

Universidad Ricardo Palma

Facultad de Ciencias Biológicas

“Construcción de un generador eólico”

Integrantes:

- Torres Zevallos, Uriel
- Farfán Garay, Juan Sebastian
- Sánchez, Carlos

Profesor : Ramírez Jiménez, Iván

Fecha de entrega: martes 11 de diciembre del 2014

ABSTRACT

Approximately 2% of the energy coming from the sun is transformed into kinetic energy of atmospheric winds. 35% of this energy is dissipated in the atmospheric layer just a mile above the ground. The rest is estimated that by its randomness and dispersion may be used only 1/13 part number would have been enough to supply 10 times the world's primary energy consumption in 2002, hence its enormous potential. The air mass is moving kinetic energy can be transformed into electrical energy. By influencing the wind on the blades of a wind turbine rotational mechanical work which moves in turn a generator to produce electricity is produced. The amount of energy contained in the wind before passing through a rotor in motion depends on three parameters: the incoming wind speed, air density and the area swept by the rotor. The rate at which air passes through the blades is decisive, because the kinetic energy of wind increases as the cube of the speed at which it moves.

RESUMEN

Aproximadamente el 2% de la energía que llega del sol se transforma en energía cinética de los vientos atmosféricos. El 35% de esta energía se disipa en la capa atmosférica a tan solo un kilómetro por encima del suelo. Del resto se estima que por su aleatoriedad y dispersión solo podría ser utilizada 1/13 parte, cantidad que hubiera sido suficiente para abastecer 10 veces el consumo de energía primaria mundial del año 2002, de ahí su enorme potencial.

La masa de aire en movimiento es energía cinética que puede ser transformada en energía eléctrica. Al incidir el viento sobre las aspas de una turbina eólica se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve a su vez un generador para producir electricidad. La cantidad de energía que contiene el viento antes de pasar por un rotor en movimiento depende de tres parámetros: la velocidad del viento incidente, la densidad del aire y el área barrida por el rotor.

La velocidad a la que el aire pasa por las aspas resulta determinante, pues la energía cinética del viento aumenta proporcionalmente al cubo de la velocidad a la que se mueve.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Construir una réplica del generador eólico, propuesto por el Dr. Navasquillo.

Objetivos específicos:

- Convertir la energía del viento en energía eléctrica.
- Encender el led o diodo.
- Hacer que el generador eólico funcione con la fuerza del viento.

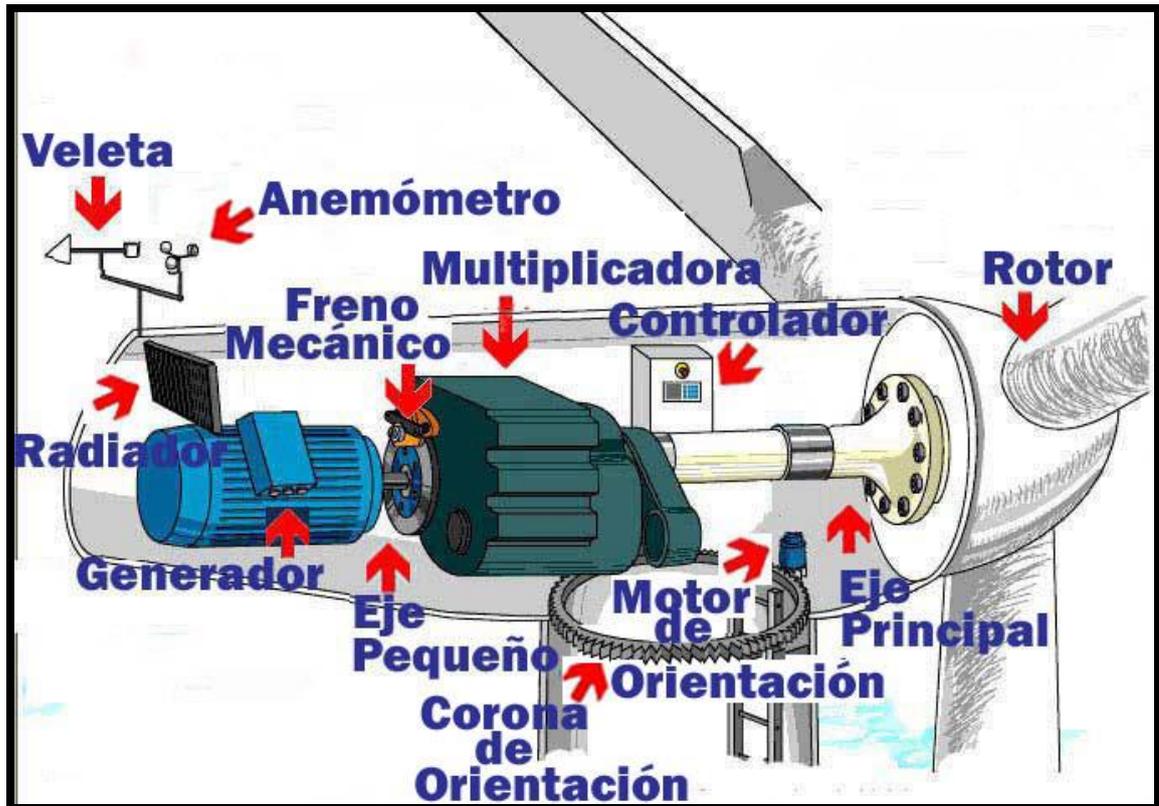
TEORÍA



Partes de nuestro generador eólico:

- **Turbina eólica:**
Para que funcione se requiere que el viento llegue perpendicularmente a las aspas, entonces, la fuerza del viento se convierte en energía mecánica rotatoria. La turbina eólica está unida mediante un eje al rotor. De modo que, cuando gira la turbina eólica también gira el rotor.
- **Estator:**
Esta pieza en comparación con las demás partes no posee movimiento, aquí es donde se encuentran las bobinas, el estator también recibe el nombre de inducido, dado que es inducido por el inductor o rotor.
- **Rotor:**
El inductor o rotor es la parte más fundamental del sistema, debido a que genera una variación de campo magnético sobre las bobinas, y estas a su vez generan un campo eléctrico.

Generador eólico comercial:



- **Multiplicadora:**
La función de la multiplicadora es multiplicar las rpm, esto se debe, a que los grandes generadores eólicos son muy pesados, y por lo tanto, la turbina eólica alcanza unas 50rpm por minuto, entonces la caja multiplicadora compuesta por engranajes o poleas multiplica esas 50rpm por minuto hasta alcanzar 60 veces su valor inicial, o sea un aproximado de 3000 revoluciones por minuto.
- **Anemómetro:**
Es un aparato meteorológico que se usa para la predicción del clima y, específicamente, para medir la velocidad del viento. Asimismo es uno de los instrumentos de vuelo básico en el vuelo de aeronaves más pesadas que el aire.
- **Radiador:**
Se conoce por radiador al dispositivo que permite intercambiar calor entre dos medios. Sirve para disipar calor de un objeto o aparato para evitar su sobrecalentamiento o para calentar un espacio o un objeto; es esencial para un aerogenerador que está cubierta por una carcasa.

Tipos de generadores eólicos

Según el eje del rotor:

1) Eje vertical:

Sus principales ventajas son que no necesita un sistema de orientación al ser omnidireccional y que el generador, multiplicador, etc., son instalados a ras de suelo, lo que facilita su mantenimiento y disminuyen sus costes de montaje. Sus desventajas frente a otro tipo de aerogeneradores son sus menores eficiencias, la necesidad de sistemas exteriores de arranque en algunos modelos, y que el desmontaje del rotor por tareas de mantenimiento hace necesaria que toda la maquinaria del aerogenerador sea desmontada.

Aerogenerador Savonius

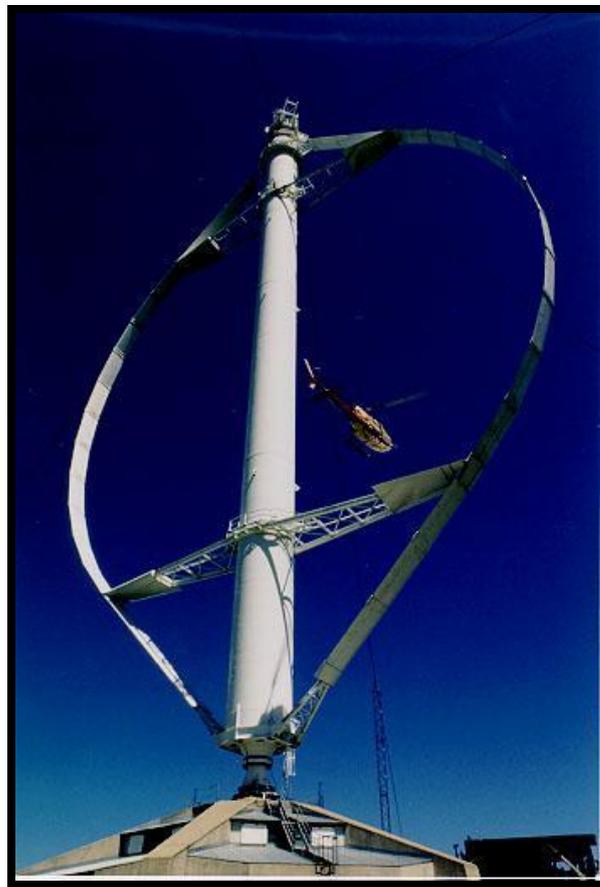
Es el modelo más simple de rotor, consiste en cilindros huecos desplazados respecto su eje, de forma que ofrecen la parte cóncava al empuje del viento, ofreciendo su parte convexa una menor resistencia al giro. Se suele mejorar su diseño dejando un espacio entre ambas caras para evitar la sobre presión en el interior de la parte cóncava. Pueden construirse superponiendo varios elementos sobre el eje de giro.

