nt} = 4.04 \text{ m}$$

### Longitud de la Pala ( $L_p$ )

$$L_p = R_{nt} - R_d$$

$$L_p = 4.04 \text{ m} - 0.25 \text{ m}$$

$$L_p = 3.79 \text{ m}$$

Para poder obtener las cuerdas y el ángulo de los álabes, se tiene que dividir al radio de los aerogeneradores en partes iguales, por fórmula se divide entre cinco.

$$r = \frac{1}{5} * 3.79 \text{ m}$$

$$r = 0.76 \text{ m}$$

### Hallamos la celeridad en los álabes ( $\lambda_r$ )

$$\lambda_r = \lambda_d \left( \frac{r}{R_{nt}} \right)$$

$$\lambda_r = 6 \left( \frac{0.76 \text{ m}}{4.04 \text{ m}} \right)$$

$$\lambda_r = 1.20$$

### Hallamos el ángulo de los álabes

El ángulo de flujo en los álabes estuvo dado por:

$$\varphi_r = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \right)$$

$$\varphi_r = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{1.20} \right)$$

$$\varphi_r = 26.54^\circ$$

Convirtiendo a Radianes

$$\rightarrow \varphi_r = 26.54^\circ * \frac{\pi \text{ Rad}}{180^\circ} = 0.463 \text{ Radianes}$$

### Cálculo de las cuerdas y ángulo del álabe

$$C = \left( \frac{8 * \pi * r}{B * C_l} \right) (1 - \cos \varphi_r)$$

$$C = \left( \frac{8 * \pi * 0.76}{3 * 1.135} \right) (1 - \cos 0.463)$$

$$C = 0.76 \text{ m}$$

### Calculamos el ángulo de sección del álabe ( $\beta_r$ )

$$\beta_r = \varphi_r - \alpha$$

$$\beta_r = 26.54^\circ - 2.75^\circ$$

$$\beta_r = 23.79^\circ$$

### Velocidad de rotación de la turbina

$$\Omega = \frac{V * \lambda_d}{R_{nt}}$$

$$\Omega = \frac{8.69 \frac{m}{s} * 6}{4.04 m}$$

$$\Omega = 2.58 \text{ Hz}$$

*Convirtiendo a Rad/seg*

$$1 \text{ Hz} = 2\pi \text{ rad/seg}$$

$$\rightarrow \Omega = 16.19 \frac{\text{Radianes}}{\text{segundo}}$$

*Convirtiendo a Revoluciones por minuto:*

$$1 \text{ rpm} = 60 \text{ Hz}$$

$$\rightarrow \Omega = 2.67 * 60$$

$$\Omega = 154.63 \text{ rpm}$$



## Anexo 14: Cálculos de Diseño del Perfil NACA 2404

De la Tabla 1. Se obtuvo el valor del Exponente de Hellmann basado en el tipo de rugosidad del terreno en donde se instalará los aerogeneradores. Para este trabajo el valor de Hellmann fue de 0.14, se reemplazó en la (Ec. 2):

$$V = V_h \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha$$

$$V = 8 \left( \frac{h}{10} \right)^{0.14}$$

$$V = 8.69 \text{ m/s}$$

### Cálculo del radio de la turbina $R_t$

$$R_t = \left[ \frac{2 * P}{\eta_t * C_p * \rho * \pi * V^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Reemplazamos los valores de potencia, rendimiento,  $C_p$ , densidad, y la velocidad referencial para poder realizar la fórmula para el radio de la turbina.

$$R_t = \left[ \frac{2 * 25830}{0.52 * 0.508 * 1.204 * \pi * 8.69^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_t = 9.10 \text{ m}$$

Debido a que el valor del radio de la turbina salió muy elevado, se decidió añadir más aerogeneradores para poder reducir el tamaño del radio del aerogenerador y que los parámetros se ajusten de una mejor manera.

Se decidió añadir una turbina más para que en total sean dos turbinas, entonces se divide la potencia total entre el número total de aerogeneradores a usar y se obtuvo el nuevo radio.

$$R_{nt} = \left[ \frac{2 * \frac{25830}{5}}{0.52 * 0.490 * 1.204 * \pi * 8.69^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{nt} = 4.07 \text{ m}$$

### Longitud de la Pala ( $L_p$ )

$$L_p = R_{nt} - R_d$$

$$L_p = 4.07 \text{ m} - 0.25 \text{ m}$$

$$L_p = 3.82 \text{ m}$$

Para poder obtener las cuerdas y el ángulo de los álabes, se tiene que dividir al radio de los aerogeneradores en partes iguales, por fórmula se divide entre cinco.

$$r = \frac{1}{5} * 3.82 \text{ m}$$

$$r = 0.76 \text{ m}$$

### Hallamos la celeridad en los álabes ( $\lambda_r$ )

$$\lambda_r = \lambda_d \left( \frac{r}{R_{nt}} \right)$$

$$\lambda_r = 6 \left( \frac{0.76 \text{ m}}{4.07 \text{ m}} \right)$$

$$\lambda_r = 1.20$$

### Hallamos el ángulo de los álabes

El ángulo de flujo en los álabes estuvo dado por:

$$\varphi_r = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \right)$$

$$\varphi_r = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{1.20} \right)$$

$$\varphi_r = 26.54^\circ$$

Convirtiendo a Radianes

$$\rightarrow \varphi_r = 26.54^\circ * \frac{\pi \text{ Rad}}{180^\circ} = 0.463 \text{ Radianes}$$

