



EnergíaJoven

Manual Kit de Energía Eólica Guía Didáctica y Ejercicios

Experimentos para jóvenes a partir de los 12 años.

ATENCIÓN: El material incluido en el kit de Energía Eólica es para uso exclusivo en establecimientos educativos a partir de nivel secundario. Utilizarlo bajo vigilancia y supervisión de adultos capacitados. Mantener fuera del alcance de niños menores de 4 años por contener piezas pequeñas. Leer las instrucciones antes de su utilización, seguirlas y conservarlas como referencia.



SIEMENS | Fundación



Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE

Cofounded by:



WISONS
of sustainability

on the basis of a decision
by the German Bundestag

Energía Eólica Kit Didáctico



Diseñado y desarrollado por:



Guía para educadores: Energía Eólica

El proyecto #EnergíaJoven (Youth Energy) - **“Activando el potencial de los jóvenes para impulsar la transición energética justa en Argentina”** está financiado por el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK) de Alemania en el marco de la Iniciativa Internacional sobre el Clima (IKI). La ejecución del proyecto corre a cargo de un consorcio de tres organizaciones, dirigido por el Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (WI) como coordinadora del proyecto y con la Fundación 500RPM para el Desarrollo de las Energías Renovables y la Fundación Siemens para el Desarrollo Sustentable de la Argentina como socios ejecutores.

El proyecto tiene como objetivo capacitar y empoderar a una nueva generación de jóvenes líderes, que desempeñarán un papel fundamental en la transición energética justa de Argentina.

La presente publicación educativa fue desarrollada por Fundación 500RPM.



Primera publicación: Abril 2025

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción.....	4
Ejes de trabajo.....	6
Presentación del kit “Experimento - Energía eólica”.....	7
Armado del kit.....	8
Componentes del kit “Experimento - Energía eólica”.....	9
Pasos para la construcción del aerogenerador.....	12
Paso 1: armado de la torre	12
Paso 2: armado del cabezal del generador.....	17
Paso 3: ensamble final del aerogenerador en la torre y conexión eléctrica.....	26
Paso 4: armado de las aspas y la veleta.....	27
Paso 5: conexión de la consola	30
Ejercicios prácticos: pruebas y mediciones.....	33
Ejercicio 1: Medición de la velocidad de viento	36
Ejercicio 2: Generación de potencia.....	36
Ejercicio 3: Tensión de funcionamiento.....	37
Ejercicio 4: Freno eléctrico.....	37
Ejercicio 5: Variación de paso de las aspas.....	38
Ejercicio 6: Variación de distancia entre rotor y estator.....	38
Ejercicio 7: Medición de frecuencia.....	39
Ejercicio 8: Cálculo de eficiencia.....	39
Debate final y conclusiones.....	41

INTRODUCCIÓN

El presente manual educativo, incluido en el kit “Experimento - Energía eólica”, tiene por objeto guiar la construcción de un aerogenerador basado en el diseño Piggott. Dicho diseño es similar, pero de menor escala, a las tecnologías eólicas instaladas por la Fundación 500 RPM en escuelas técnicas y rurales para asegurar su electrificación.

El kit “Experimento - Energía Eólica” está orientado a **estudiantes de nivel secundario técnico de ciclo superior**, con el acompañamiento pedagógico de docentes de nivel técnico, para introducir conceptos básicos de las energías renovables, en especial la energía eólica. Además, busca fortalecer habilidades y competencias como el trabajo en equipo, el pensamiento crítico y el científico-tecnológico.

La propuesta educativa integra disciplinas como la Física, la Electrotecnia y talleres vinculados a la electricidad, con especial mirada en el **ABP** (Aprendizaje Basado en Proyectos) y a través del enfoque pedagógico **STEM** (por las siglas en inglés de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

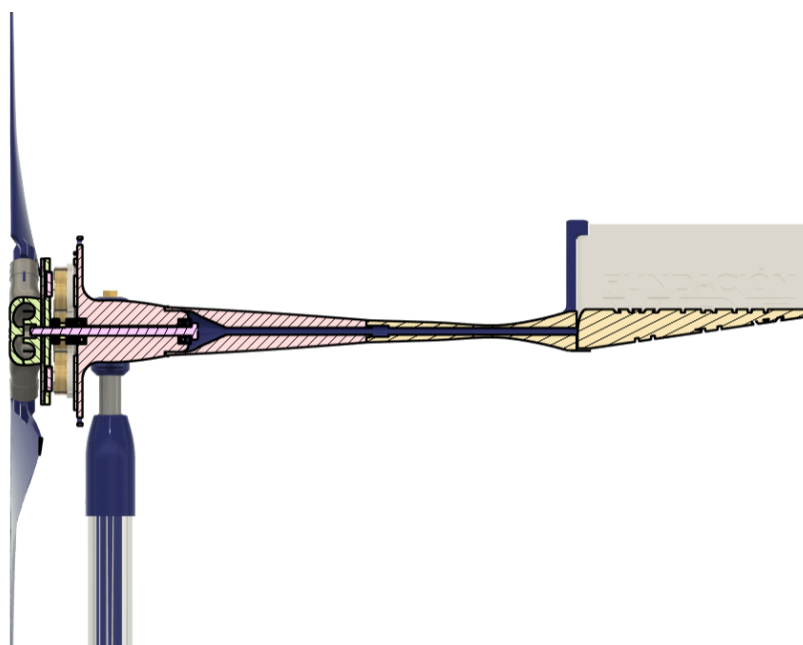
Algunos de los **temas vinculados** a esta propuesta son: energía mecánica (cinemática, dinámica), transformaciones de energía, mecánica de los fluidos, leyes de la hidrostática y la neumática, energía eléctrica (campo y potencial electrostáticos), corriente eléctrica, interacción magnética, inducción, campo magnético, corrientes eléctricas variables, circuitos y generación eléctrica y de física, empalmes de torque y otras.



INTRODUCCIÓN

Este material educativo se enmarca en el enfoque pedagógico STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). Una de las características más interesantes de este enfoque es que propone la integración de diversas áreas de conocimiento y su aplicación transversal en actividades educativas orientadas al proceso de enseñanza-aprendizaje a través de la experimentación, que requieren tanto del uso de saberes académicos como del desarrollo de habilidades blandas. En este sentido, la iniciativa aquí propuesta tiene como objetivo apoyar este proceso de transformación de las prácticas educativas para fortalecer el conocimiento académico y promover el desarrollo integral y humano de los estudiantes. El objetivo es formar a futuros profesionales con una perspectiva innovadora y pensamiento crítico, que puedan establecer conexiones significativas entre su trabajo, su comunidad y los desafíos del mundo real.

El kit “Experimento: energía eólica” tiene como objetivo promover el acceso a una educación de calidad y fortalecer la formación técnica de los estudiantes para consolidar su trayectoria educativa en STEM. También busca facilitar un primer acercamiento a los conocimientos científicos relacionados con el sector productivo y desarrollar habilidades y competencias pedagógicas en los docentes participantes para contribuir a la enseñanza de las ciencias de forma innovadora y despertar el interés y la motivación por estas disciplinas como posibles motores de transformación social.



EJES DE TRABAJO

1. Habilidades técnicas

En el desarrollo de las experiencias propuestas en este kit didáctico, los alumnos de ciclo superior de escuelas técnicas, conformarán y ensamblarán todos los componentes de un aerogenerador a partir de un enfoque didáctico e integral para comprender cómo están conformadas sus piezas y el rol de cada componente en el conjunto.

2. Conocimiento teórico

Durante la construcción del aerogenerador, se podrán abordar, según las demandas de los alumn@s en su rol activo desde el ABP, conceptos teóricos de energía, potencia, mecánica, electromagnetismo, electrónica y aerodinámica, con el objetivo de comprender cómo se producen las transformaciones de energía. Se abordará el proceso completo, desde que el viento incide en las aspas hasta su utilización como corriente eléctrica para cargar un teléfono móvil, por ejemplo. Asimismo, se buscará concientizar en todo momento sobre el valor de las energías renovables. Aunque la energía eólica es muy compleja, el objetivo de este kit es demostrar que con elementos sencillos y materiales económicos se puede construir un equipo funcional que reproduzca el 100 % del funcionamiento de un aerogenerador de baja potencia.

3. Ejercitación teórico-práctica

Una vez ensamblado el aerogenerador, las y los alumnos realizarán ejercicios prácticos y mediciones de funcionamiento para evaluar su comportamiento en diferentes configuraciones. De esta manera, podrán comprender la influencia de las variables más relevantes en el rendimiento del aerogenerador y los factores que determinan su potencia, producción de energía y eficiencia. Si se ensambla correctamente, este equipo iguala o mejora la eficiencia de la mayoría de los equipos comerciales y artesanales existentes.

PRESENTACIÓN KIT “EXPERIMENTO - ENERGÍA EÓLICA”

El kit “Experimento - Energía eólica” provisto cuenta con todos los componentes para el armado de un aerogenerador basado en el diseño Piggott:

- Piezas para el armado de las aspas.
- Piezas para el armado del generador completo: discos e imanes para armar los rotores; alambre de cobre, bobinador y centros para armar las bobinas.
- Elementos para el armado completo de la torre y del cabezal donde se alojará el conjunto.
- Caja con componentes eléctricos y electrónicos para la carga de una batería (de bajo voltaje) y para la carga de un celular o alguna iluminación LED.
- Sistema para la medición de voltaje y corriente con el fin de calcular la potencia generada según diferentes configuraciones de las variables más relevantes.