No son útiles para la generación de electricidad debido a su elevada resistencia al aire. Su bajo coste y fácil construcción les hace útiles para aplicaciones mecánicas.



Aerogenerador Darrieus:

Patentado por G.J.M. Darrieus en 1931, es el modelo de los aerogeneradores de eje vertical de más éxito comercial. Consiste en un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o más finas palas en curva unidas al eje por los dos extremos, el diseño de las palas es simétrico y similar a las alas de un avión, el modelo de curva utilizado para la unión de las palas entre los extremos del rotor es el de Trososkien, aunque puede utilizarse también catenarias. Evita la necesidad de diseños complejos en las palas como los necesarios en los generadores de eje horizontal, permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, aunque sin alcanzar las generadas por los modelos de eje horizontal, pero necesita de un sistema externo de arranque.



Aerogenerador Giromill

Este tipo de generadores también fueron patentados por G.J.M. Darrieus. Consisten en palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, que pueden salir por los extremos del aspa e incluso desde su parte central. Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento.



Aerogenerador Windside

Es un sistema similar al rotor Savonius, en vez de la estructura cilíndrica para aprovechamiento del viento, consiste en un perfil alabeado con torsión que asciende por el eje vertical. La principal diferencia frente a otros sistemas de eje vertical es el aprovechamiento del concepto aerodinámico, que le acerca a las eficiencias de los aerogeneradores de eje horizontal.



2) Eje horizontal:

En la actualidad la gran mayoría de los aerogeneradores que se construyen conectados a red son tripala de eje horizontal. Los aerogeneradores horizontales tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de giro, además debido a la construcción elevada sobre torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura.

Los modelos de eje horizontal puede subdividirse a su vez por el número de palas empleado, por la orientación respecto a la dirección dominante del viento y por el tipo de torre utilizada:

Tripala

Es el más empleado en la actualidad, consta de 3 palas colocadas formando 120° entre sí. Un mayor número de palas aumenta el peso y coste del aerogenerador, por lo que no se emplean diseños de mayor número de palas para fines generadores de energía de forma comercial, aunque sí para fines mecánicos como bombeo de agua etc.



Bipala

Ahorra el peso y coste de una de las palas respecto a los aerogeneradores tripala, pero necesitan mayores velocidades de giro para producir la misma energía que aquellos. Para evitar el efecto desestabilizador necesitan de un diseño mucho más complejo, con un rotor basculante y amortiguadores que eviten el choque de las palas contra la torre.



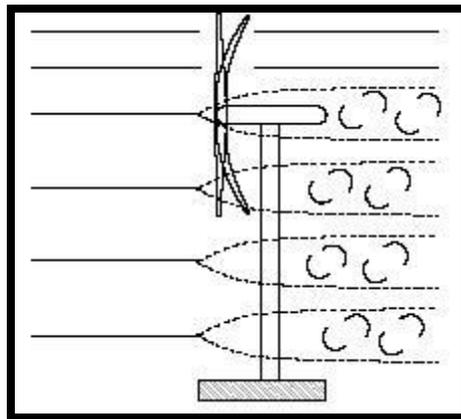
Monopala

Tienen, en mayor medida, los mismos inconvenientes que los bipala, necesitan un contrapeso en el lado opuesto de la pala, por lo que el ahorro en peso no es tan significativo.



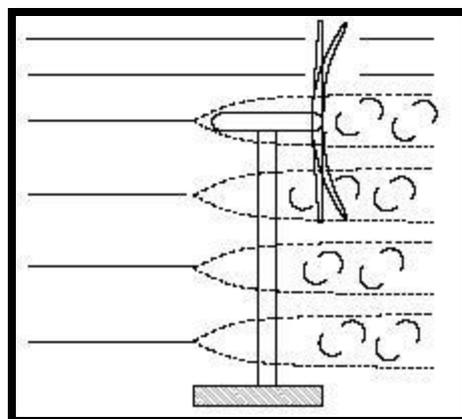
Orientadas a barlovento

Cuando el rotor se encuentra enfocado de frente a la dirección del viento dominante, consigue un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento que en la opción contraria o sotavento, pero necesita un mecanismo de orientación hacia el viento. Es el caso inmensamente preferido para el diseño actual de aerogeneradores.



Orientadas a sotavento

Cuando el rotor se encuentra enfocado en sentido contrario a la dirección del viento dominante, la estructura de la torre y la góndola disminuye el aprovechamiento del viento por el rotor, en este caso el viento es el que orienta con su propia fuerza a la góndola, por lo que no son necesarios elementos de reorientación automatizada en la teoría, aunque si suelen utilizarse como elemento de seguridad. Las palas y la góndola son construidos con una mayor flexibilidad que en el caso de orientadas a barlovento.



Torres de celosía

Son las construidas mediante perfiles de acero unidos mediante tornillería. Son muy baratas y fáciles de construir pero necesitan de verificaciones periódicas de la correcta sujeción de los segmentos de acero entre sí. Necesitan un emplazamiento extra para la instalación de los equipos de suelo como sistemas de control o equipos eléctricos, el acceso a la góndola se realiza por escalerillas exteriores de baja protección frente a fuertes vientos y condiciones climáticas adversas. No se utilizan en zonas geográficas septentrionales o para aerogeneradores de gran potencia.



Torres tubulares

Consisten en grandes tubos de acero de forma tubular o cónica que ofrecen en su interior espacio para los equipos de suelo y para el acceso a resguardo hacia la góndola. Necesitan de una instalación más laboriosa y cara, pero ofrecen una mayor resistencia y menos mantenimiento necesario que las torres de celosía. Son las más empleadas en equipos de generación de energía.



MATERIALES

- 1) 1 Barra de madera de sección cuadrada de 4cm de lado y 50 cm de altura.



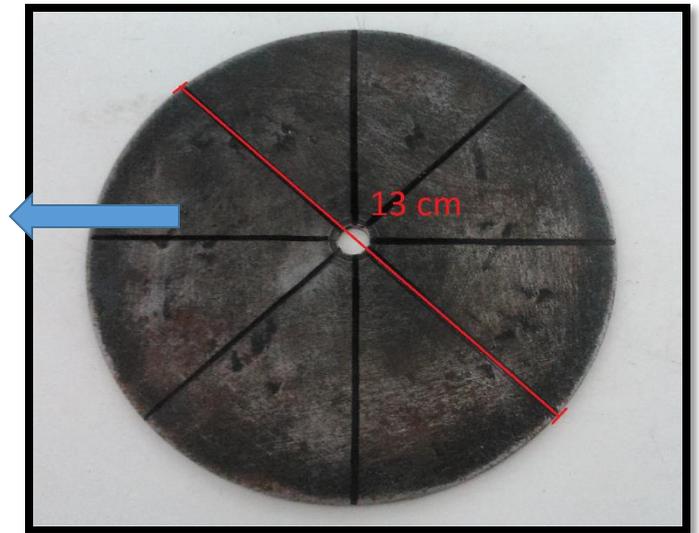
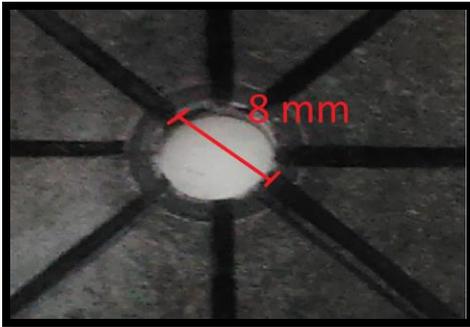
- 2) 3 Rodamientos de 8 mm de diámetro interior, 22 mm de diámetro exterior y 8mm de grosor.
 - Los rodamientos se pueden conseguir de una tienda de patines, también se les denomina rule manes.



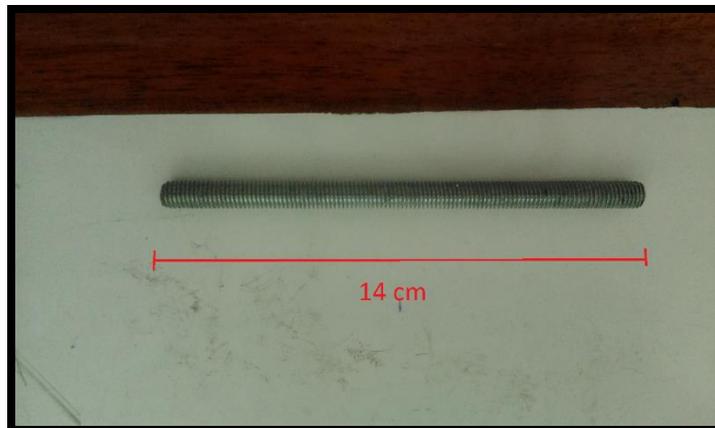
3) 1 Plancha cuadrada de madera de 15 cm de lado y 1.8 cm de grosor.

4) 1 Disco de hierro de 2mm de grosor y 13 cm de diámetro.