### Cálculo de las cuerdas y ángulo del álabe

$$C = \left( \frac{8 * \pi * r}{B * C_l} \right) (1 - \cos \varphi_r)$$

$$C = \left( \frac{8 * \pi * 0.76}{3 * 1.135} \right) (1 - \cos 0.463)$$

$$C = 1.31 \text{ m}$$

### Calculamos el ángulo de sección del álabe ( $\beta_r$ )

$$\beta_r = \varphi_r - \alpha$$

$$\beta_r = 26.54^\circ - 2.75^\circ$$

$$\beta_r = 23.79^\circ$$

### Velocidad de rotación de la turbina

$$\Omega = \frac{V * \lambda_d}{R_{nt}}$$

$$\Omega = \frac{8.69 \frac{m}{s} * 6}{3.97 m}$$

$$\Omega = 2.56 \text{ Hz}$$

*Convirtiendo a Rad/seg*

$$1 \text{ Hz} = 2\pi \text{ rad/seg}$$

$$\rightarrow \Omega = 16.10 \frac{\text{Radianes}}{\text{segundo}}$$

*Convirtiendo a Revoluciones por minuto:*

$$1 \text{ rpm} = 60 \text{ Hz}$$

$$\rightarrow \Omega = 2.67 * 60$$

$$\Omega = 153.75 \text{ rpm}$$

## Anexo 15: Cálculos de Diseño del Perfil NACA 4418

De la Tabla 1. Se obtuvo el valor del Exponente de Hellmann basado en el tipo de rugosidad del terreno en donde se instalará los aerogeneradores. Para este trabajo el valor de Hellmann fue de 0.14, se reemplazó en la (Ec. 2):

$$V = V_h \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha$$

$$V = 8 \left( \frac{h}{10} \right)^{0.14}$$

$$V = 8.69 \text{ m/s}$$

### Cálculo del radio de la turbina $R_t$

$$R_t = \left[ \frac{2 * P}{\eta_t * C_p * \rho * \pi * V^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Reemplazamos los valores de potencia, rendimiento,  $C_p$ , densidad, y la velocidad referencial para poder realizar la fórmula para el radio de la turbina.

$$R_t = \left[ \frac{2 * 25830}{0.52 * 0.508 * 1.204 * \pi * 8.69^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_t = 8.88 \text{ m}$$

Debido a que el valor del radio de la turbina salió muy elevado, se decidió añadir más aerogeneradores para poder reducir el tamaño del radio del aerogenerador y que los parámetros se ajusten de una mejor manera.

Se decidió añadir una turbina más para que en total sean dos turbinas, entonces se divide la potencia total entre el número total de aerogeneradores a usar y se obtuvo el nuevo radio.

$$R_{nt} = \left[ \frac{2 * \frac{25830}{5}}{0.52 * 0.490 * 1.204 * \pi * 8.69^3} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{nt} = 3.97 \text{ m}$$

### Longitud de la Pala ( $L_p$ )

$$L_p = R_{nt} - R_d$$

$$L_p = 3.97 \text{ m} - 0.25 \text{ m}$$

$$L_p = 3.72 \text{ m}$$

Para poder obtener las cuerdas y el ángulo de los álabes, se tiene que dividir al radio de los aerogeneradores en partes iguales, por fórmula se divide entre cinco.

$$r = \frac{1}{5} * 3.72 \text{ m}$$

$$r = 0.74 \text{ m}$$

### Hallamos la celeridad en los álabes ( $\lambda_r$ )

$$\lambda_r = \lambda_d \left( \frac{r}{R_{nt}} \right)$$

$$\lambda_r = 6 \left( \frac{0.74 \text{ m}}{3.97 \text{ m}} \right)$$

$$\lambda_r = 1.20$$

### Hallamos el ángulo de los álabes

El ángulo de flujo en los álabes estuvo dado por:

$$\varphi_r = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \right)$$

$$\varphi_r = \left( \frac{2}{3} \right) \left( \tan^{-1} \frac{1}{1.20} \right)$$

$$\varphi_r = 26.54^\circ$$

Convirtiendo a Radianes

$$\rightarrow \varphi_r = 26.54^\circ * \frac{\pi \text{Rad}}{180^\circ} = 0.463 \text{ Radianes}$$

### Cálculo de las cuerdas y ángulo del álabe

$$C = \left( \frac{8 * \pi * r}{B * C_l} \right) (1 - \cos \varphi_r)$$

$$C = \left( \frac{8 * \pi * 0.74}{3 * 1.135} \right) (1 - \cos 0.463)$$

$$C = 0.58 \text{ m}$$

### Calculamos el ángulo de sección del álabe ( $\beta_r$ )

$$\beta_r = \varphi_r - \alpha$$

$$\beta_r = 26.54^\circ - 6.5^\circ$$

$$\beta_r = 20.04^\circ$$

### Velocidad de rotación de la turbina

$$\Omega = \frac{V * \lambda_d}{R_{nt}}$$

$$\Omega = \frac{8.69 \frac{m}{s} * 6}{3.97 m}$$

$$\Omega = 2.67 \text{ Hz}$$

*Convirtiendo a Rad/seg*

$$1 \text{ Hz} = 2\pi \text{ rad/seg}$$

$$\rightarrow \Omega = 16.49 \frac{\text{Radianes}}{\text{segundo}}$$

*Convirtiendo a Revoluciones por minuto:*

$$1 \text{ rpm} = 60 \text{ Hz}$$

$$\rightarrow \Omega = 2.67 * 60$$

$$\Omega = 157.44 \text{ rpm}$$

## Anexo 16: Segunda Parte de Cálculos Perfil Aerodinámico NACA 4418

### Cálculo del Área de Barrido:

#### Para Cada Turbina:

Utilizamos la (Ec. 20):

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(7.94)^2}{4}$$

$$A = 49.57m^2$$

#### Potencia de Salida:

Se utilizó la (Ec. 21):