Para comenzar, sugerimos realizar una breve presentación del kit a partir de los siguientes puntos:

1. Presentación de componentes del kit.
2. Explicación de su funcionamiento.
3. Descripción de las variables que se pueden medir: corriente, tensión, potencia y energía.
4. Explicación de lo que se puede alimentar con la energía generada.

ARMADO DEL KIT

El kit “Experimento - Energía eólica” permite construir un sistema de generación eólica off-grid que alimenta la carga de una batería. Incluye también una pantalla digital que muestra los parámetros de corriente y tensión para poder calcular la energía generada. Para montar el kit será necesario contar con un soldador de estaño (no incluido en el kit) y se recomienda disponer también de un anemómetro y un multímetro (tampoco incluidos en el kit) para realizar los ejercicios prácticos.

Una vez armado el aerogenerador, se incluyen sugerencias para realizar diferentes ejercicios prácticos con los que el alumnado podrá interpretar el impacto de las principales variables que intervienen en el funcionamiento del equipo sobre el resultado obtenido, lo que le permitirá consolidar los conocimientos teóricos y aplicarlos de manera práctica en un proceso de aprendizaje significativo y duradero.

Consideraciones de seguridad e higiene

El armado y uso de este kit didáctico no implica riesgos significativos para los participantes. Los niveles de tensión involucrados y las corrientes generadas serán lo suficientemente bajos como para no representar ningún peligro. No obstante, recomendamos tener especial cuidado al manipular el disco de imanes, ya que se trata de imanes potentes que atraerán con fuerza cualquier herramienta o material de acero que se encuentre cerca. Por eso, será importante alejar cualquier objeto metálico del disco de imanes en todo momento y tener mucho cuidado al manipularlo durante el armado.

Asimismo, al realizar los ejercicios prácticos propuestos con el aerogenerador ensamblado y en funcionamiento, se debe tener especial cuidado con las aspas, ya que pueden girar a gran velocidad (por encima de 1400 RPM), dependiendo de la velocidad del viento. Por ejemplo, si una mano se interpusiera entre las aspas durante su giro, podría producirse una lesión menor, además de la posible rotura de las aspas. El acompañamiento de docentes y educadores durante el desarrollo de todas las actividades propuestas en este kit didáctico es esencial para evitar contratiempos y minimizar los riesgos previamente indicados.

COMPONENTES DEL KIT "EXPERIMENTO - ENERGÍA EÓLICA"

Componentes del kit "Experimento - Energía eólica"			
Grupo	Descripción	Ítems	Cant.
1	 Burlonería	Torn. 1/4" x 40mm (T1) Torn. 1/4" x 25 mm (T2) Torn. 1/4" x 20mm (T3) Mariposa 1/4"(T4) Bulón M8 x 145 mm(E1) Tornillo M4 bronce (T7) Tuerca M4 bronce (T8) Arandela M4 bronce (T9) Tornillo punta mecha T1 20mm Tornillo autoperforante 4x10mm (T10) Arandela Biselada M8(T5) Arandela común M8(T6)	4
			7
			11
			4
			4
			2
			6
			6
			6
			2
			10
			10
2	Conexiones eléctricas	Cable de conexionado batería-consola 	1
3	Electrónica		1
4		Bornera para la conexión del estator 	1
		Rotor del alternador(con imanes) 	1
		Bobina (L1) 	6
		Disco estator 	1
5	Uniones 3D	Puntera superior (P4) 	4
		Pie de rienda (P5) 	4
		Araña (P6) 	1

COMPONENTES DEL KIT “EXPERIMENTO - ENERGÍA EÓLICA”

5	Uniones 3D	Base de torre (P7)		1
		Bisagra veleta A		2
		Bisagra veleta B		1A
		Extremo de pie (P3)		4
6	Sistema timón	Conjunto de timón		1
		Cabezal		1
		Punta de torre		1
		Espaciador		1
Otros elementos		Veleta 19 cm x 20 cm		1
		Tubo de aluminio 40 mm x 650 mm (P1)		1
		Caño de aluminio 11 mm x 500 mm (TR1)		4
		Planchuela perforada (P8) (4 para la base y 1 que es levemente diferente para la base de la consola)		5
		Batería		1

COMPONENTES DEL KIT “EXPERIMENTO - ENERGÍA EÓLICA”

Otros elementos	Aspa		3
	Papel de lija		1
	Centro de Hélice		1
	Estaño		1
	Tubo termocontraíble (1 de 6 mm y 1 de 4 mm)		2
	Encendedor		1

NOTAS:

Muchos de los materiales incluidos en el kit consisten en piezas realizadas con impresión 3D. Algunas de ellas son sencillas de imprimir si se cuenta con una impresora 3D y se requieren repuestos. Se incluye a continuación el enlace a una carpeta con los archivos para poder imprimir estas piezas.

https://drive.google.com/drive/folders/1v_0t-4uloHycyRHYZvDd6V_rTp5BEn0g?usp=sharing

Si no pueden acceder a los documentos, por favor enviar un mail a capacitaciones@500rpm.org

La impresión 3D de otras piezas (como aspas, centro hélice, cabezal y timón) es mucho más compleja, por lo que, si se requieren repuestos, sugerimos contactarnos a info@500rpm.org.

ATENCIÓN: para que otros grupos puedan seguir utilizando el kit, es importante que asumamos el compromiso de mantenerlo todo organizado y ordenado. Por eso, les rogamos que, una vez finalizadas las actividades, vuelvan a guardar todos los materiales en sus respectivas cajas.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

PASO 1: ARMADO DE LA TORRE.

La torre, provista con este kit, está diseñada para soportar aerogeneradores y resistir vientos de más de 10 m/s. Puede utilizarse en superficies duras, siempre y cuando se utilice algún elemento pesado apoyado sobre las planchuelas de la base para evitar que el viento la vuelque. Si se utiliza en césped o suelo de tierra, se pueden utilizar contrapesos o sujetarla con estacas.

Para llevar a cabo el ensamble de la torre, solo se necesitan un destornillador Phillips y otro plano.

1. Para el armado de la base de la torre, los pasos a seguir son:

- Colocar el tubo de la torre (P1) con la base articulada (P7) de manera vertical sobre una mesa.
- Luego encastrar las planchuelas de la base (P8) en la bisagra de la Base Torre y asegurarla con los tornillos de 1/4" x 40mm (T1), verificando que la traba circular quede hacia arriba en las aletas (P3) (Figura 1).
- Ajustar hasta que el tornillo llegue al final del recorrido, pero sin apretar, ya que se trata de una bisagra articulada (NO FIJA).
- Verificar que la planchuela se mueva libremente en todo el recorrido, siempre hacia arriba, plegándose sobre la torre.

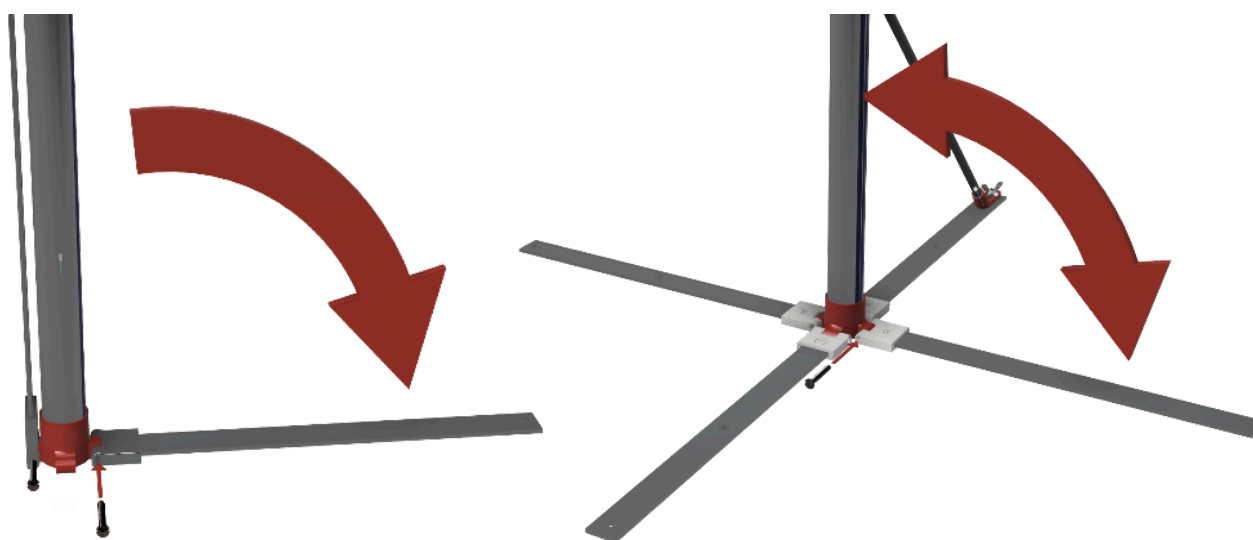


FIGURA 1. CONJUNTO BASE ARTICULADA Y TORRE INFERIOR CERRADA (IZQUIERDA) Y ABIERTA (DERECHA).

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

2. Luego ensamblaremos las fijaciones de los tensores laterales a la torre. Estos tensores mantendrán la torre vertical y absorberán los esfuerzos de carga lateral producidos por la presión dinámica de la hélice. Tienen dos piezas de fijación impresas: la puntera superior (P4) y el pie de rienda (P5). Estas piezas se colocan a presión en el tubo tensor de aluminio de 11x1 (TR1), una en cada extremo, como se muestra en la Figura 2.