- Es aconsejable que el disco de hierro se haga en un torno, de este modo, no habrá irregularidades en el contorno y será simétrico.



5) 1 Varilla roscada de 8 mm de diámetro y 14 cm de largo.



6) 11 Tuercas de rosca fina de métrica 8mm.



7) 2 Tuercas de freno de métrica 8mm.



8) 80 Metros de cobre esmaltado de diámetro 0.9mm (19 AWG).



9) 3 Tubos de pvc de 6cm de diámetro y 30cm de largo.



10) 1 led.



11) Multímetro



12) Osciloscopio



13) Pinza amperimétrica



14) Cables con pinza en forma de cocodrilo



PROCEDIMIENTO

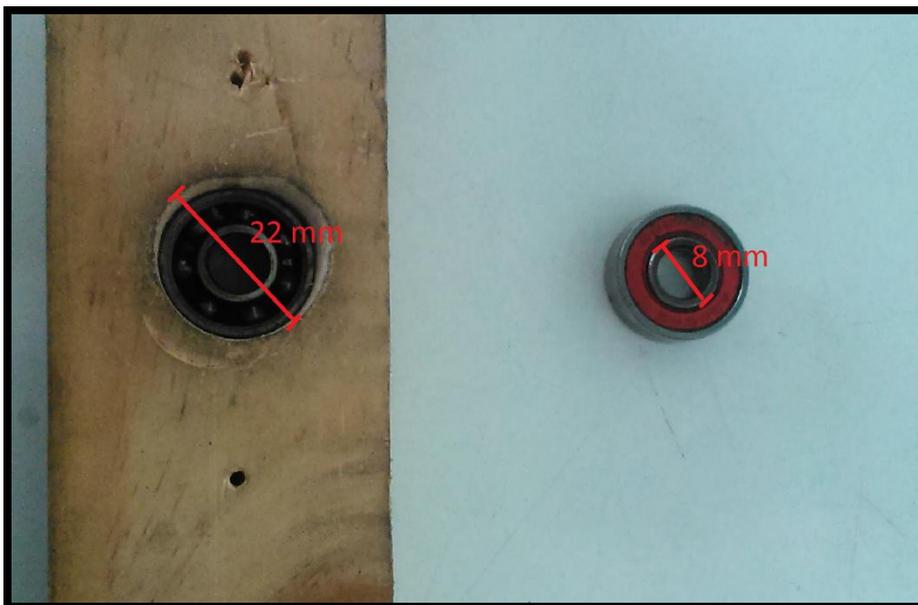
1) Se seccionó un pedazo de madera con las siguientes medidas:

- Altura: 50 cm
- Ancho: 4 cm

1.1) Se realizó un agujero a 7.5 cm del relieve con una broca de 22mm:

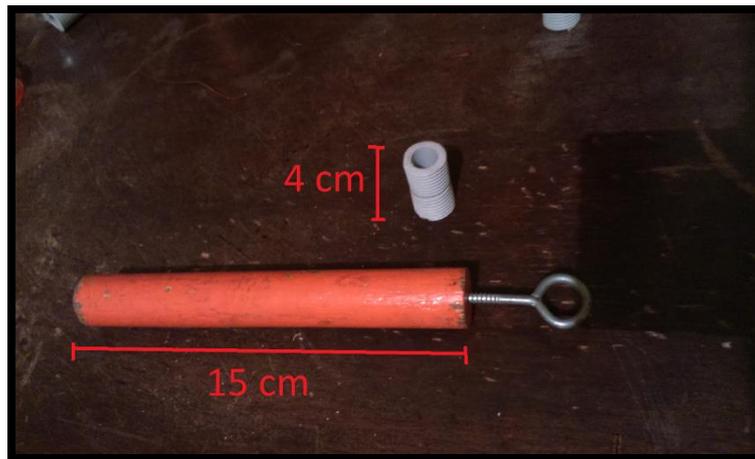
- Diámetro: 22mm

- Es aconsejable que el grosor de la madera que usemos no sea mayor a 2cm, dado que si fuese mayor usaríamos más rodamientos.
- **Los dos rodamientos deben ir apegados sin haber espacio entre ellos, de este modo, si es que giramos un rodamiento el otro debe girar al mismo tiempo, si no fuese así, se debe presionar los dos rodamientos por las dos caras de la madera hasta corroborar que los 2 tengan un movimiento sincronizado.**



2) Realización de las primeras bobinas

- Se diseñaron unas primeras bobinas, para ello se usó cobre de 0.2mm de diámetro (23 AWG) obsequiado por el profesor Ramírez.
- Para hacer las bobinas se necesita un núcleo, este puede ser de madera o pvc.
- El núcleo no debe ser ferromagnético, esto quiere decir, no debe ser un material que se atraído por el imán, porque si fuera ferromagnético ocasionaría corrientes de Foucault produciendo una detención al rotor.
- Es muy esencial que todas las espiras, o sea cada vuelta del alambre, estén muy juntas y tratando de evitar que una esté en sima de otra.



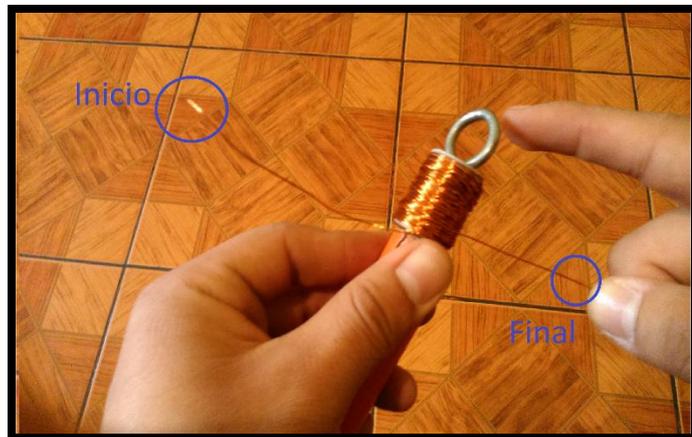
2.1) Se tiene un mango de madera, entornillado un tornillo de aro.



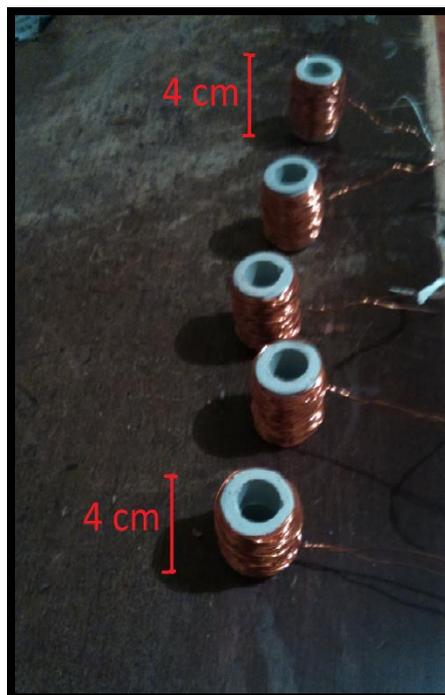
2.2) Colocamos el tubo de pvc, y entornillamos con fuerza el tornillo de aro.
¡Bien, entonces empezamos a embobinar!



- 2.3) Es muy importante dejar un pedazo de alambre desde el inicio, y después al final dejar otro pedazo de alambre, estos pedazos nos servirán para hacer la conexión en paralelo. **SE DEBE REALIZAR 130 ESPIRAS**, aunque mientras más sean las espiras, mayor será el voltaje, pero, menor será la intensidad de corriente, por lo tanto las espiras varían dependiendo del aparato al que queramos alimentar.



- ¡Se recomienda marcar el inicio del embobinado o el final, pero la idea es diferenciarlos!



- 2.4) Casi listas las bobinas, lo último que toca es lijar el comienzo del embobinado, así como el final, la finalidad de lijar es para que exista una conexión entre cada bobina, dado que el esmalte del cobre no es un conductor y por ende no permite tal conexión.



- En este caso se usó una cuchilla, pero se recomienda usar un papel lija de grano fino. **Para comprobar si está bien lijado, se debe conectar la bobina a una pila o batería, si la bobina se caliente es porque existe una conexión.**

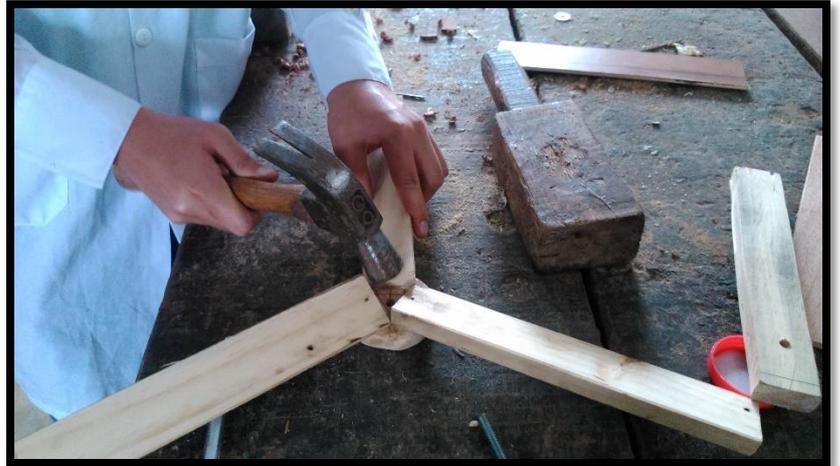
3) Construcción de la primera turbina eólica de madera
Se realizó un diseño de prisma triangular.