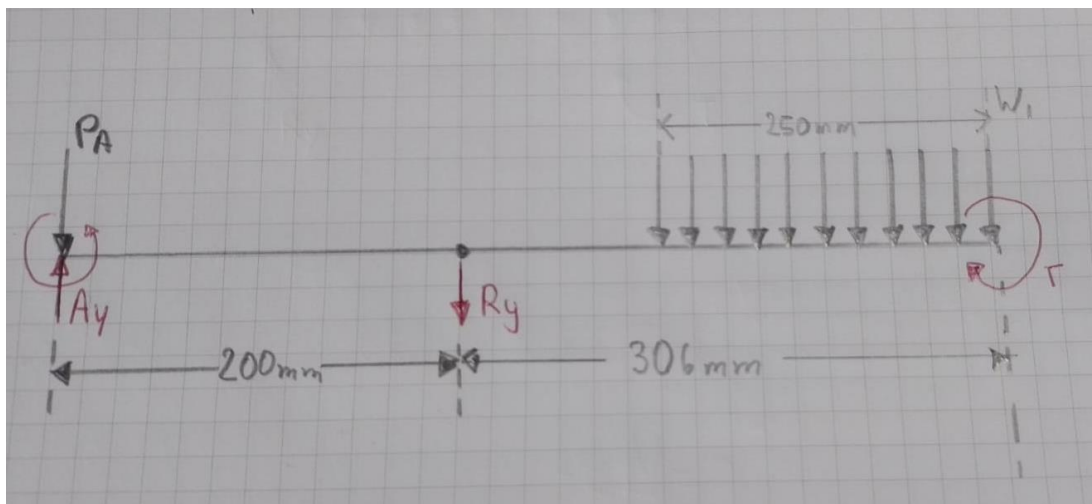
$$P_{out} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot n_{turb} \cdot C_p$$

$$P_{out} = \frac{1}{2} \left( \frac{1.204kg}{m^3} \right) (49.57m^2) (8m/s)^3 (0.52) (0.508 kJ/kg^\circ K)$$

$$P_{out} = 5.1kW$$

### DISEÑO DE EJE:

#### Diagrama de Cuerpo libre y Reacciones



Fuente: Elaboración de los autores

### **Masa del Rotor:**

Se utilizó la (Ec. 22)

$$m_r = 0.486D^{2.6}$$

$$m_r = 0.486(7.94)^{2.6}$$

$$m_r = 106.21 \text{ kg}$$

### **Peso del Rotor:**

Se utilizó la (Ec. 23):

$$w_r = m_r * 9.81$$

$$w_r = 106.21 \text{ kg} * 9.81$$

$$w_r = 1.042 \text{ kN}$$

### **Torque en el rotor ( $T_r$ ):**

$$Tr = \frac{P_{out}}{\omega}$$

$$Tr = \frac{5.1 \text{ kW}}{16.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$Tr = 309.27 \text{ N.m}$$

$$1 \text{ N.m} = 0.102 \text{ kg.m}$$

$$309.27 * 0.102 = 31.54554$$

$$\gg 309.27 \text{ N.m} = 31.55 \text{ kg.m}$$



## Anexo 17: Código MATLAB

```
function varargout = GUI1(varargin)
% GUI1 MATLAB code for GUI1.fig
%   GUI1, by itself, creates a new GUI1 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = GUI1 returns the handle to a new GUI1 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   GUI1('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in GUI1.M with the given input arguments.
%
%   GUI1('Property','Value',...) creates a new GUI1 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before GUI1_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to GUI1_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help GUI1

% Last Modified by GUIDE v2.5 23-Dec-2020 03:23:54

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @GUI1_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @GUI1_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before GUI1 is made visible.
```

```

function GUI1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to GUI1 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for GUI1
handles.output = hObject;
rbg = imread('Graf4.jpg');
axes(handles.axes1)
imshow(rbg);

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
rbg2 = imread('componentes.jpg');
axes(handles.axes2)
imshow(rbg2)

% UIWAIT makes GUI1 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = GUI1_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%   See ISPC and COMPUTER.
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%   str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%   See ISPC and COMPUTER.

```

```

if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton1.

```

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

Se = get(handles.edit1,'String');
Sut = get(handles.edit3,'String');
n = get(handles.edit2,'String');
rg = get(handles.edit5,'String');
W1 = get(handles.edit4,'String');
Tm = get(handles.edit6,'String');
Se = str2double(Se)*1000000;
Sut = str2double(Sut)*1000000;
n = str2double(n);
rg = str2double(rg);
W1 = str2double(W1)/10;

```

```

Tm = str2double(Tm)/10;
% CALCULOS
Fct = Tm/(rg*sind(20));
Rby = 495.30;
Rcy = W1 - Rby + Fct*sind(20);

% Eje z
W1t = 1042;
Fcr = Fct*cosd(20);
Rbz = 197.34;
Rcz = -Rbz + Fcr + W1t;

% Fuerza cortante en eje y
V1y = -Fct + Rcy;
V2y = V1y + Rby;
V3y = V2y - W1;

% Fuerza cortante en eje z
V1z = Fcr - Rcz;
V2z = V1z - Rbz;
V3z = round(V2z + W1t);

% Momento en eje y
M1y = V1y*(1.50);
M2y = V2y*(3-1.50) + M1y;

% Momento en eje z
M1z = V1z*(1.50);
M2z = round((V2z+101.1)*(3-1.50) + M1z);

% Analisis en el Punto B
Mb = sqrt(M1y.^2+M1z.^2);
Mb2 = W1t
A = (16*n)/pi;
B = ((2*1.56*Mb)/Se + sqrt(3*(1.46*Tm).^2)/Sut);
d = (A*B).^(1/3);
% RESULTADOS
set(handles.edit7,'String',Mb2);
set(handles.edit8,'String',d);

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a double

```

```

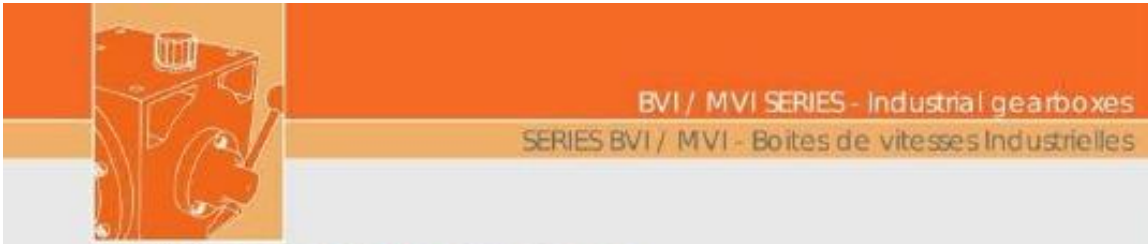
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```