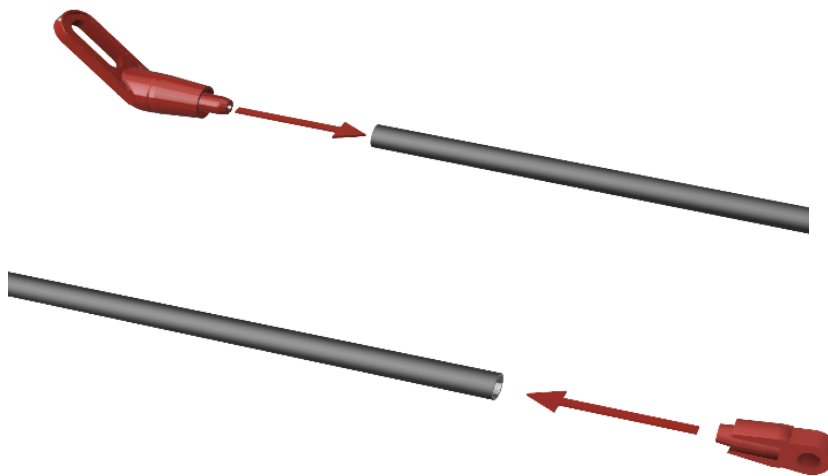


FIGURA 2. ENCASTRE DE PIE DE RIENDA (IZQUIERDA), Y PUNTERAS SUPERIORES COLOCADAS A PRESIÓN (DERECHA).

3. Verificar que queden alineadas correctamente, como se ve en la figura 3



FIGURA 3. PUNTERA SUPERIOR ALINEADA CON EL PIE DE RIENDA.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

4. Una vez armado el tubo de la torre y las planchuelas de la base, ensablar la "araña" de anclaje de los tensores (P6) atornillándola. Para esto, hay que introducir la puntera superior (P4) en las muescas de la "araña" (P6) y fijarla con los tornillos de 1/4" x 25mm (T2), ajustándolos solo hasta el final del recorrido sin apretarlos (recordar que se trata de una articulación móvil). El resultado debe ser similar al de la figura 4.

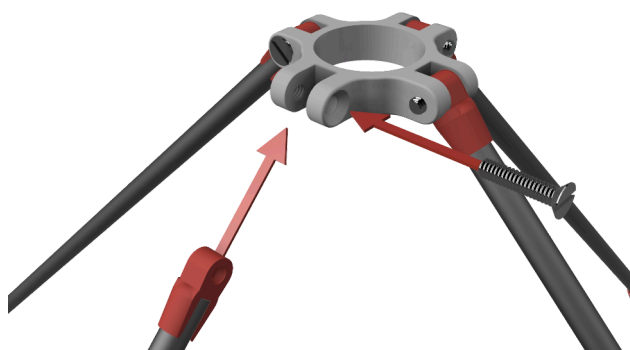


Figura 4. Ensamble de araña y tensores.

5. A continuación, hay que introducir el tubo de la torre en la araña con los tensores colocados, desplazarla hacia abajo y girarla hasta alinearla con las planchuelas de la base. Con un atornillador eléctrico (con el torquímetro ajustado a la fuerza de apriete mínima), hay que ajustarla a la torre mediante el tornillo T1 (autoperforante, de punta de mecha), que está incluido en el kit.

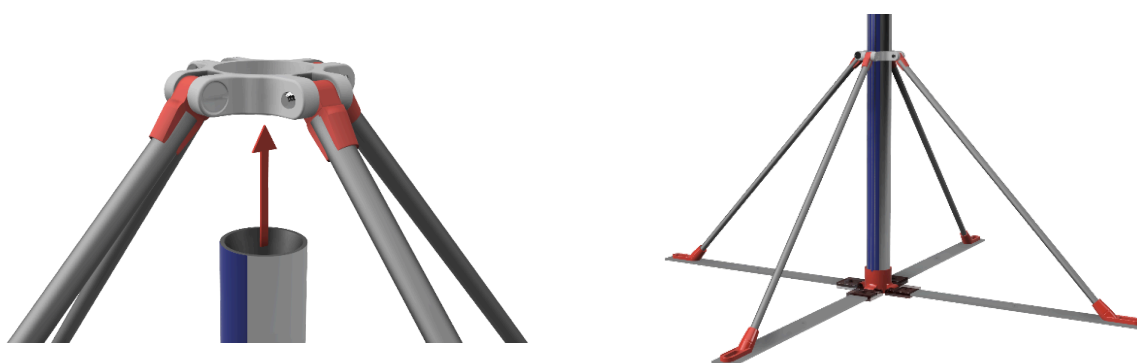


Figura 5. Colocación de la araña y ajuste.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

6. Para finalizar el armado de la torre, los pasos a seguirson:

- Colocar el tornillo de 1/4" x 25mm (T2) desde abajo hacia arriba;
- Colocar una arandela BISELADA (T5) y, a continuación, la mariposa de 1/4" (T4) (Figura 6). ¡No ajustar aún!
- Asegurarse de que el tubo de torre esté perfectamente vertical sobre la superficie de apoyo;
- Acomodar los pies de rienda y, recién en ese momento, ajustar una a una las mariposas de ajuste;
- Una vez verificado el apoyo firme de la torre, sin movimientos ni holguras, dar un ajuste final y con esto se concluye el armado de la torre.

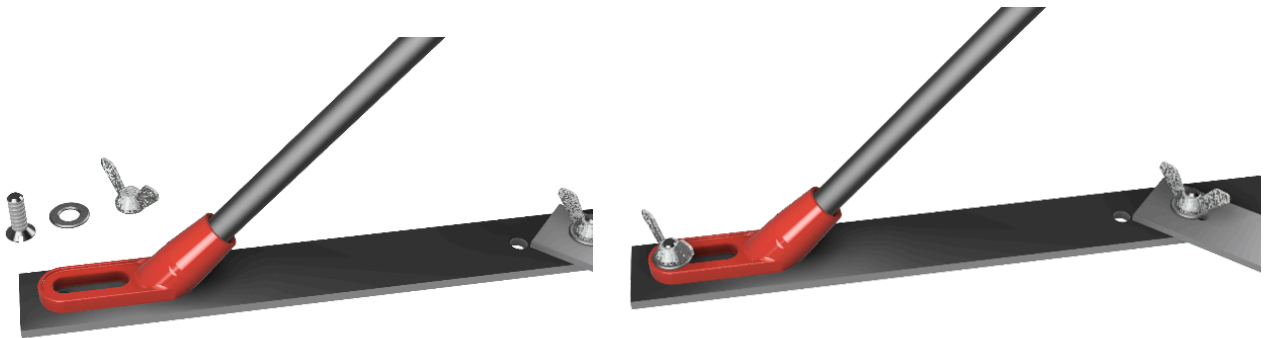


Figura 6. Ajuste de cada soporte de los tensores Con tornillo y mariposa.

7. Como último paso, hay que fijar la planchuela de soporte de la consola electrónica del aerogenerador. Para esto, utilizaremos la planchuela provista (más corta y con tres agujeros iguales) y la fijaremos a dos de las planchuelas de la base, tal y como se muestra en la figura 7.

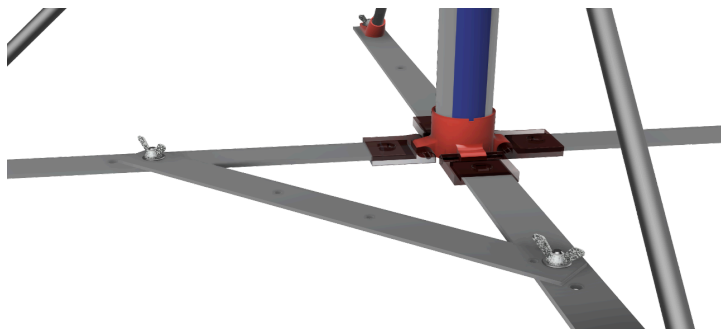


Figura 7: Montaje de la planchuela de soporte de la caja de electrónica

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

8. La torre ya está armada. Debería verse como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 8: Torre completamente ensamblada

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

PASO 2: ARMADO DEL CABEZAL DEL GENERADOR.

El cabezal del aerogenerador es el elemento que contiene el alternador, encargado de transformar la energía mecánica entregada desde la hélice en corriente eléctrica alterna trifásica. Posee, además, un timón con una veleta que se encarga de orientar el aerogenerador hacia el viento. Gracias a su sistema de furling, se protege el equipo contra vientos fuertes. El proceso consiste en armar piezas mecánicas y soldar componentes eléctricos.

Serán necesarias las siguientes herramientas: una pinza universal o de punta, un destornillador plano pequeño, una llave fija de 13 mm, un cúter, papel de lija y un soldador de estaño (Cautín).