- Después, se construyó una circunferencia que no serviría como soporte para las 3 aspas, con un diámetro de 6cm.

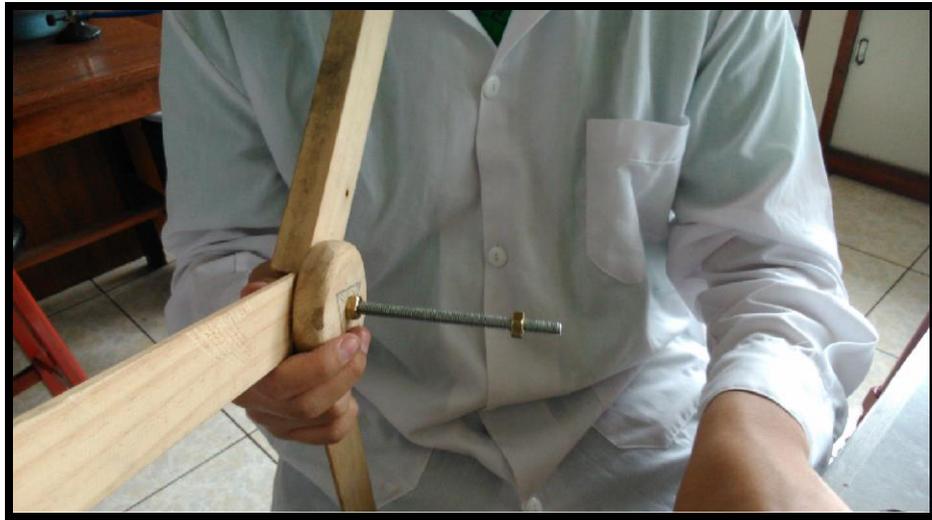


- Dentro de la circunferencia se dibujó un triángulo equilátero, este tenía por finalidad unir los extremos de cada pala, o sea cuando las palas se colocaban en la circunferencia, las tres debían de formar un triángulo equilátero.

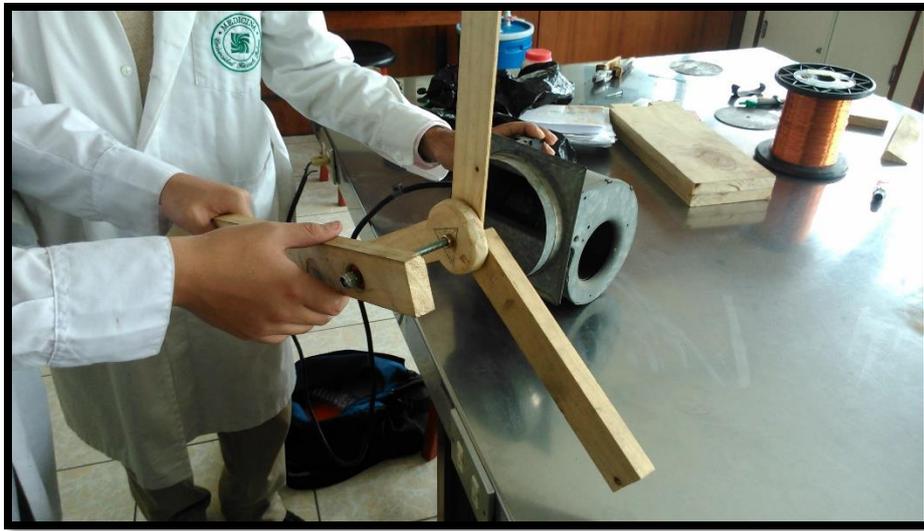


- Las aspas se montaron con la ayuda de clavos, el triángulo equilátero de lado 4cm nos mostraba indirectamente que cada aspa está separada por un ángulo de 120 grados.
- Los tres vértices del prisma triangular deben de ir en una sola dirección, bien horario o anti horario.
- La forma triangular tiene como objetivo cortar el viento al momento de girar.

- 4) Una vez obtenidas las palas o aspas, hicimos la primera prueba, para ello montamos el sistema, se utilizaron unas cuantas tuercas, la varilla, y las dos tuercas de freno al principio y final del eje.



- Bien, no hay un patrón de cuantas tuercas se debe usar, lo indispensable es ajustar bien, para ello se debe usar un alicate.
- Una vez montado todo el sistema, se realizó la primera prueba de la turbina eólica.
- En el laboratorio se probó la turbina eólica con la ayuda de un pequeño ventilador, este generaba un viento aproximado de 3 metros por segundo.



- Aquí en la imagen se puede ver la primera prueba de la primera turbina eólica, con el pequeño ventilador, nuestras aspas jamás se movieron, entonces decidimos probar con la fuerza del viento ejercida por la naturaleza.



- **Buscando la mayor fuerza del viento surgió una pregunta, ¿Cómo saber de dónde viene una buena “calidad” (velocidad y fuerza) de viento?**
Para ello el profesor Ramírez nos enseñó:
- **Con un dedo de la mano mojado de saliva buscar el área donde el dedo sienta más frío, esa área tendrá un buen viento.**



- ¡Entonces las aspas empezaron a girar! se calculó aproximadamente 80 rpm por minuto con un viento de 5 metros por segundo.
- Nuestras aspas no eran del todo apropiadas, aunque el sentimiento de felicidad al ver nuestras aspas en movimiento nos motivó a seguir.
- Se debió obtener al menos unas 120 rpm por minuto.
- Se decidió construir unas aspas de pvc.

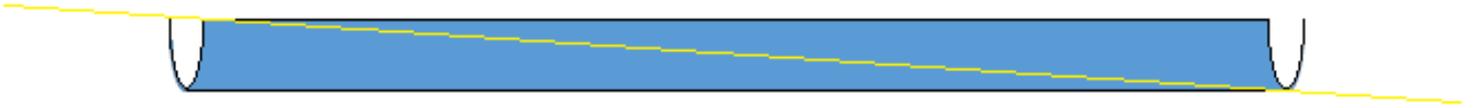
5) Construcción de la segunda turbina eólica de pvc



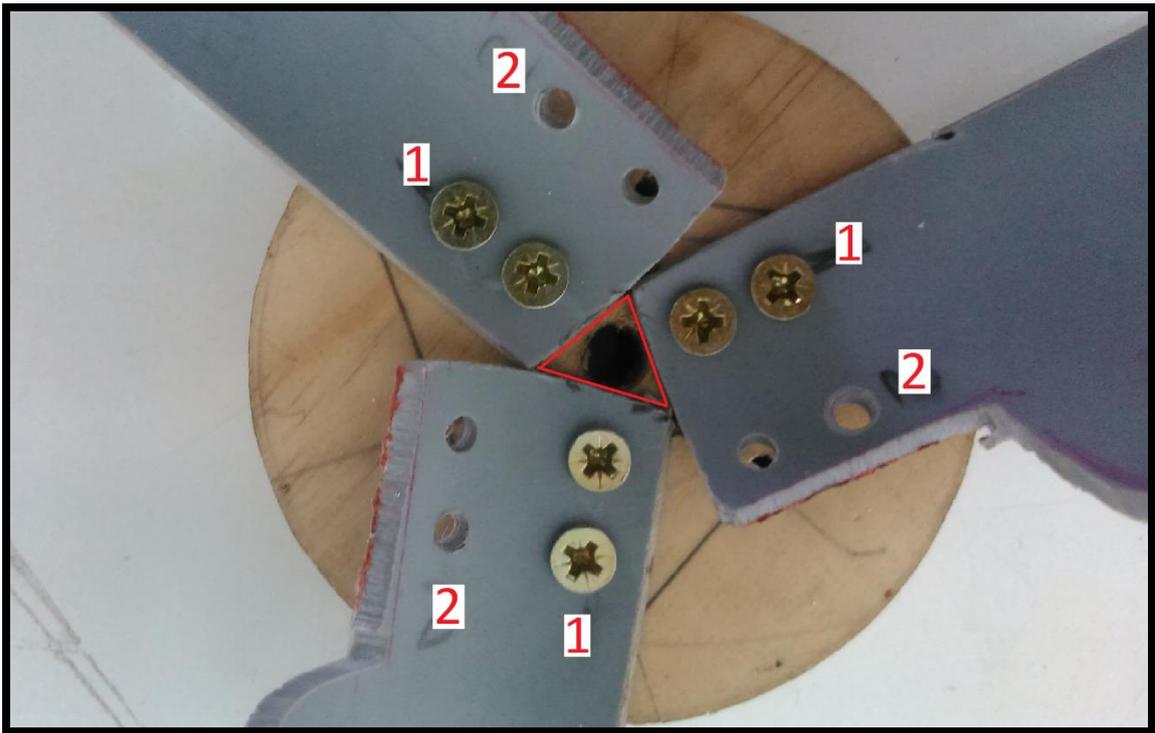
- Para ello se usó 3 tubos de pvc de 30cm de largo y 6cm de diámetro.
- Se realizó un corte longitudinal con la ayuda de una caladora.
- La línea amarilla muestra el corte.



- Después del corte longitudinal, se debe realizar un corte en diagonal.



- Luego, necesitaremos hacer un corte en forma de rectángulo, como se muestra en la imagen (**Línea marcada de rojo**), si es que este corte no se realiza se necesitará una base circunferencial más grande.