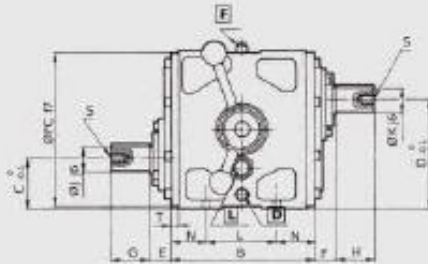
# Anexo 18: Caja GearBox – Multiplicadora coaxial alta potencia



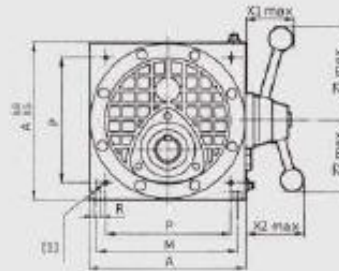
BVI / MVI SERIES - Industrial gearboxes

SERIES BVI / MVI - Boîtes de vitesses Industrielles

## STANDARD GEARBOX DIMENSIONS ENCOREMENT DES BOITES DE VITESSES STANDARD



Keyway / Clavetage : NFE 22175



[1] Lateral mounting (on request)  
2 ØFC 17 spigots + 8 tapped holes  
(valid for coupled and reversing gearboxes)

Fixation latérale : Codification FC (sur demande)  
2 centrages ØFC 17 + 8 trous taraudés  
(valable également pour jumelage et inverseur)

B200 – M8 B400 – M20  
B250 – M12 B500 – M20  
B315 – M16 B630 – M24

B200 – M8 B400 – M20  
B250 – M12 B500 – M20  
B315 – M16 B630 – M24

**F** Fill / Remplissage  
**L** Level / Niveau  
**D** Drain / Vidange

Type	FC	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	X1	X2	Z1 (1)	Z2 (2)	Z3	Weight Masse (Kg)
B 200 N SN	185	200	180	62,5	137,5	26,6	26,6	50	50	30	30	90	180	45	160	11,5	M8	10	68		125	135	86	25
B 250 N R	242	250	220	80	170	31,5	31,5	65	65	35	35	136	220	42	190	13	M10	10	70	110	145	160	110	47
B 315 N R S	295	315	270,5 288 288	97,5	217,5	37,5 37,5 34,5	37,5 37,5 34,5	80 80 100	80 80 100	45 45 50	45 45 50	160	270	55 64 64	240	18	M10	10 19 19	80	120	175	190	130	92
B 400 N R S	385	400	362	125	275	31 31 36	31 31 36	100 100 125	100 100 125	55 55 65	55 55 65	200	355	81 85 85	315	22	M12 M12 M16	17	120	110	320		190	220
B 500 N R S	485	500	440	160	340	35 35 36	35 35 36	125 125 145	125 125 145	65 65 75	65 65 75	280	450	80 85 85	400	22	M16	21	140	110	380		240	350
B 630 N R S	596	630	570	195	435	61 61 65	61 61 65	145 145 165	145 145 165	75 75 85	75 75 85	350	560	110 115 115	500	26	M16	25	140	130	380		290	600

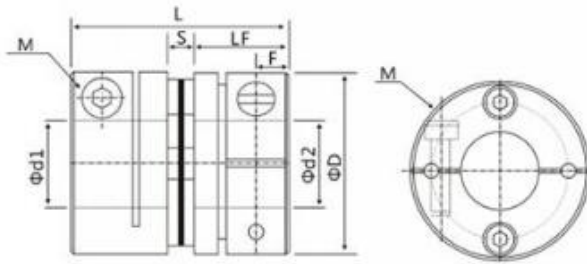


## Anexo 19: Acoplador de Eje

Model	$\phi d1$ $\phi d2$	D	L	W	LF	S	M	Wight
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	g
D26L26	5/6/8/9.525/10	26	26	2.5	11.5	2.6	M3	24
D34L32	8/9.525/10/11/12/14	34	32	3.1	14.1	3.5	M4	46
D39L34	10/11/12/14/15/16	39	34	4.1	15	4.5	M4	78
D44L35	11/12/14/15/16/19	44	35	4.5	15	4.5	M4	96
D56L45	14/15/16/19/20/22/24	56	45	5	20	5.5	M5	206
D68L54	19/20/22/24/30/35	68	54	6	24	6.3	M6	366
D82L68	24/28/30/35/38/40	82	68	8	30	8	M8	710

### Aviso:

1. La luz y las diferentes pantallas pueden hacer que el color del artículo en la imagen sea un poco diferente al real.
2. El error de medición permitido es de  $\pm 1.3\text{mm}$ .



Model	Tightening torque	Rated torque	Top torque	Maximum speed	Inertia torque	Static torque rigidity	Radial deviation	Angular deviation	Axial deviation
	N.m	N.m	N.m	rpm	N.m	N.m/rad	mm	( $^{\circ}$ )	mm
D26L26	1.5	1.4	2.8	10000	$1.8 \times 10^{-6}$	690	0.02	1	$\pm 0.2$
D34L32	1.5	2.8	5.6	10000	$7.2 \times 10^{-6}$	1650	0.02	1	$\pm 0.2$
D39L34	2.5	5.8	11.6	10000	$1.8 \times 10^{-5}$	2500	0.02	1	$\pm 0.2$
D44L35	2.5	8.7	17.4	10000	$2.5 \times 10^{-5}$	2900	0.02	1	$\pm 0.2$
D56L45	7	25	50	10000	$1.0 \times 10^{-4}$	8400	0.02	1	$\pm 0.2$
D68L54	12	55	110	10000	$1.9 \times 10^{-4}$	11500	0.02	1	$\pm 0.2$
D82L68	16	80	160	10000	$7.0 \times 10^{-3}$	14550	0.02	1	$\pm 0.2$