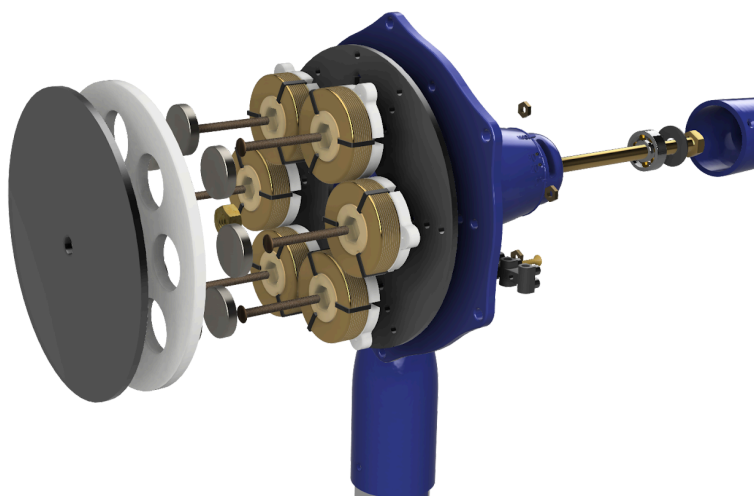


Figura 9: Vista en explosión del cabezal

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

1. El primer paso es ensamblar el rotor, que está compuesto por el eje, el rotor del alternador, los rodamientos y las arandelas espaciadoras. Para esto, hay que colocar los rodamientos en el cabezal y pasar el eje a través del cabezal con las correspondientes tuercas y arandelas, como se muestra en la Figura 10.

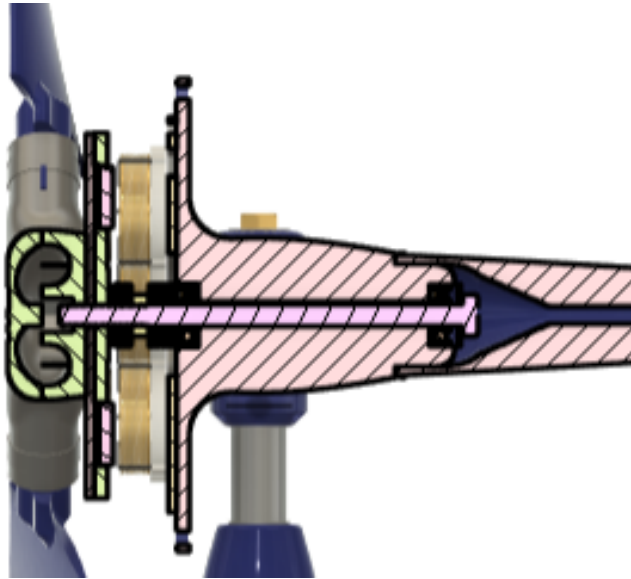


Figura 10. Cabezal, con vista en corte con eje, tuercas y arandelas.

2. Ubicar los dos lados del cabezal: tiene un lado biselado (que corresponde a la parte inferior) y un lado redondeado (que corresponde a la parte superior).

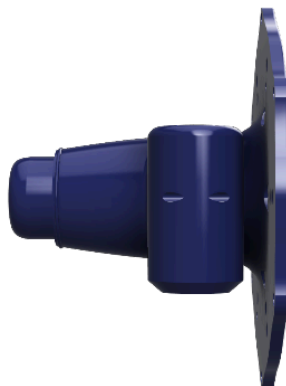


Figura 11. Lados del cabezal: biselado ("inferior") y redondeado ("superior").

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

3. Posicionar el disco estator sobre el cabezal. El disco estator tiene una flecha (ver Figura 12) que debe colocarse en la parte superior del cabezal identificado anteriormente.

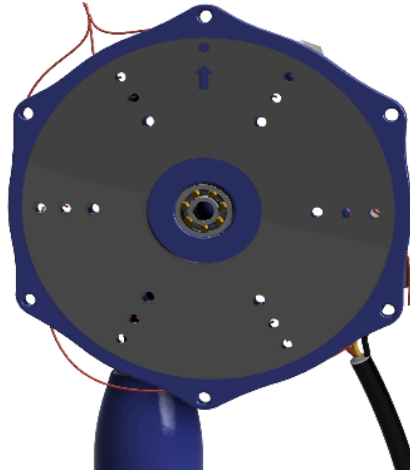


Figura 12. Indicación de flecha en el disco estator.

4. Tomar una bobina e identificar en ella sus dos extremos, cada uno con un tramo de alambre. Un extremo (denominado "extremo interior") sale del centro de la bobina, mientras que el otro extremo (denominado "extremo exterior") sale de su borde, como se muestra en la Figura 13.

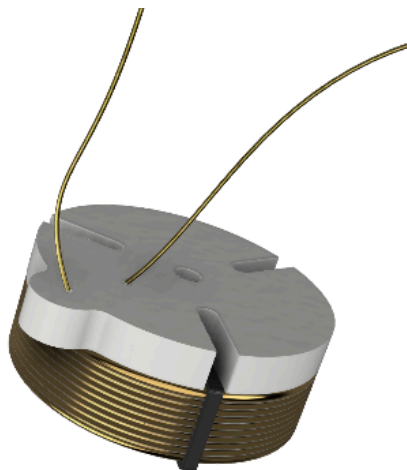


Figura 13. Extremos interior y exterior de cada bobina.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

5. Para fijar las bobinas en el estator, seguir estos pasos:

- Identificar en el disco estator los 6 conjuntos de agujeros (con 3 agujeros cada uno) sobre los que se colocará una bobina en los pasos siguientes.
- El agujero interno, el más grande, es el punto de fijación de la bobina. Los dos externos de menor diámetro, sirven para pasar los alambres internos y externos de la bobina y posicionarla como se muestra en la Figura 14.
- Una vez posicionada la bobina, colocar un tornillo de bronce (T7) con una arandela (T9) desde la parte frontal de la bobina hacia la trasera y, a continuación, ajustar con una arandela (T9) y una tuerca de bronce (T8) en la parte trasera del cabezal, apretando firmemente y teniendo cuidado de que el conjunto no gire al apretar el tornillo. Si esto ocurriera, podría dañarse el esmalte de los alambres y producirse un cortocircuito en la bobina. Se debe ser muy cuidadoso en esta etapa.
- Ajustar hasta que el disco de acero no se mueva de su posición, que se observa en las figuras 14 y 15.

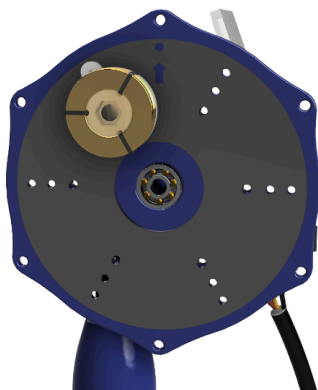


Figura 14. Disco estator con la primera bobina ubicada correctamente.

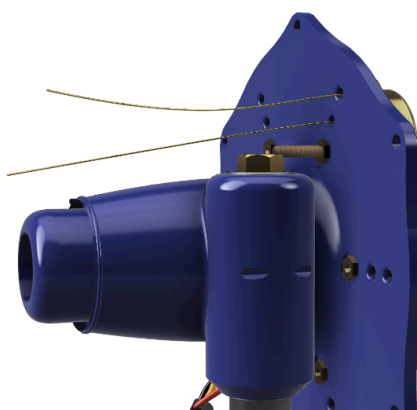


Figura 15. Extremos de la bobina en el disco estator: el extremo exterior sobre el agujero exterior y el extremo interior sobre el agujero central.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

6. Para terminar de colocar las bobinas en el disco estator, repetir los pasos 4 y 5 hasta ubicar las 6 bobinas en el disco estator pasando los dos extremos de cada bobina por los agujeros correspondientes y ajustándola con un tornillo, una arandela y una tuerca en cada caso, tal como se muestra en la Figura 16.

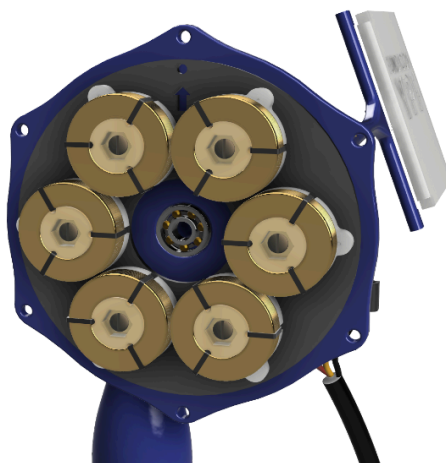


Figura 16. Bobinas colocadas en el disco estator.

7. Colocar la bornera tripolar sobre el disco estator tal como se muestra en la Figura 17, ajustándola con un tornillo Philips autopercorante (T10).