- Ok, así como la primera turbina eólica, entre cada aspa debe haber un ángulo de 120 grados, de modo similar, se dibujó un triángulo equilátero.
- La base circunferencial fue hecha por un torno para que no existe irregularidades.
- Como se puede apreciar, en la segunda turbina eólica se usaron tornillos. Si es que cometíamos un error podíamos rectificarlo.

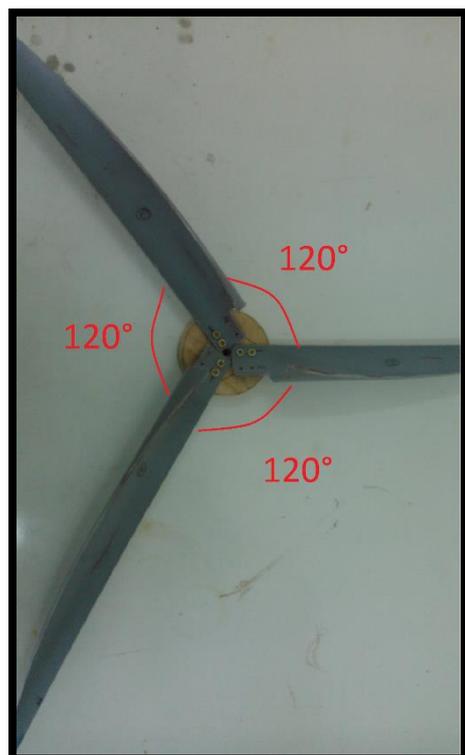
¿Por qué se eligió el agujero 1?

- El agujero 1 nos proporcionaba mayor área de curvatura. El aspa empujaba con mayor fuerza al viento, convirtiendo la fuerza del viento en un movimiento radial o rotatorio.

- El lado inclinado se debe lijar, obteniéndose un lado muy “filudo”, la idea de esto es: él lado que esta lijado cortará el viento a modo de cuchilla, por tanto, si ese lado es muy grueso la fuerza de reacción producida contra el viento hará que la turbina eólica se detenga.



- Un detalle importante es:
- **Las 3 aspas deben de pesar lo mismo para que no ocurra un desequilibrio.**
 - o Cada una de nuestras aspas pesa (73 +/- 1.36 %) gramos.
- Finalmente, ¡la turbina eólica lista para ser probada!



- Nuestro profesor Ramírez también nos colaboró con unas aspas.



6) Se realizó la prueba de las turbinas eólicas:



- **Decidimos elegir la turbina eólica en el agujero 1.**
- Las mediciones, y el ¿por qué se eligió tal turbina eólica?, puede apreciar en RESULTADOS.

7) Unir las bobinas en paralelo

7.1) Procedimos a pegar las bobinas con “soldimix”, en realidad se puede usar cualquier pegamento que pegue madera a pvc.

- Para saber dónde iban a estar pegadas las bobinas se trazó un círculo con el disco de hierro, el contorno del círculo y el de la bobina deben ser el mismo.

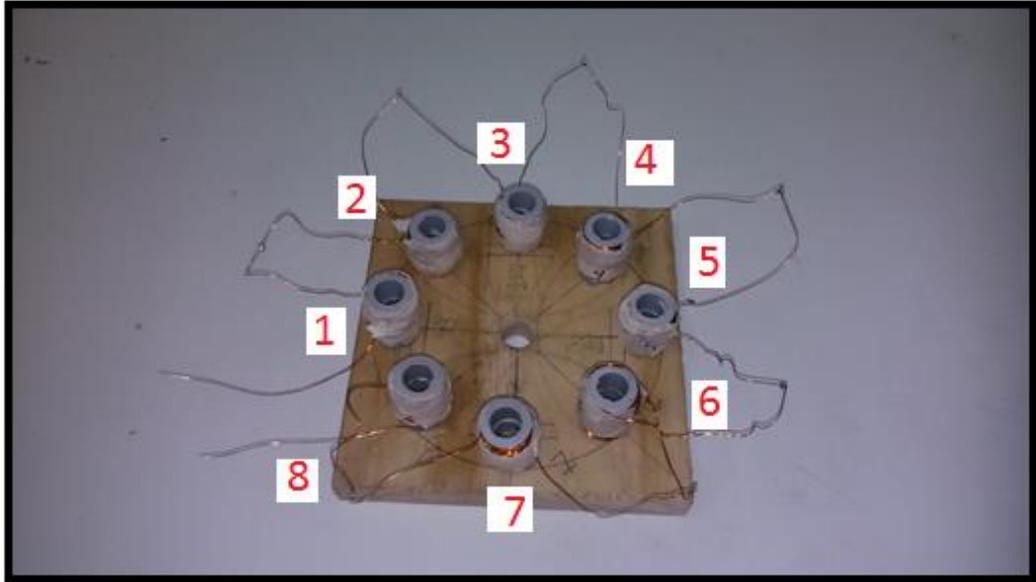
- **Lo importante de la posición de las bobinas es: cada bobina debe ir colocada debajo de un imán.**



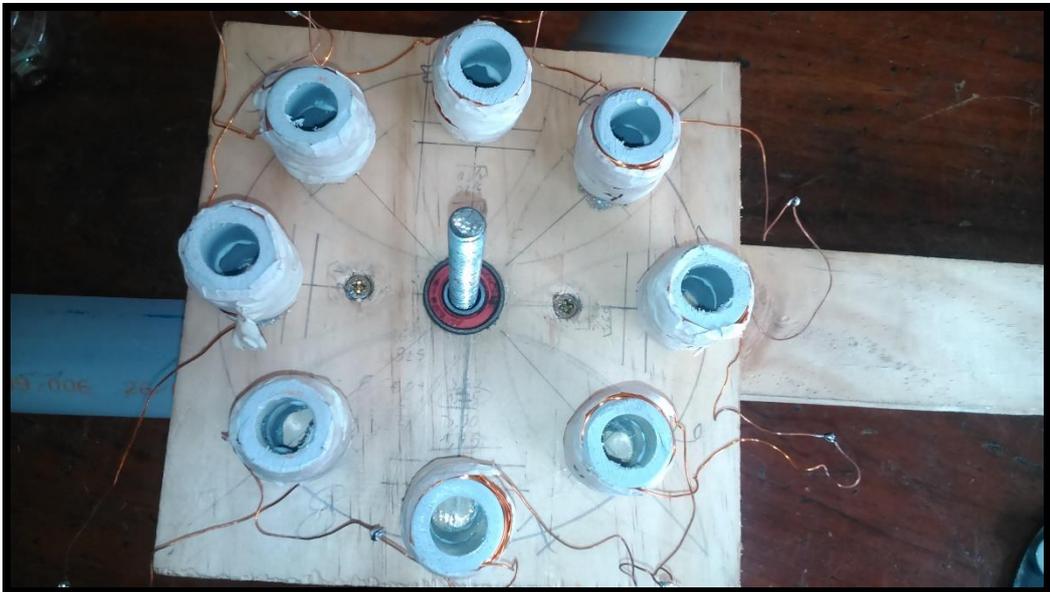
- Luego, se unieron en paralelo, o sea: el cable que sale del interior de una primera bobina, se debe unir al cable que sale del interior de la bobina siguiente, que será la bobina segunda, el cable que sale del exterior de la segunda bobina, se unirá al cable que sale del exterior de la tercera bobina; el cable que sale del interior de la tercera bobina se unirá al cable interior de la cuarta, y así sucesivamente, el cable libre de la octava bobina, y el cable libre de la primera bobina, son los extremos del generador eólico, entre los cuales se induce una fuerza electromotriz.



- Como se puede apreciar, a las bobinas se le añadió cinta adhesiva, con el fin de evitar un des embobinado.



7.2) Un rodamiento fue introducido por el agujero de 8mm de diámetro de la madera.



- Un consejo es: doblar las uniones, si es que las uniones se llegan a tocar sucedería un corto circuito.

8) Colocación de los imanes al disco de hierro



- ¿Cómo saber cuál es norte o sur?
- Para ello usamos una brújula, supongamos que la brújula señala a la dirección norte, entonces si colocamos un lado del imán en frente de la brújula y este lado es sur, entonces la brújula cambiará de norte a sur.
- O también otra opción es: acercar un imán al otro si es que se atraen es porque son lados opuestos, o sea norte y sur, si es que se repelen es porque son: norte – norte o sur – sur.

9) Primera prueba de todo el sistema:



- El vacío o espacio que hay entre las bobinas y los imanes es 1 cm en unas bobinas y en otras es menos, esto debido a la irregularidad de la altura de las bobinas, ese punto fue clave para hacer nuevas bobinas, pero mientras más reducido sea el espacio de las bobinas al imán o viceversa, mayor será la fuerza electromotriz generada.

- Bien para medir la tensión generada se usó un osciloscopio, y para medir la resistencia de las bobinas se usó un multímetro.
 - o Las mediciones se encuentran en RESULTADOS.



- Los resultados obtenidos no fueron muy positivos, entonces decidimos crear unas nuevas bobinas hechas de madera realizadas por un torno.

10) Construcción de las segundas bobinas hechas de madera

- Según los resultados anteriores se decidió tomar las siguientes pautas:
 - o **Las bobinas deben tener una mínima altura, porque la parte que está más alejada al imán no genera una fuerza electromotriz, sino solo nos proporciona mayor resistencia.**
 - o **Mientras más grueso sea el cable de cobre menor resistencia obtendremos y mayor corriente produciremos, esto se puede verificar según la ley de ohm.**
 - o **Si nuestra bobina tiene mayor cantidad de espiras tendrá menor resistencia y por tanto mayor corriente.**

10.1) Se trabajó con la misma madera que se usó para la base de las bobinas.