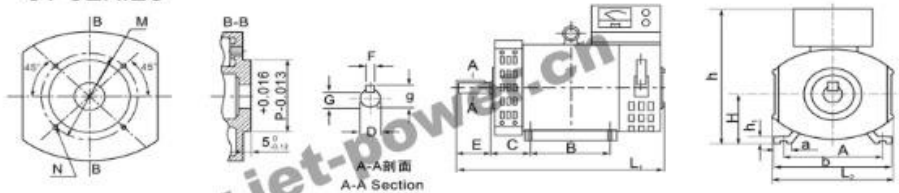
## Anexo 20: Planos y Descripción del Generador Eléctrico Seleccionado

### Especificaciones:

Modelo	Potencia nominal (KW)	Voltaje (V)		Corriente (A)		Factor de potencia (cos)	Número de polos	50 Hz/60 Hz/velocidad (rpm)
		En series	En paralelo	En series	En paralelo			
ST-2	2KW	230	115	8.7	17.4	1.0	4	1500 / 1800
ST-3	3KW	230	115	13	26	1.0	4	1500 / 1800
ST-5	5KW	230	115	21.8	43.5	1.0	4	1500 / 1800
ST-7.5	7.5KW	230	115	32.6	65.2	1.0	4	1500 / 1800
ST-10	10KW	230	115	43.5	87	1.0	4	1500 / 1800
ST-12	12KW	230	115	52.2	104	1.0	4	1500 / 1800
ST-15	15KW	230	115	65.3	130	1.0	4	1500 / 1800
ST-20	20KW	230	115	87	174	1.0	4	1500 / 1800