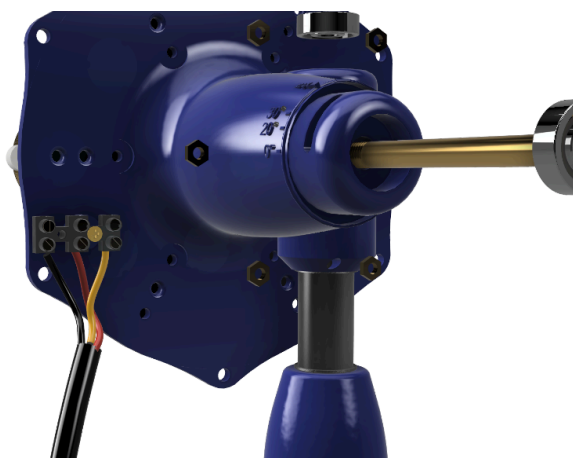
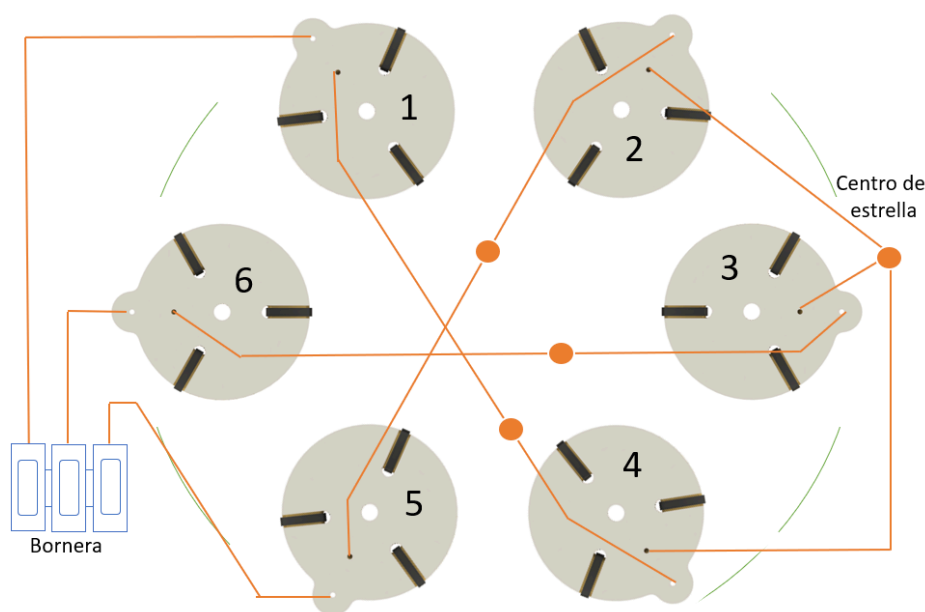


Figura 17. Ubicación de la bornera tripolar en el cabezal tras el estator.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

8. Una vez posicionadas las bobinas, hay que realizar las conexiones entre ellas y con la bornera tripolar. Para eso, enumerar las bobinas del 1 al 6 y hacer una conexión en estrella trifásica. Para ello, hay que realizar las siguientes conexiones con soldadura de estaño siguiendo el siguiente circuito eléctrico:



9. Realizar cada una de esas conexiones con estaño y un soldador de estaño (no provisto en el kit) de la siguiente manera:

a) Primero, tomar los dos extremos del cable a unir y lijar el esmalte que recubre el cobre (aproximadamente 2 cm) con ayuda de un cúter o bien de un papel de lija, hasta que se vea el cobre brillante, sin nada de esmalte.

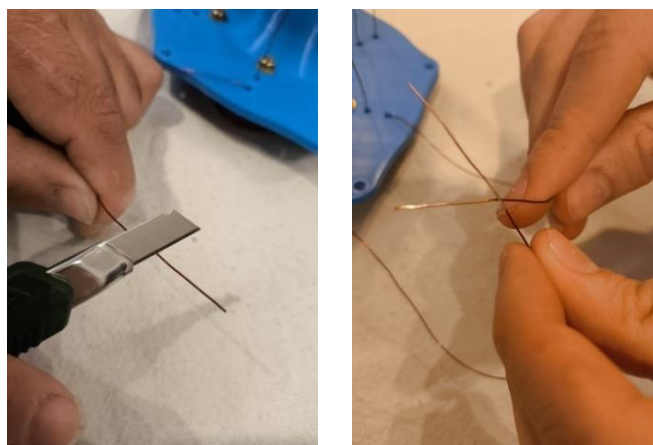


Figura 18. Cables de una bobina lijados.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

b) Luego, pasar un tubo termocontraíble de 4 mm en un cable y uno de 6 mm en el otro, y trenzar ambos extremos, como se muestra en la Figura 19.

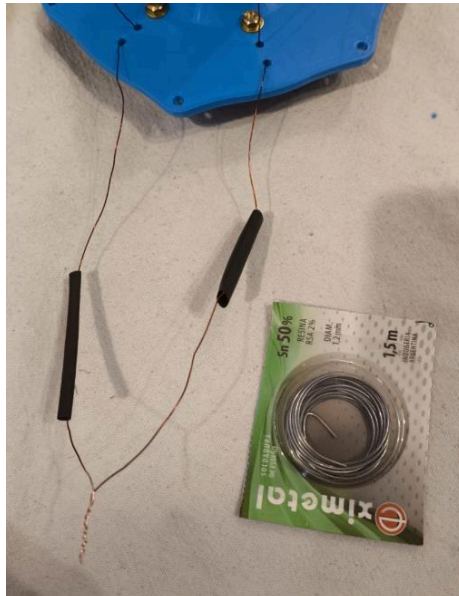


Figura 19. Tubos termocontraíbles colocados en los cables

c) Estañar el conjunto, tal como se muestra en la Figura 20.

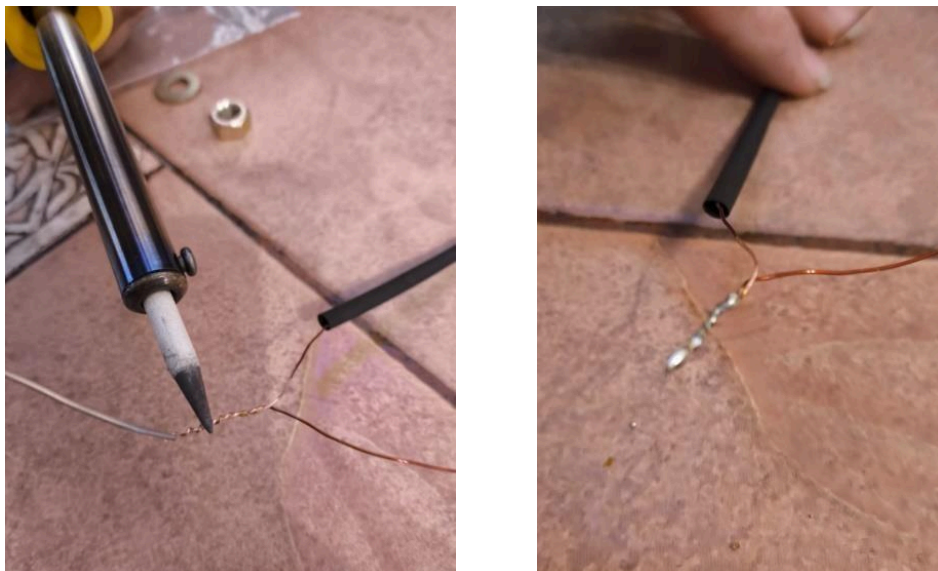


Figura 20. Estañado de los cables.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

d) Colocar el tubo termocontraíble más chico sobre la unión estañada, y sobre el mismo, el segundo tubo termocontraíble tal como se ve muestra en la figura 21.

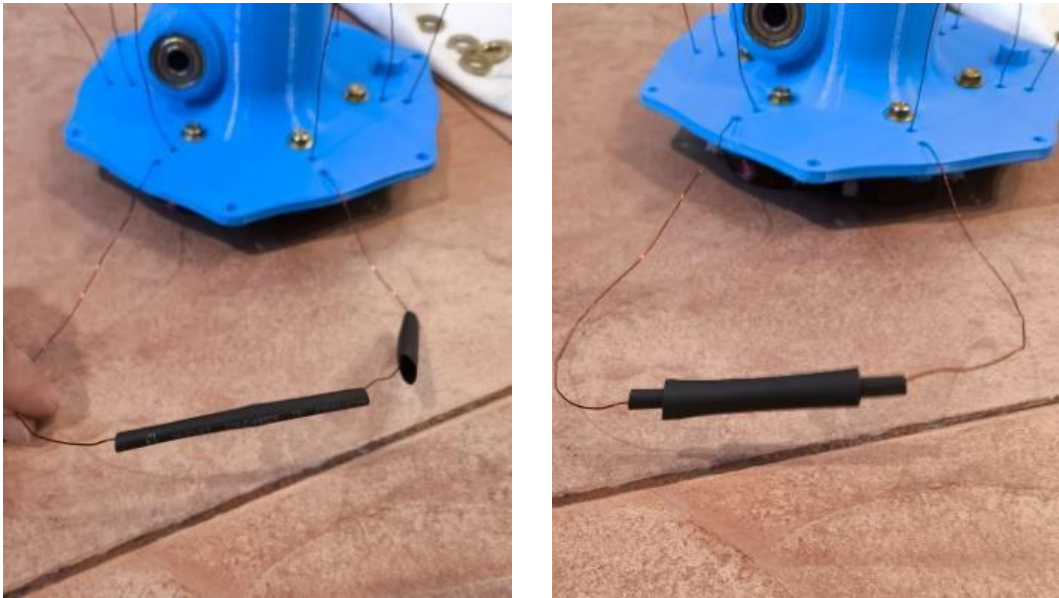


Figura 21. Tubos termocontraíble colocados sobre la unión estañada.
Paso 5: conexión de la consola

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

10. Repetir el paso 8 hasta completar todas las uniones detalladas en el paso 7 para terminar de armar el estator.

Una vez realizadas las conexiones eléctricas, se puede proceder al montaje del cabezal con el eje de pivote del aerogenerador. El sistema de pivot consiste en la punta de la torre, que tiene una guía para el eje de pivot, y un bulón de M8 x 145 mm (E1) montado en dos rodamientos.