- Se cortaron cuadrados de lado 8cm y se dibujó una circunferencia de diámetro 5cm.
- Después se hizo un agujero al centro de cada cuadrado de madera con una broca de 2cm.



- Debido a que el torno, no puede hacer una bobina entera, primero se hizo la mitad de la bobina y luego la otra mitad.



- Con la ayuda de una lijadora, se disminuyó la altura en lo más mínimo posible.
- Entonces, obtuvimos:

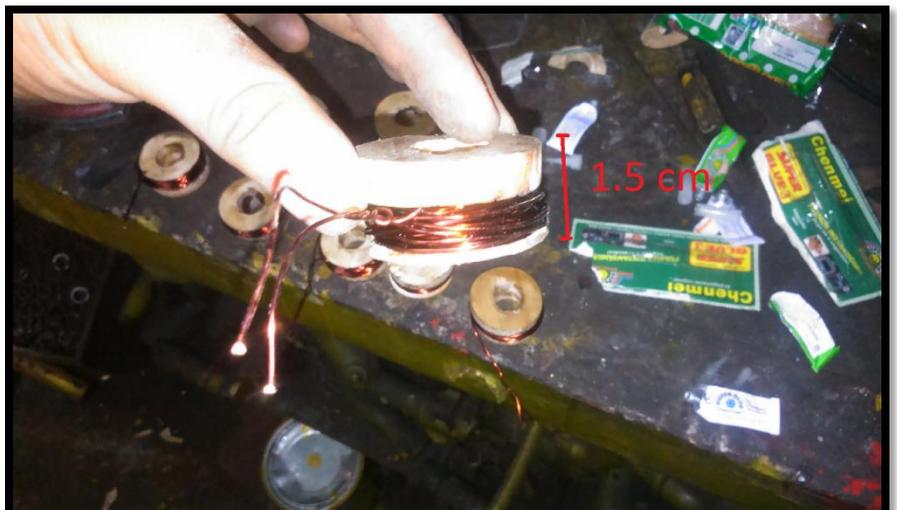


- Se puede apreciar en la imagen, hay una cara más gruesa que otra, la cara más delgada va hacia los imanes, lo importante es que la cara que va hacia los imanes sea lo más delgado posible.
- Se procedió a pegar cada una de las piezas para ello usamos un pegamento llamado "triz".
- En la imagen podemos observar que la bobina esta lista para ser embobinada.
- Para hacer el embobinado en esta ocasión usamos cobre esmaltado de 0.9 mm de diámetro (19 AWG), como este cable es más grueso se nos hacía muy dificultoso enrollarlo en él núcleo, entonces nuestro ingeniero nos llevó más allá.
- ¡Se colocó la bobina en el torno, se quitaron las cuchillas del torno, y empezamos a embobinar!





- Se hizo un nudo en el eje del torno.



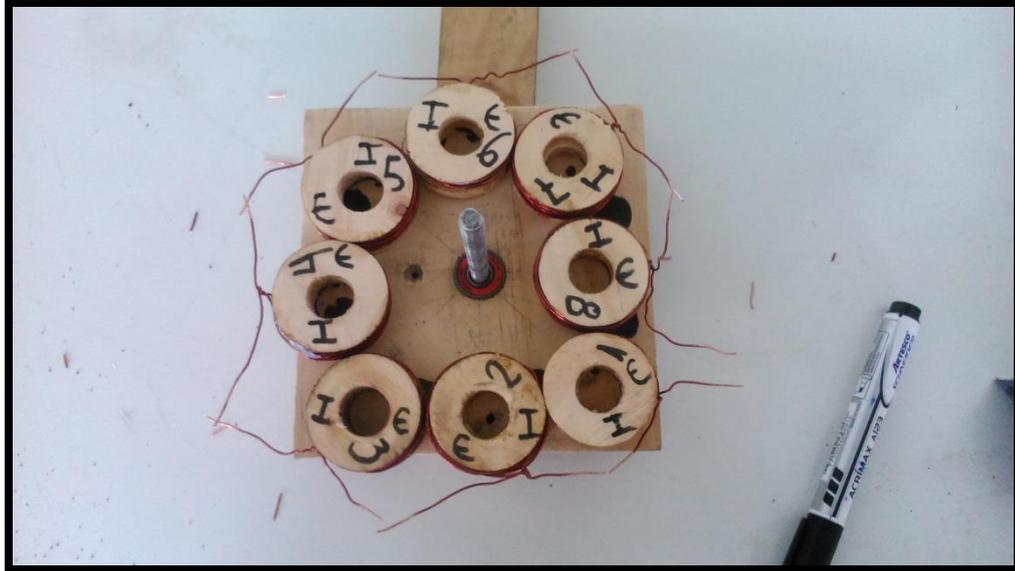
- En esta ocasión no usamos cinta adhesiva para evitar un desbobinado, ahora se usó pegamento instantáneo "triz", hay que tener cuidado con el pegamento.



- Es muy importante que todas las bobinas midan igual.



- ¡Bien!, una vez casi listas las bobinas, se debe:
- **Se debe lijar las puntas.**
- **Se debe enumerar las bobinas.**
- **Se debe conocer la parte interna y externa del cable.**
- **Se debe pegar las bobinas a la madera.**

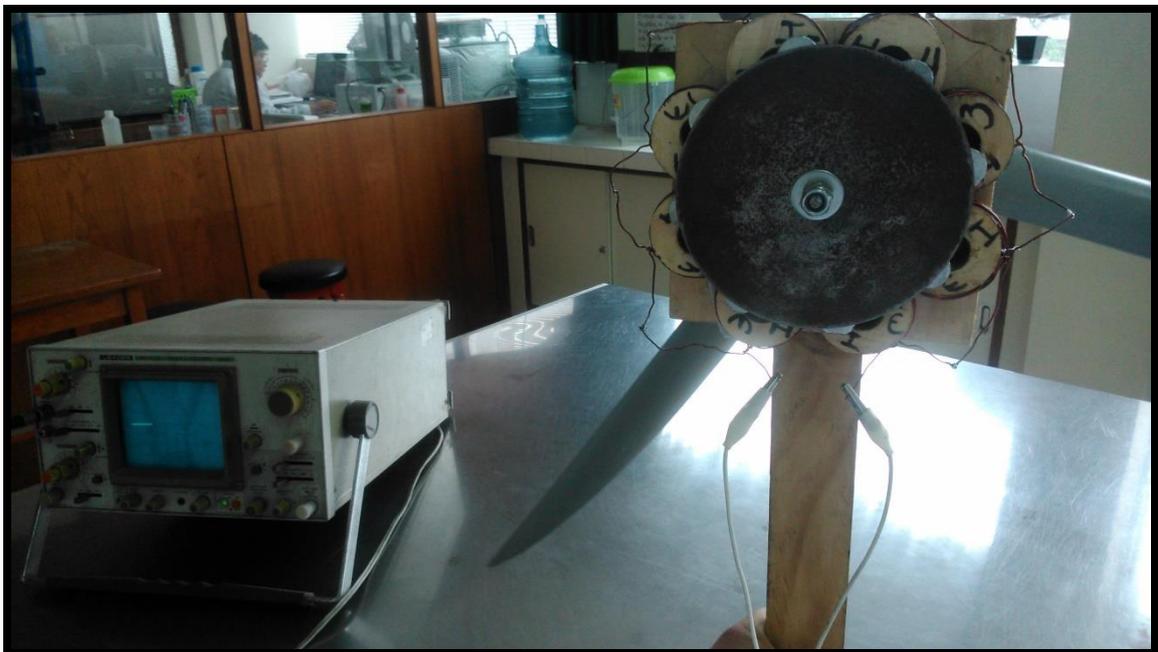
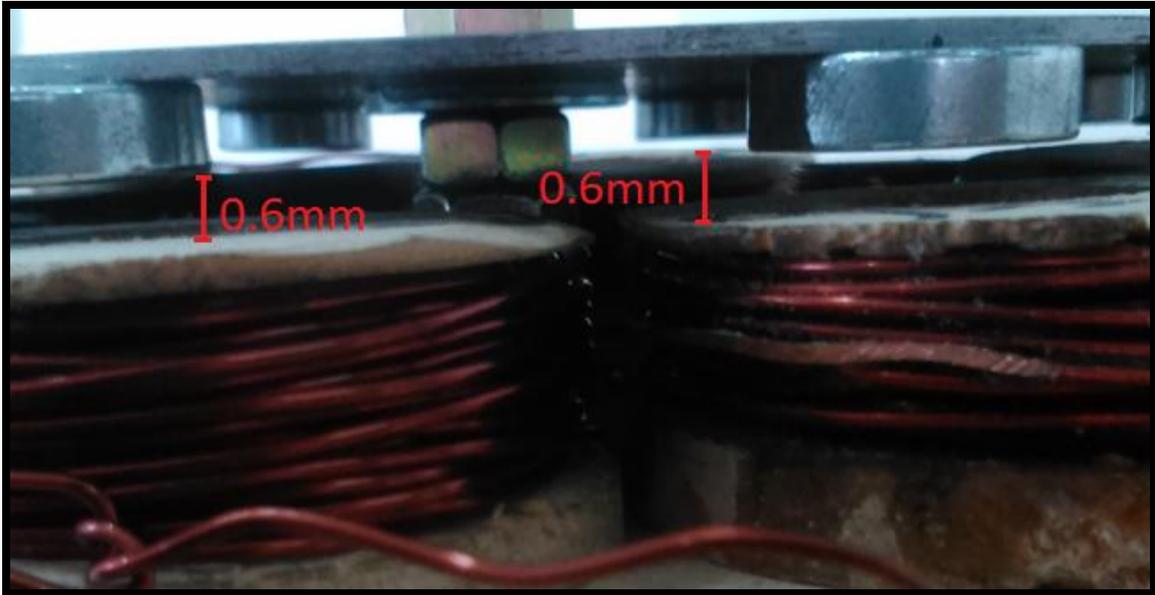


- Se procedió a soldar las bobinas en paralelo.