## ST SERIES ALTERNATOR

### ST SERIES

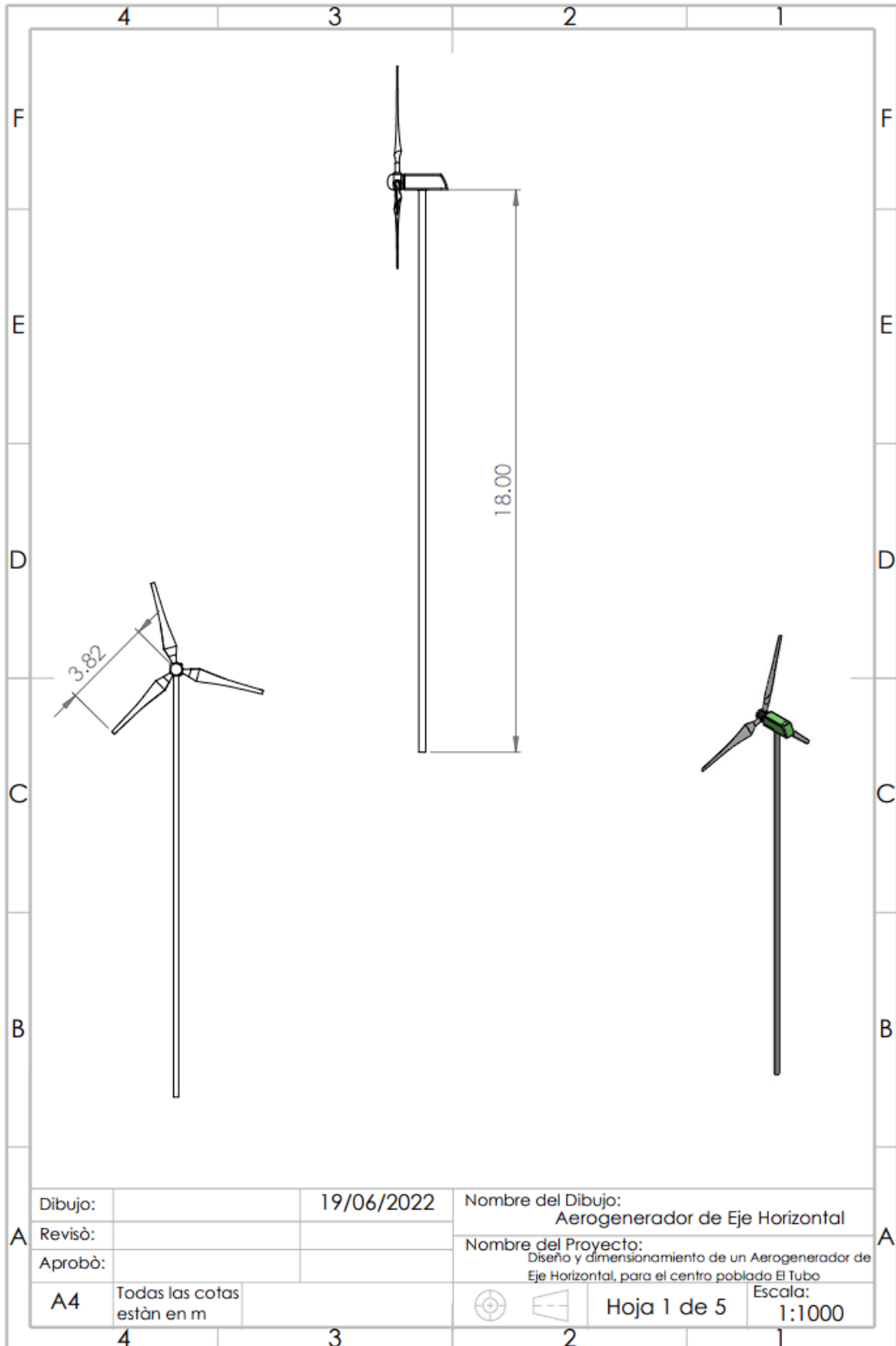


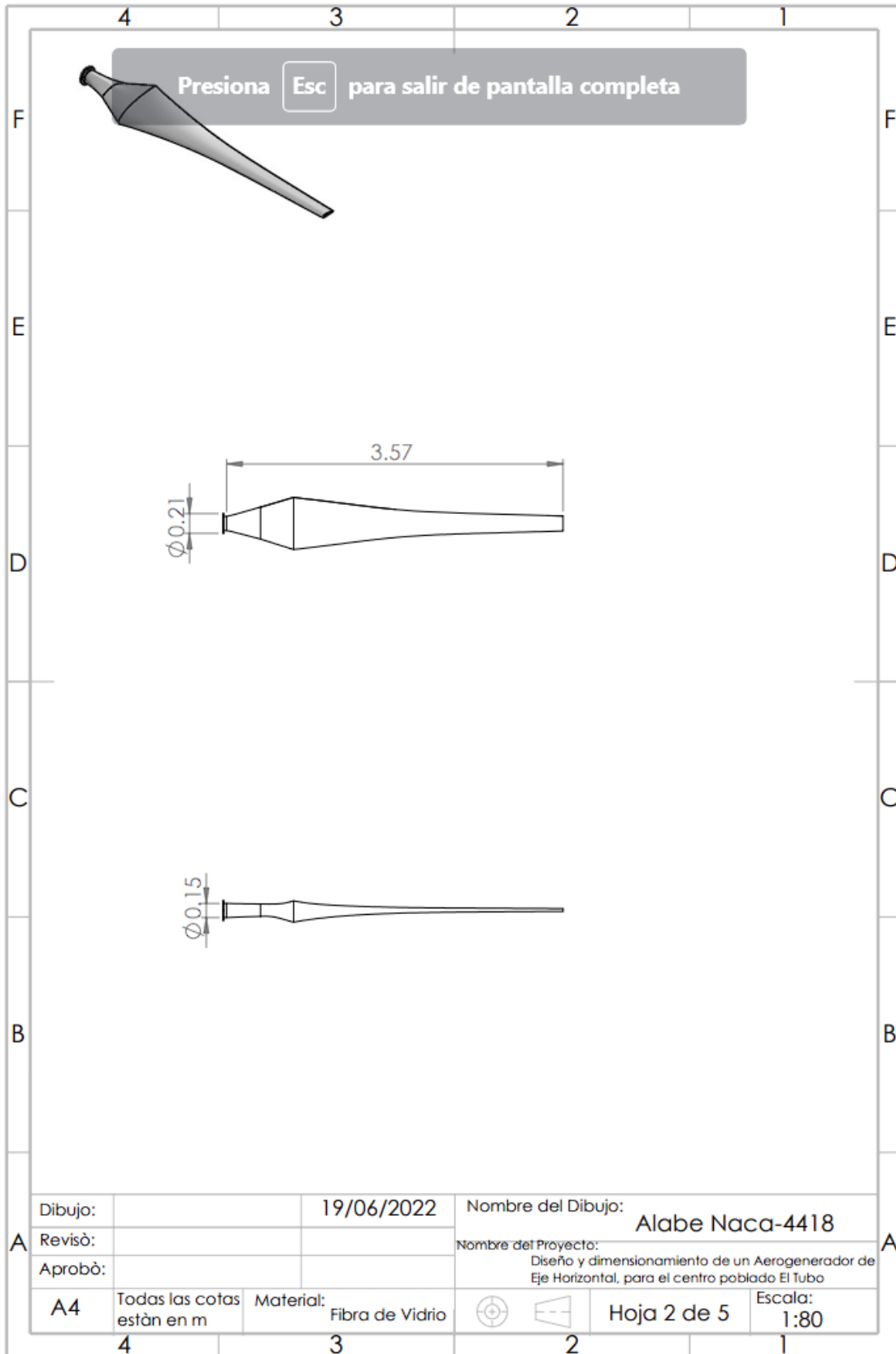
### INSTALLATION AND OVERALL DIMENSION



Model	Installing dimensions													External dimensions					Weight (kg)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	a	b	b1	H	L1	L2		g
ST-2	216	178	89	∅32	80	10	27	132	12	-	-	-	34	250	18	385	480	270	35	65
ST-3	216	178	89	∅32	80	10	27	132	12	-	-	-	34	250	18	385	480	270	35	70
ST-5	254	254	108	∅38	80	10	33	160	15	-	-	-	50	310	25	440	580	325	41	120
ST-7.5	254	254	108	∅38	80	10	33	180	15	-	-	-	50	310	25	440	580	325	41	130
ST-10	279	203	121	∅42	110	12	37	180	15	285	4-M12	230	60	339	25	480	610	365	45	140
ST-12	279	203	121	∅42	110	12	37	180	15	285	4-M12	230	60	339	25	480	610	365	45	155
ST-15	318	228	133	∅48	110	14	42.5	200	19	300	4-M16	250	60	378	30	540	660	400	51.5	192
ST-20	318	228	133	∅48	110	14	42.5	200	19	300	4-M16	250	60	378	30	540	660	400	51.5	202