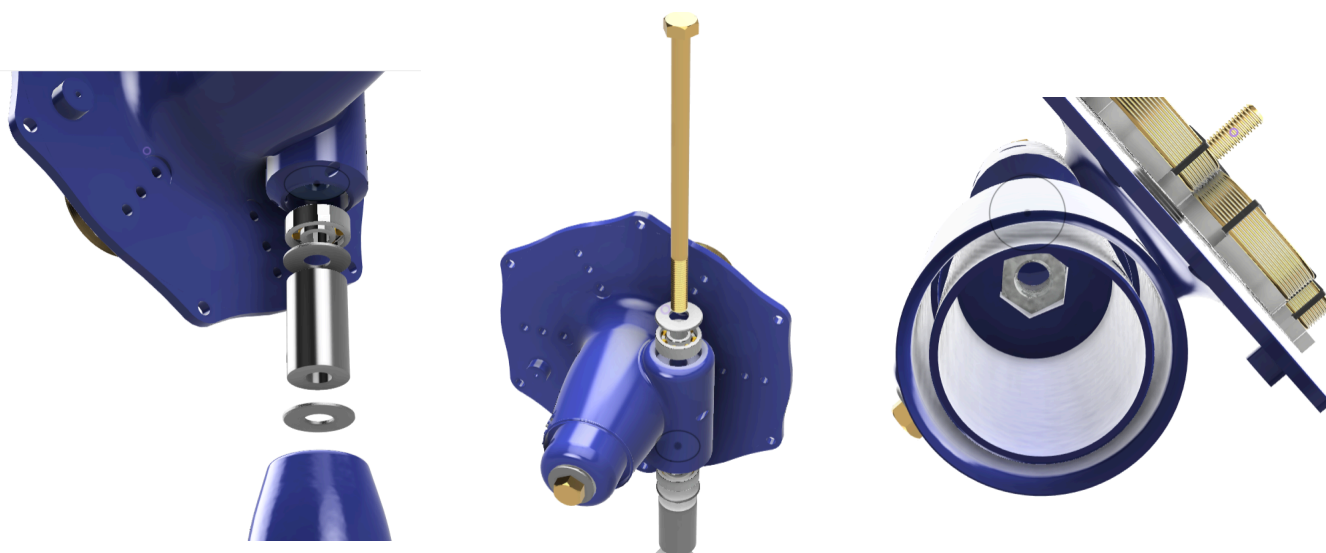


Figura 22: Vistas del montaje del cabezal con su mecanismo de pivotaje.

El cabezal completo, con el espaciador y sus arandelas, se enrosca en la tuerca dentro de la puntera superior de la torre. Este ajuste se realiza a mano, asegurando un movimiento suave de 360 grados en una dirección u otra.

Una vez realizada esta operación, se puede montar el conjunto del cabezal en la torre previamente ensamblada.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

PASO 3: ENSAMBLE FINAL DEL AEROGENERADOR EN LA TORRE Y CONEXIÓN ELÉCTRICA.

1. Colocar el disco de imanes sobre el conjunto para que quede armado el generador. Colocar las partes del generador en el orden que se muestra en la Figura 23.

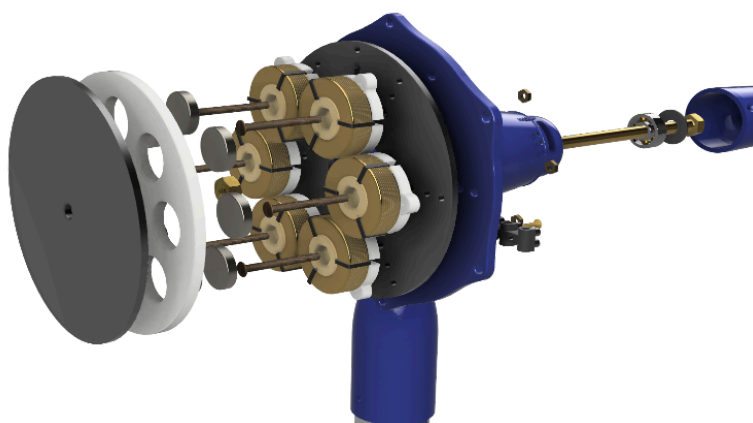


Figura 23. Orden de las partes del generador.

2. Colocar el conjunto de cabezal y estator en el extremo de la torre. El estator va simplemente a presión, ya que el propio peso lo mantiene en su lugar. Luego conectar los 3 alambres libres de las bobinas 1, 2 y 3 en la bornera tripolar y el cable TPR (Tipo taller) que viene desde la consola de electrónica, también a la bornera. El orden de los cables es indistinto.

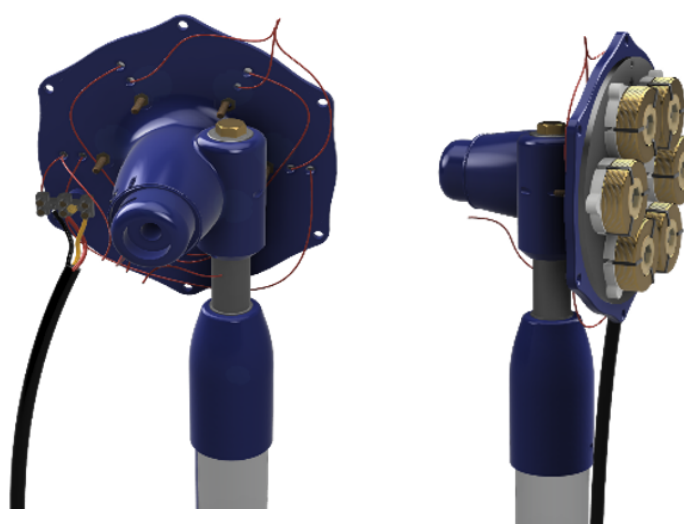


Figura 24. Conjunto cabezal y estator colocado en el extremo de la torre.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

PASO 4: ARMADO DE LAS ASPAS Y LA VELETA.

Para completar el armado del aerogenerador, solo quedará ensamblar y colocar la hélice y fijar el conjunto timón-veleta. Al armar la hélice, es importante verificar que las tres aspas tengan el mismo ángulo de ataque (Paso), observando la alineación, como se detalla más adelante.

Además, cuando montemos el timón, si entra muy ajustado, no hay que forzarlo. En su lugar, se debe lijar levemente el interior del cono del timón o el exterior del cabezal en la zona de encastre para conseguir una fijación suave, pero sin holguras. Para esta etapa necesitaremos un destornillador Phillips, una llave de 13 mm y un poco de papel de lija.

1- Desarmar y remover los tornillos del centro de hélice.



Figura 25. Centro de hélice desarmado.

2- Colocar las aspas de tal manera que la marca de cada aspa coincida con el alojamiento a tal fin en el centro de hélice. Las tres aspas deben tener la misma orientación.

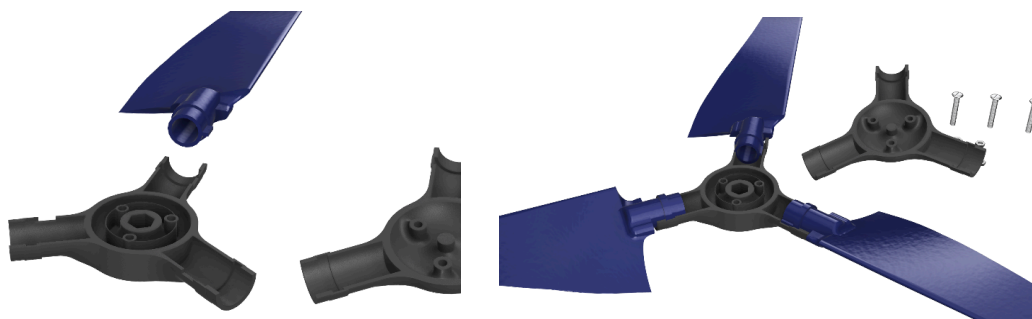


Figura 26. Aspas colocadas en el centro de hélice.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

3. Cerrar y atornillar los dos componentes del centro de la hélice con las aspas en posición. El centro de la hélice solo admite una posición, por lo que no se puede cerrar en cualquier orientación. La manera correcta es aquella en la que no se observa ninguna diferencia entre un lado y otro, es decir, que no presente ningún tipo de saliente al tacto.

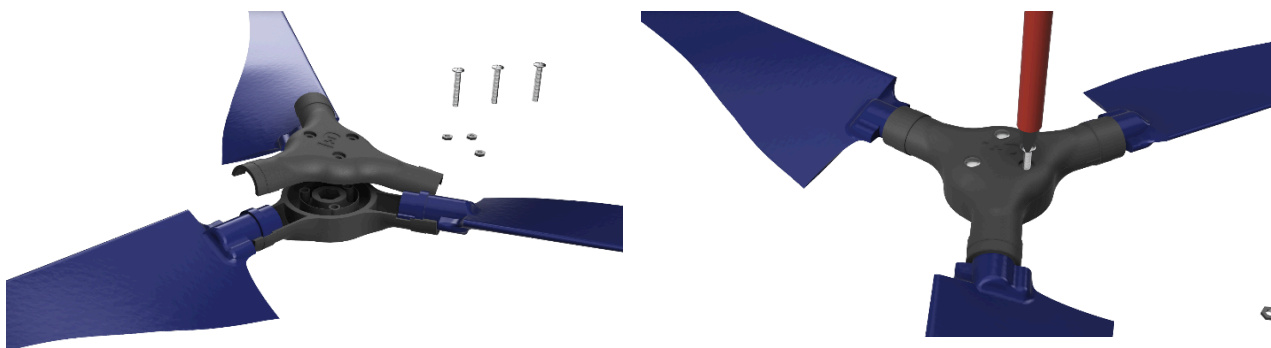


Figura 27. Centro de hélice cerrado con las aspas en posición.

4. Roscar el conjunto del centro de la hélice y las aspas sobre el disco del estator terminado. Para ajustarlo correctamente, hay que frenar el disco del estator con una mano y, con la otra, ajustar el conjunto del centro de la hélice y las aspas hasta que haga tope contra el disco.