- El espacio entre las bobinas y los imanes es de 0.6mm, pero se requiere el mínimo espacio, para ello todas las bobinas deben medir lo mismo.

- Nuestra segunda prueba, con nuevas bobinas, una mejor turbina eólica; los resultados fueron muy gratificantes.
- Se puede apreciar realizando las pruebas.
- Para hacer la medición de voltaje, se usó una fuerza mecánica obtenida de la mano de Juan Sebastian.



- Los resultados se encuentran en RESULTADOS.

RESULTADOS

1) ¿Por qué se eligió la turbina eólica de pvc en el agujero 1?

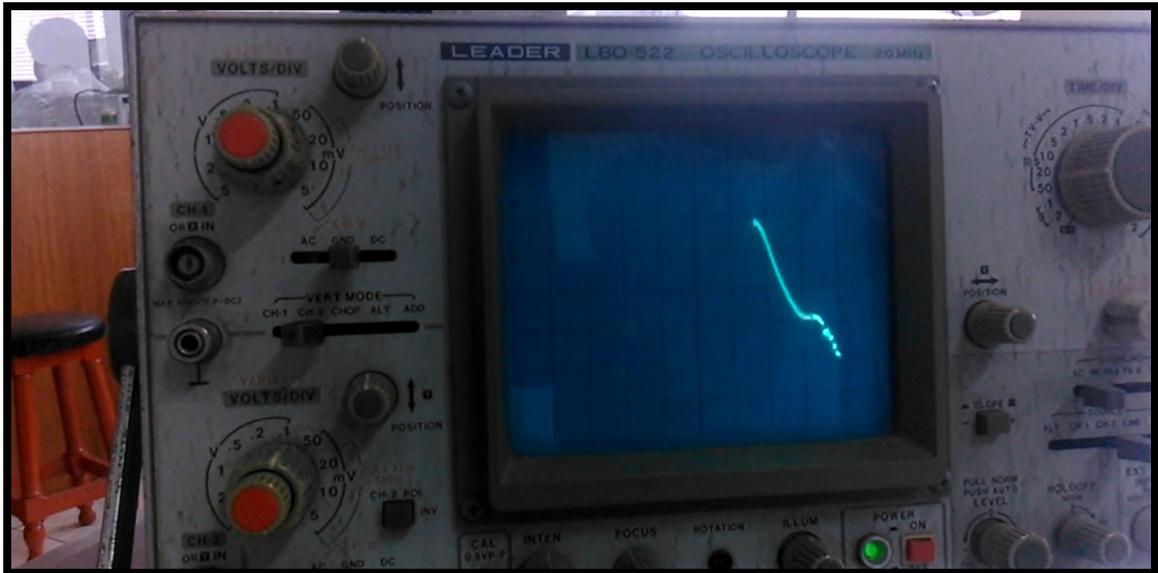
	Aspas de pvc largas		Aspas del profe	Aspas de madera
Turbina eólica	Agujero 1	Agujero 2	Único agujero	Único agujero
Peso	73 gramos	73 gramos	90 gramos	50 gramos
Longitud	30 cm	30cm	20cm	25 cm
Ancho	3.5cm	3.5cm	7.5 cm	4cm
Grosor	0.2mm	0.2mm	0.5mm	1.2cm
Velocidad	120 rpm/min	90 rpm/min	70 rpm/min	80 rpm/min
Curvatura	5.5 cm	3 cm	0.5 mm	0

- Se calculó un viento aproximado de 5.5 m/s o 18 km/h, en el cual la turbina eólica empezaba a girar.
- Las 3 turbinas eólicas giraban en movimiento anti horario.

2) Primera prueba realizada con las bobinas de pvc

- Multímetro:
RESISTENCIA EN PARALELO: 7.7 Ω

- Osciloscopio:



TENSIÓN: 1.5 V DE PICO A PICO (del máximo al mínimo)

- Teóricamente calculamos la corriente:
 - a) Se dividió la onda de pico a pico en 2.

$$\frac{1.5 V}{2} = 0.75 V$$

- b) Se multiplicó la mitad de la onda por la media cuadrática.

$$0.75 V \times 0.7 (RMS) = 0.52 V \text{ (Corriente continua)}$$

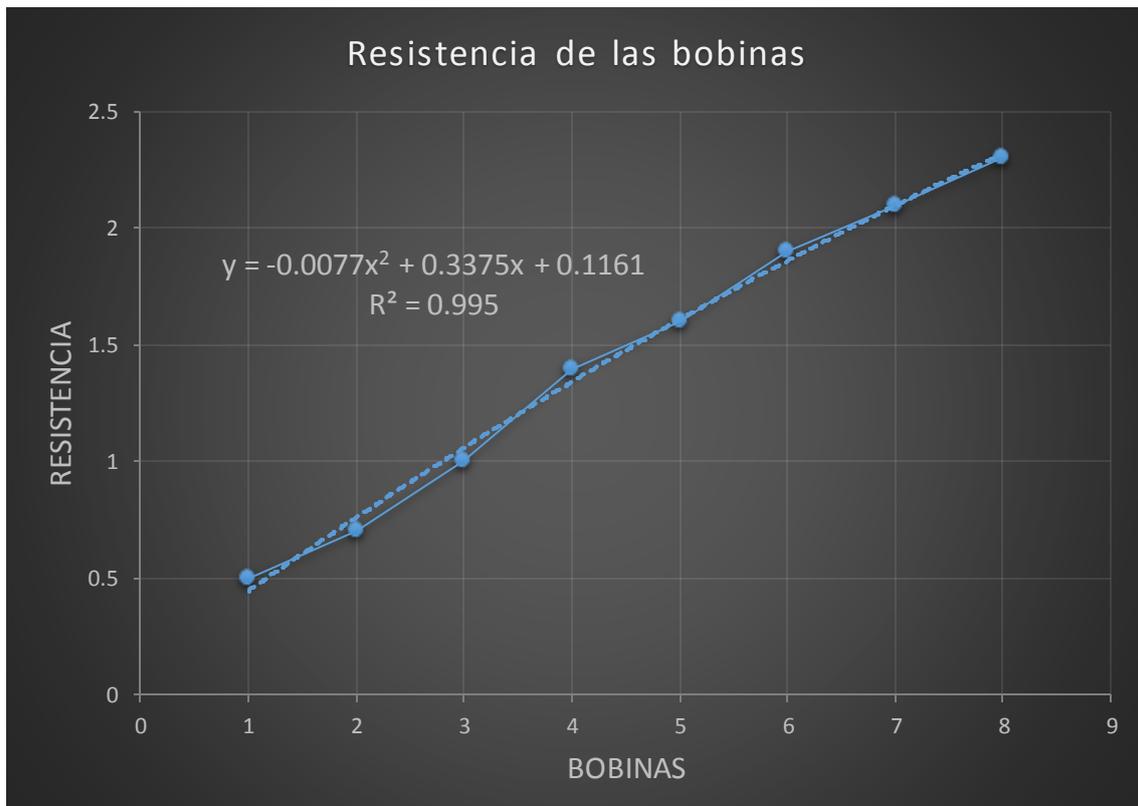
- c) El voltaje en corriente continua lo dividimos por la resistencia, según la ley de ohm, para obtener la intensidad de corriente.