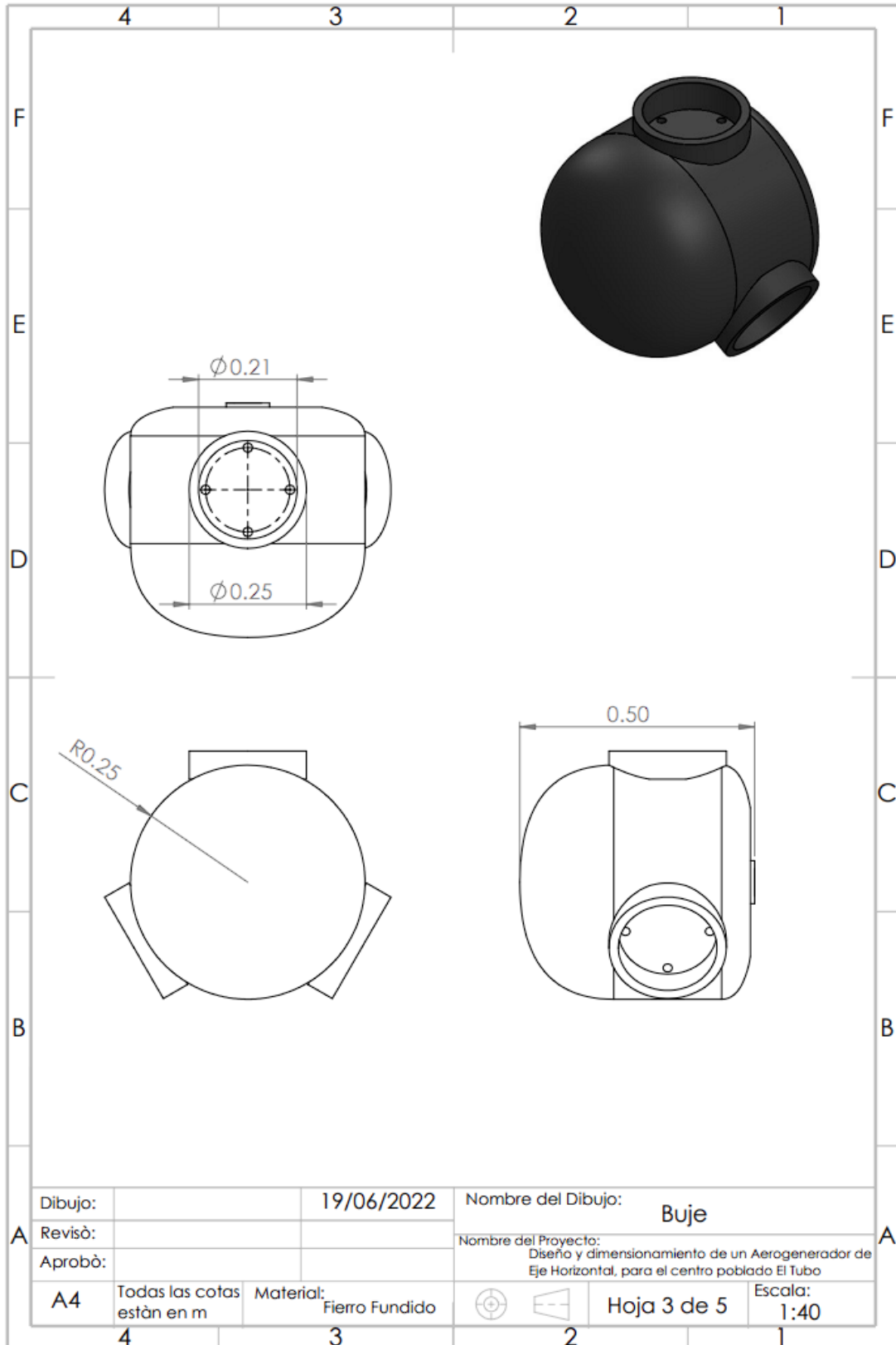


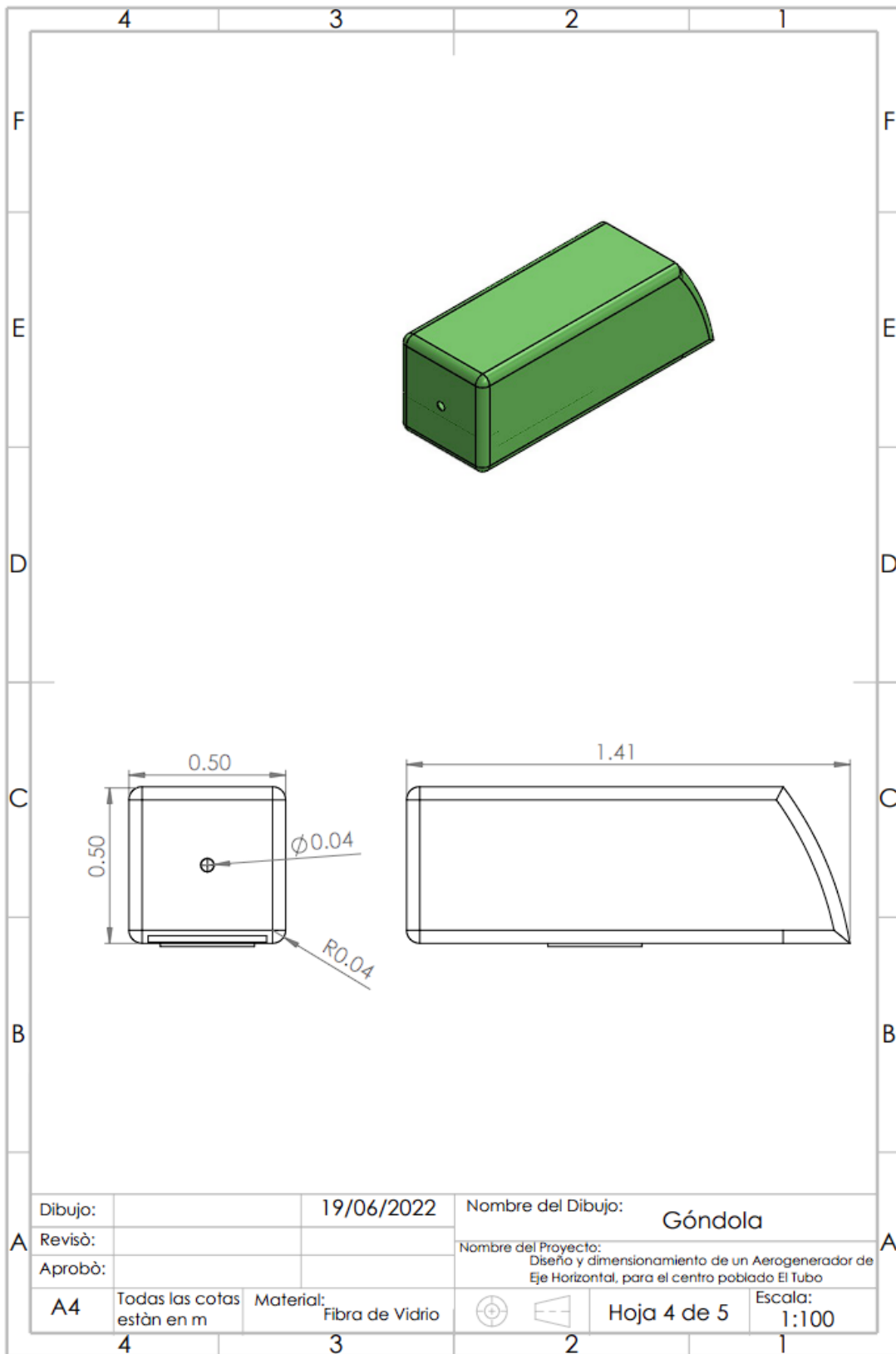
# Anexo 21: PLANOS SOLID WORKS



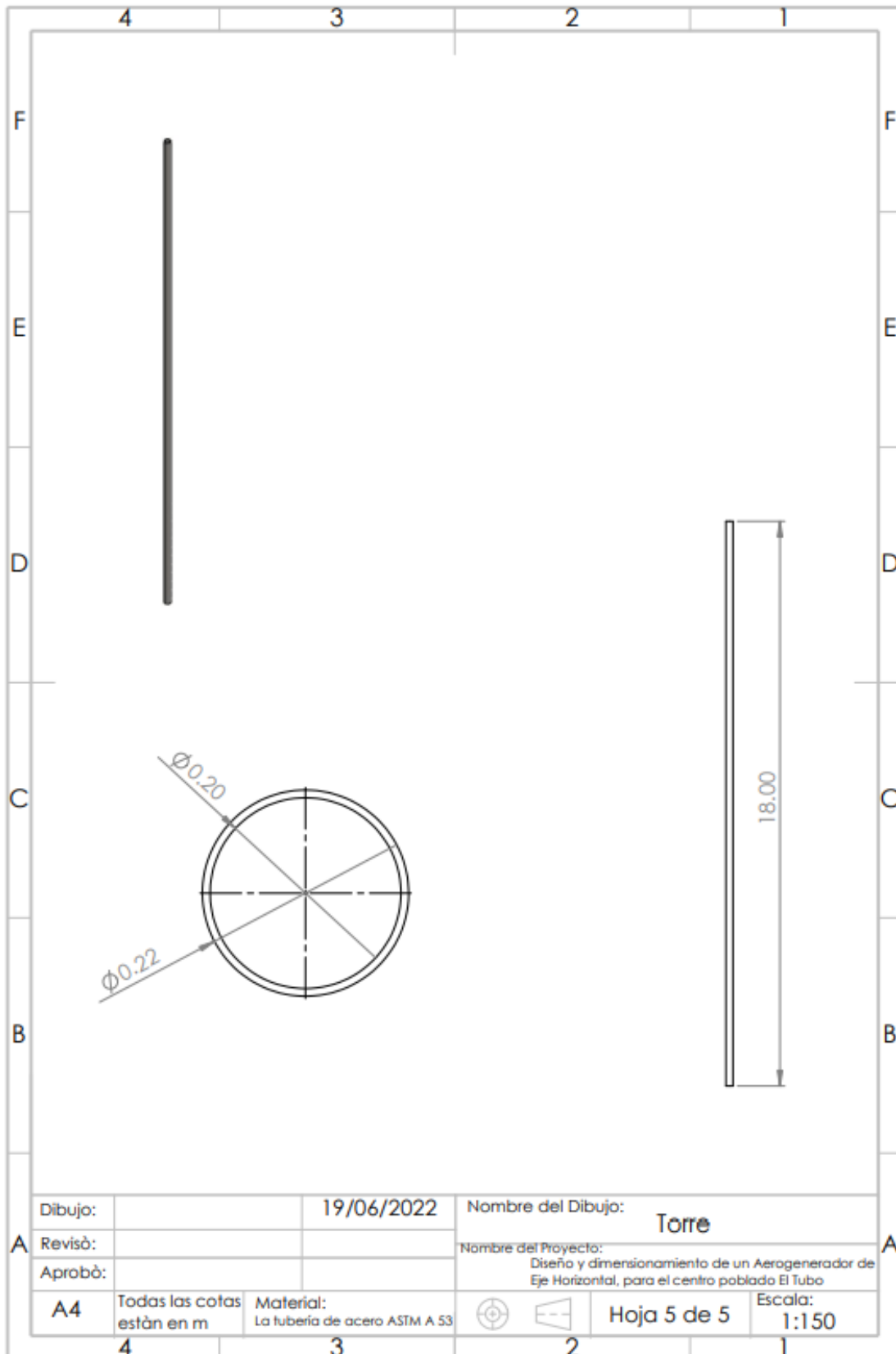




Dibujo:		19/06/2022	Nombre del Dibujo:	Alabe Naca-4418
Revisò:			Nombre del Proyecto:	Diseño y dimensionamiento de un Aerogenerador de Eje Horizontal, para el centro poblado El Tubo
Aprobò:				
A4	Todas las cotas estàn en m	Material: Fibra de Vidrio	  Hoja 2 de 5	Escala: 1:80





Dibujo:		19/06/2022	Nombre del Dibujo:	Góndola
Revisó:			Nombre del Proyecto:	Diseño y dimensionamiento de un Aerogenerador de Eje Horizontal, para el centro poblado El Tubo
Aprobó:				
A4	Todas las cotas están en m	Material: Fibra de Vidrio		Hoja 4 de 5 Escala: 1:100



Dibujo:		19/06/2022	Nombre del Dibujo:	Torre
Revisó:			Nombre del Proyecto:	Diseño y dimensionamiento de un Aerogenerador de Eje Horizontal, para el centro poblado El Tubo
Aprobó:				
A4	Todas las cotas están en m	Material: La tubería de acero ASTM A 53	 	Hoja 5 de 5 Escala: 1:150



## Anexo 21: Fotos de las mediciones







**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, SANCHEZ HUERTAS CARLOS ENRIQUE, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño y Dimensionamiento de un Aerogenerador de Eje Horizontal, para el centro poblado El Tubo", cuyos autores son CARRANZA CUEVA HAROLD MICHELLE, BRACAMONTE QUIROZ LUIS CARLOS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 19 de Julio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
SANCHEZ HUERTAS CARLOS ENRIQUE <b>DNI:</b> 17857234 <b>ORCID:</b> 0000-0002-6754-8017	Firmado electrónicamente por: CSANCHEZH55 el 26-07-2022 09:48:39

Código documento Trilce: TRI - 0352063