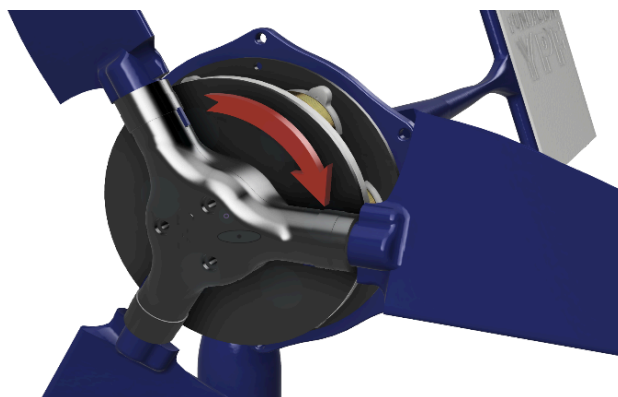


Figura 28. Unión entre el conjunto centro de hélice y aspas, y el disco del estator.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

5. Unir el timón con la veleta, tal como se muestra en la Figura 29.

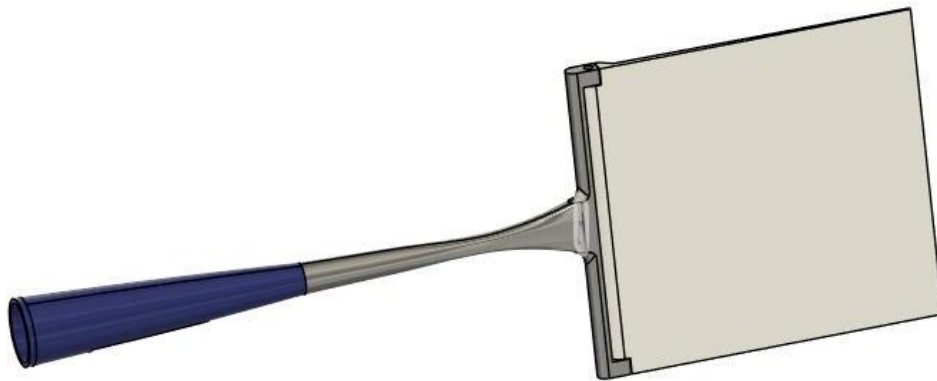


Figura 29. Timón unido a la veleta.

6. Colocar el eje de la veleta sobre el estator y ajustar el tornillo autoperforante que fija el eje de la veleta al estator en la posición "0".



Figura 30. Posición "0" del estator (lado derecho de la imagen).

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

PASO 5: CONEXIONADO DE LA CONSOLA.

El último paso antes de realizar las prácticas será colocar y conectar la consola electrónica del generador. Esta incluye un medidor de voltaje, corriente, energía y potencia, entre otros datos, que permitirán ver en tiempo real el comportamiento del generador. También incluye el rectificador, la bornera de conexión rápida para la batería y el interruptor del freno electromagnético. Solo necesitaremos un destornillador Phillips o plano para abrir y cerrar la consola y fijarla a la planchuela de soporte, que previamente ha sido atornillada a la torre.

1. Fijar la consola a la base articulada mediante la planchuela perforada con tornillos de 1/4" y las mariposas.

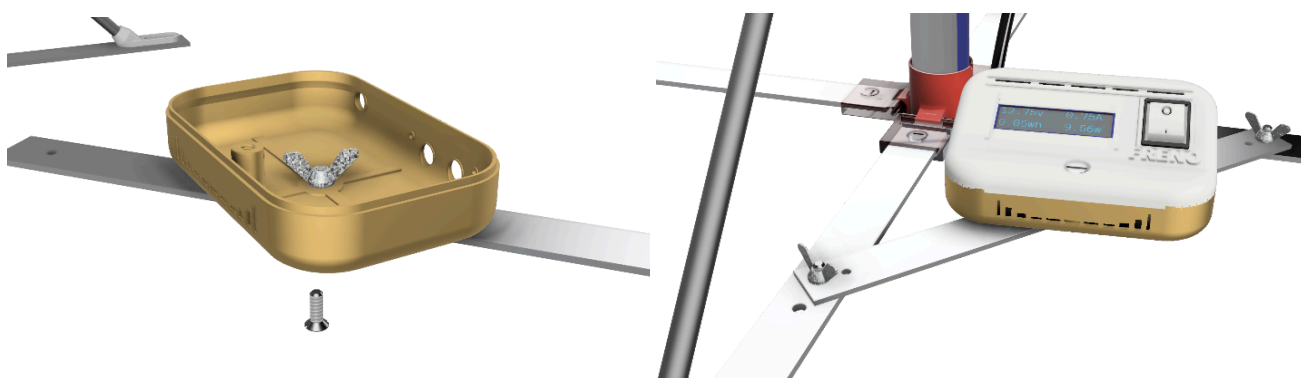


Figura 31. Consola fijada a la base articulada sobre la planchuela.

2. Conectar los 3 cables desde la consola a la bornera de presión en el estator.

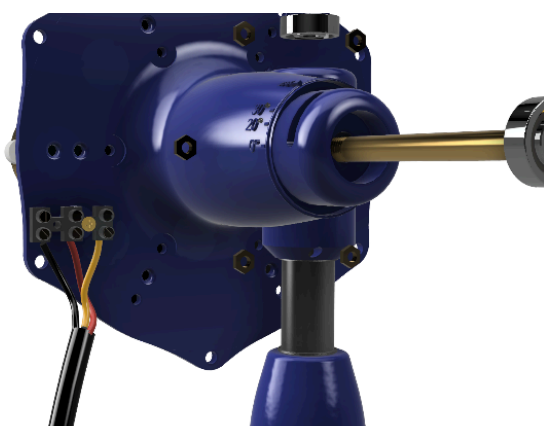


Figura 32. Cables conectados al estator.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

3. Luego, conectar la batería hasta la bornera de presión de la consola, respetando el código de colores de los cables provistos.



Figura 33. Batería conectada.

4. Una vez conectada a la batería, la consola debería encenderse y mostrar la información de tensión actual de la batería.



Figura 34. Consola encendida.

¡LISTO! YA SE PUEDE EXPONER AL AEROGENERADOR AL VIENTO Y COMENZAR CON LAS PRUEBAS.

PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

NOTA: una vez armado el generador y terminadas las prácticas, los estudiantes tendrán dos alternativas:

- Volver a cortar las conexiones realizadas y desmontar el conjunto de bobinas para que el siguiente grupo pueda rehacer la actividad.
- Dejar el estator ya fabricado para evitar el armado del kit en caso de que se utilice en otra ocasión y simplificar la próxima práctica en la que se utilice el equipo. Recomendamos este último procedimiento, ya que, a medida que cortemos los alambres, iremos retirando cobre de las bobinas y, en algún momento, este dejará de ser suficiente para realizar la conexión correcta.

EJERCICIOS PRÁCTICOS: PRUEBAS Y MEDICIONES

Una vez armado el kit “Experimento - Energía eólica”, proponemos distintos ejercicios prácticos para que los estudiantes apliquen lo aprendido hasta el momento y consoliden sus conocimientos. Con este fin, se llevarán a cabo mediciones del funcionamiento del aerogenerador para evaluar su comportamiento en diferentes configuraciones con el fin de comprender la influencia de las variables más relevantes en su desempeño.

En todos los casos, para realizar los ejercicios propuestos es necesario exponer el aerogenerador al viento. De lo contrario, se puede utilizar un ventilador. Es importante que el ventilador sea de una potencia de al menos 250W de potencia, o superior. Para que el ventilador sirva para las pruebas, deberá producir una velocidad de viento de al menos 5 m/s a un metro de distancia del mismo.

El aerogenerador comenzará a generar energía cuando la velocidad del viento sobre las aspas sea de alrededor de 3 m/s. Se recomienda contar con un anemómetro (no incluido en el kit) para medir la velocidad del viento. En caso de no contar con dicho instrumento, se puede buscar información del viento relativa al lugar y al horario en que se realizan las pruebas en la página web www.windguru.com, para tener una referencia de la velocidad del viento aproximada. Se recomienda además contar con un multímetro (no incluido en el kit) que permita medir la frecuencia para poder calcular las RPM de las aspas.

En primer lugar, se recomienda medir la velocidad de viento mediante un anemómetro, para luego verificar la generación obtenida. Las variables que se medirán son:

- Velocidad del viento;
- Voltaje obtenido;
- Corriente obtenida;
- Frecuencia de la corriente alterna a la salida del generador.

EJERCICIOS PRÁCTICOS: PRUEBAS Y MEDICIONES

Sobre la base de dichas variables, se podrán calcular los siguientes resultados:

- Potencia generada (en watts);
- Energía que se obtendría en un día con 12 horas equivalentes de dicho recurso eólico (es decir, un factor de capacidad del 50%);
- Revoluciones por minuto (RPM) de las aspas;
- Tip-speed ratio;
- Eficiencia total del sistema (entendida como ratio entre la energía obtenida y la energía cinética del viento que atraviesa las aspas).

Por último, para comprobar los cambios en los resultados, se alterarán algunos parámetros en los ejercicios prácticos. Las variables que se modificarán son las siguientes:

- Velocidad del viento;
- Ángulo de ataque de las aspas;
- Distancia entre el estator y el rotor en el generador.

Una vez conectados todos los componentes, son posibles múltiples pruebas y ejercicios prácticos. A continuación se proponen algunos, pero se pueden realizar otros que los docentes y/o las y los alumnos crean pertinentes.

Como ayuda para realizar los ejercicios, a continuación, detallamos las principales fórmulas e instrucciones que permitirán calcular los parámetros de funcionamiento del aerogenerador:

Cómo calcular las RPM a las que gira la hélice.

- Medir frecuencia (en Hz). **1 Hz = 1 ciclo / segundo**. Esta medición se realizará sobre la bornera de conexión, usando un multímetro sobre dos fases cualquiera del alternador;
- Calcular revoluciones por segundo. **RPS = Hz/4**. Esto es debido a que el alternador posee 4 polos (o Dipolos, pares de imanes). Es importante aclarar que este número dependerá de la cantidad de polos de cada alternador en particular, valor que necesariamente cambiará de un equipo a otro de diferente diámetro;
- Calcular revoluciones por minuto. **RPM = RPS x 60**.

EJERCICIOS PRÁCTICOS: PRUEBAS Y MEDICIONES

Cómo calcular el Tip-Speed-Ratio de la hélice.

- Medir largo del aspa (L). Calcular Diámetro. $D = 2 \times L$ (en metros);
- Calcular perímetro de la hélice ($P = \pi \times D$, en metros);
- Calcular velocidad tangencial de la punta del aspa (en m/s). $V_t = RPS \times P$;
- Medir velocidad del viento que incide sobre las aspas (V_v);
- Calcular Tip Speed Ratio. $TSR = V_t/V_v$.

Cómo interpretar los datos obtenidos.

- El TSR indica el ángulo de ataque del viento que incide sobre el borde de ataque;
- El TSR óptimo para estas aspas debería ubicarse entre 5 y 8. El número ideal para cualquier generador es 7;
- Si el TSR es muy bajo las aspas pueden entrar en pérdida, tener poca velocidad y poca eficiencia;
- Si el TSR es muy alto hay mucha fuerza de arrastre, poca sustentación, alta velocidad y bajo torque. También mucho ruido.

EJERCICIOS PRÁCTICOS: PRUEBAS Y MEDICIONES

Ejercicio 1: Medición de la velocidad de viento

Instrucciones: Medir la velocidad del viento en varios puntos del sitio de pruebas.

Preguntas:

1. ¿Qué diferencias notan en las distintas velocidades del viento? ¿A qué se puede deber?
2. ¿Cómo influye la presencia de obstáculos en la estabilidad del flujo del viento?
3. Si tuvieran la posibilidad de medir a diferentes alturas: ¿Qué esperarían que suceda con la velocidad del viento?
4. Según sus mediciones: ¿consideran que el sitio de pruebas es adecuado para la instalación de un aerogenerador? ¿Qué mejoras podrían hacer para optimizarlo?

Ejercicio 2: Generación de potencia

Instrucciones: Registrar la generación de tensión y la corriente para cada velocidad del viento.

Preguntas:

1. ¿Cómo varía la potencia generada a medida que aumenta la velocidad del viento? ¿Es una relación lineal o exponencial?
2. ¿La potencia generada varía dependiendo de la carga conectada al aerogenerador? ¿Cómo lo explicarías?
3. ¿Hay un punto en el que el aerogenerador deja de aumentar su potencia a pesar de que el viento sigue aumentando? ¿Por qué ocurre esto?
4. ¿Cuál es la curva de potencia del aerogenerador? (m/s - W)

EJERCICIOS PRÁCTICOS: PRUEBAS Y MEDICIONES

Ejercicio 3: Tensión de funcionamiento

Instrucciones: Con un multímetro medir la tensión en la bornera de presión del estator en AC. Luego, registrar la tensión DC en la pantalla digital.

Preguntas:

1. ¿El aerogenerador produce AC o DC?
2. ¿Qué instrumento es el encargado de pasar de corriente en AC a DC?
3. ¿Cómo varía la tensión en AC cuando aumenta la velocidad del viento? ¿Y la tensión en DC?
4. ¿Cómo cambia la tensión cuando se conecta una carga al sistema? ¿Disminuye, se mantiene o aumenta?
5. ¿Por qué el aerogenerador no puede cargar directamente una batería con corriente alterna?

Ejercicio 4: Freno eléctrico

Instrucciones: Con el aerogenerador girando a la máxima velocidad posible, apretar el interruptor de freno de la consola.

Preguntas:

1. ¿Qué sucede al apretar el interruptor de freno de la caja electrónica?
2. ¿Cómo actúa el freno eléctrico sobre el aerogenerador? ¿Por qué se detiene?
3. ¿Qué otras formas de frenado existen en aerogeneradores de mayor tamaño? ¿Cómo se comparan con el freno eléctrico?
4. ¿Qué sucede con la tensión y la corriente en las terminales del generador cuando se acciona el freno?
5. ¿Por qué es importante contar con un sistema de frenado en un aerogenerador? ¿Cuándo debería usarse?

EJERCICIOS PRÁCTICOS: PRUEBAS Y MEDICIONES

Ejercicio 5: Variación de paso de las aspas

Instrucciones: Repetir el Ejercicio 2 descrito anteriormente, pero variando el paso de las aspas.

Preguntas:

- 1.¿Cómo varía la potencia generada cuando cambiamos el ángulo de las aspas? ¿Existe un ángulo óptimo?
- 2.¿Podemos encontrar experimentalmente el ángulo óptimo de paso de las aspas con nuestro kit? ¿Cómo lo haríamos?
- 3.¿Cómo influye el ángulo de las aspas en la relación entre la velocidad del extremo de la pala y la velocidad del viento (Tip-Speed Ratio, TSR)?

Ejercicio 6: Variación de distancia entre rotor y estator

Instrucciones: Repetir el Ejercicio 2 descrito anteriormente, pero variando la distancia entre rotor y estator.

Preguntas:

- 1.¿Cómo influye la distancia entre el rotor y el estator en la potencia generada?
- 2.¿Cómo cambia la eficiencia del generador al aumentar la distancia entre rotor y estator?
- 3.¿Cómo cambia la tensión de salida del generador al modificar la distancia entre rotor y estator?
- 4.¿La distancia entre rotor y estator influye en la frecuencia de la corriente alterna generada?

EJERCICIOS PRÁCTICOS: PRUEBAS Y MEDICIONES

Ejercicio 7: Medición de frecuencia

Instrucciones: Con el multímetro, medir la frecuencia de la alterna que sale del generador.

Preguntas:

1. ¿Cómo se relaciona la frecuencia medida con la velocidad de giro del rotor?
2. ¿Cómo podemos calcular la velocidad de giro del rotor si conocemos la frecuencia?
3. ¿Cómo podemos usar la frecuencia medida para calcular el tip-speed ratio (TSR)?
4. ¿Cómo influye el número de fases del generador en la frecuencia de la señal de salida?
5. ¿Cómo se compara la frecuencia generada con la frecuencia de la red eléctrica? ¿Es necesario adaptar la frecuencia antes de inyectarla a la red?

Ejercicio 8: Cálculo de eficiencia

Instrucciones: Para los Ejercicios 2, 5, 6 y 7 antes descritos, calcular la eficiencia del aerogenerador como ratio entre la potencia generada y la potencia cinética del viento incidente sobre el rotor de aspas.

Preguntas:

1. ¿Cómo se define la eficiencia de un aerogenerador?
2. ¿Cómo calculamos la potencia del viento que impacta sobre el rotor?
3. ¿Cómo se calcula la potencia eléctrica que entrega el aerogenerador?
4. ¿Cómo se compara la eficiencia medida con valores típicos de aerogeneradores comerciales?

EJERCICIOS PRÁCTICOS: PRUEBAS Y MEDICIONES

ATENCIÓN: Para finalizar, después de realizar los ejercicios, hay que guardar todos los materiales ordenados en sus cajas correspondientes, según la tabla de componentes del kit, para que otros grupos puedan continuar utilizándolo. Hay que tener en cuenta que el estañado de los empalmes de cobre de las bobinas es un proceso irreversible. Recomendamos dejarlo así, especialmente porque la longitud de los cobres irá disminuyendo hasta dejar de ser operativo.

DEBATE FINAL Y CONCLUSIONES

Para cerrar la actividad pedagógica, se llevará a cabo un debate final teniendo en cuenta las consideraciones ya realizadas sobre el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y la integralidad del enfoque STEM.

Como ya hemos visto, el ABP implica un papel activo de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje para lograr un aprendizaje significativo y duradero que les permita integrar los contenidos y las prácticas específicas de los temas de estudio, así como desarrollar habilidades metacognitivas y competencias interpersonales.

En este sentido, se fomentará la participación activa de los estudiantes durante el debate, en el que también se abordarán cuestiones relacionadas con la actividad, su desarrollo y las formas de enseñar el contenido en el aula. También se recogerán las sugerencias de mejora o variantes del kit didáctico y de la actividad en sí que puedan aportar los estudiantes.

Finalmente, se buscará cerrar el debate grupal con conclusiones acerca de los contenidos, de los ejercicios prácticos y de sus resultados, lo que les permitirá a las y los alumnos consolidar estos nuevos conocimientos.

EnergíaJoven

Proyecto #EnergíaJoven

ENERGÍA EÓLICA Kit didáctico

Manual educativo para la construcción de un aerogenerador

www.energiajoven.ar

info@energiajoven.ar

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE

Cofounded by:



WISIONS
of sustainability

Implemented by:



Wuppertal
Institut

SIEMENS | Fundación



on the basis of a decision
by the German Bundestag