$$\frac{0.52 V}{07.7 \Omega} = 0.06 A$$

3) Segunda prueba realizada con las bobinas de madera en PARALELO

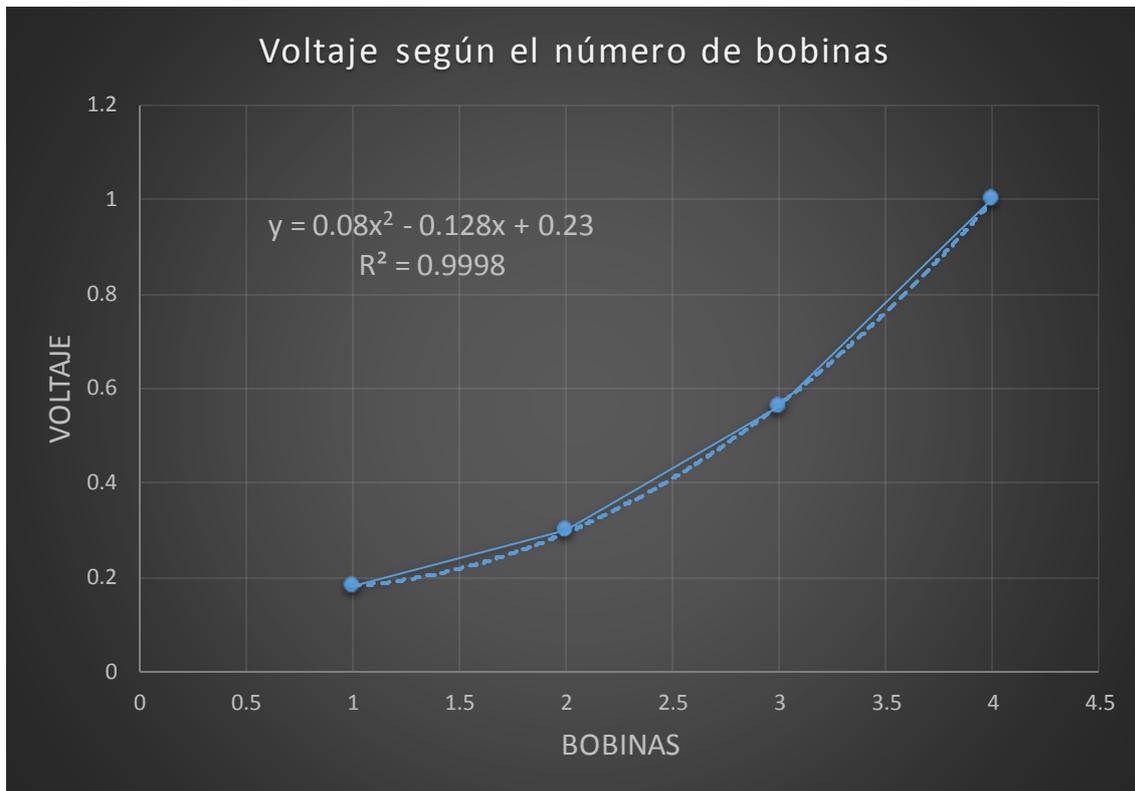
- Multímetro:
RESISTENCIA EN PARALELO: 2.3 Ω

Bobinas	Resistencia (Ω)
1	0.5
2	0.7
3	1
4	1.4
5	1.6
6	1.9
7	2.1
8	2.3



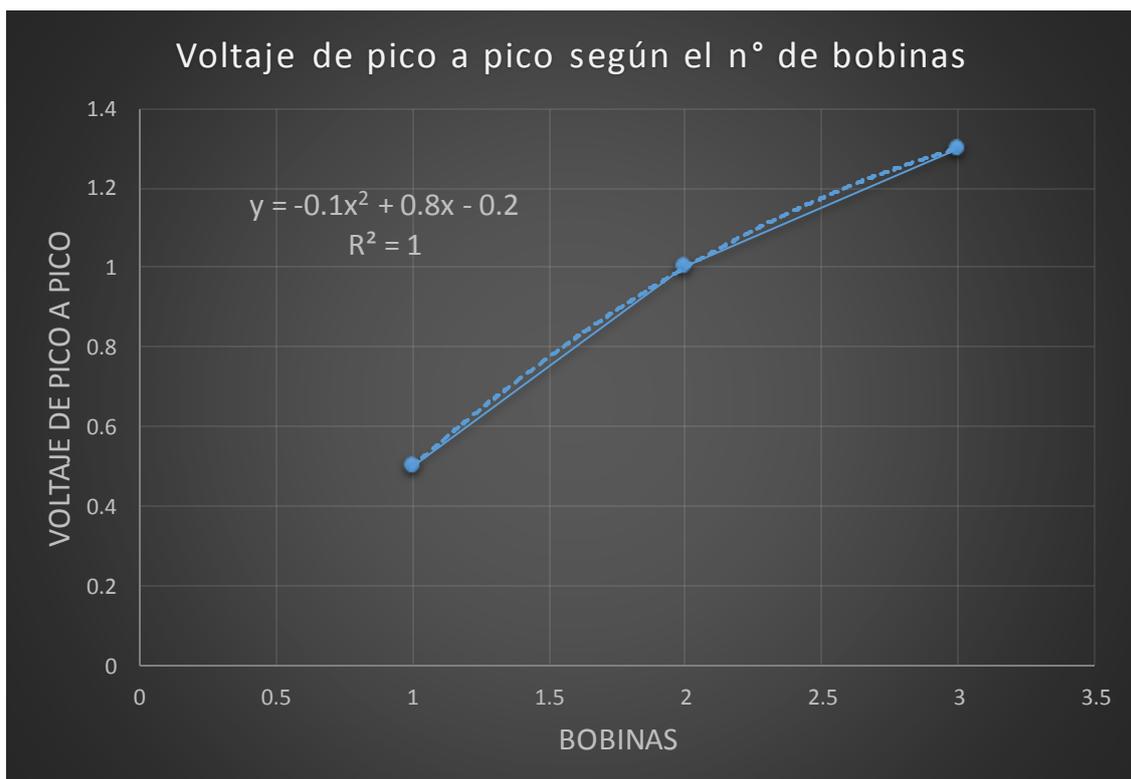
- Multímetro:
Se midió el voltaje en AC.

Bobinas	Voltaje (V)
1	0.18
2	0.3
3	0.56
4	1



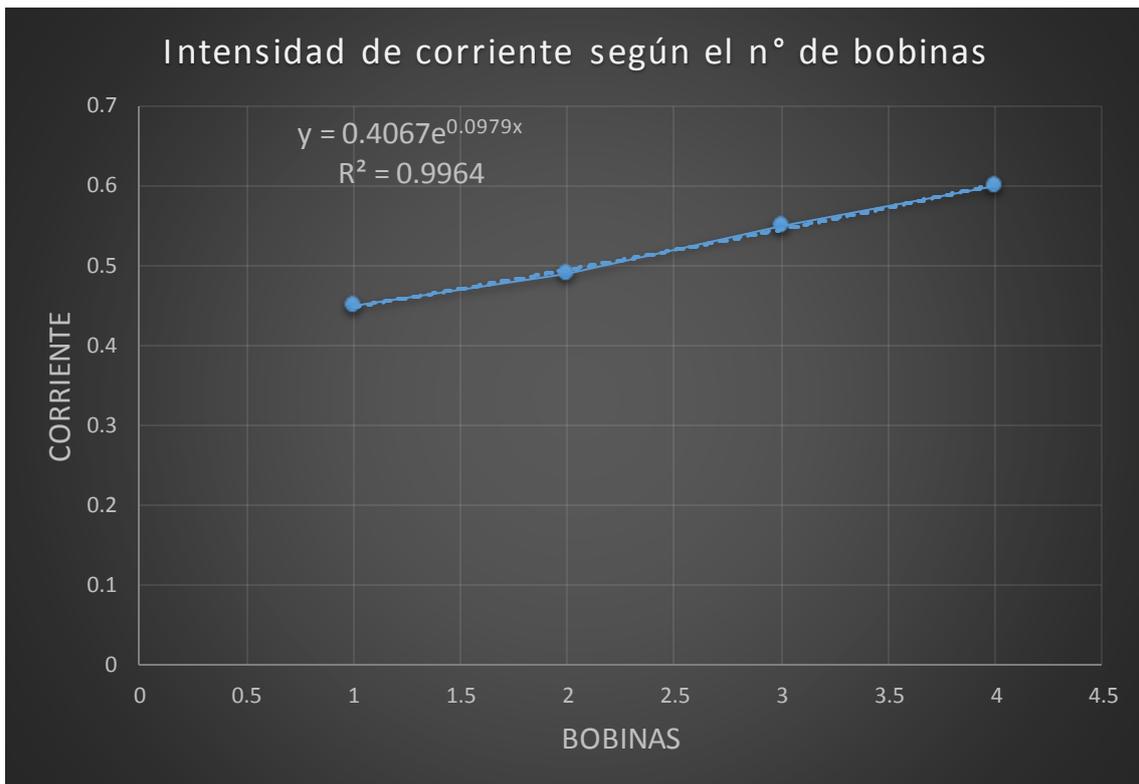
- Osciloscopio:
Se midió el voltaje en AC.

Bobinas	Voltaje de pico a pico (V)
1	0.5
2	1
3	1.3

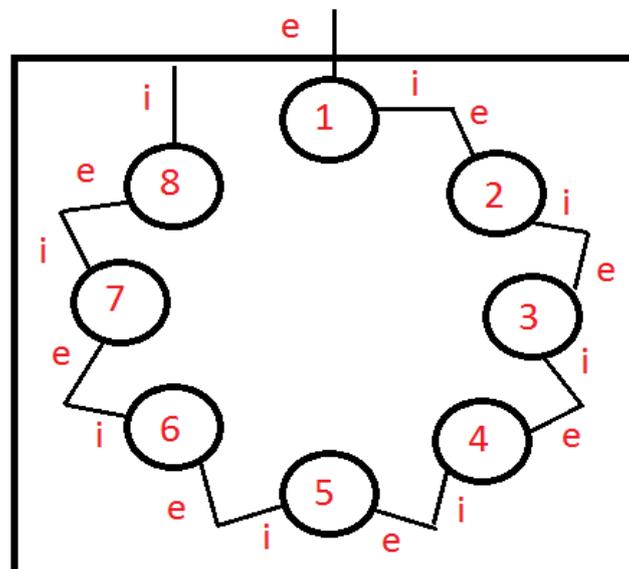


- Multímetro
Se midió la intensidad de corriente.

Bobinas	Corriente (A)
1	0.45
2	0.49
3	0.55
4	0.6

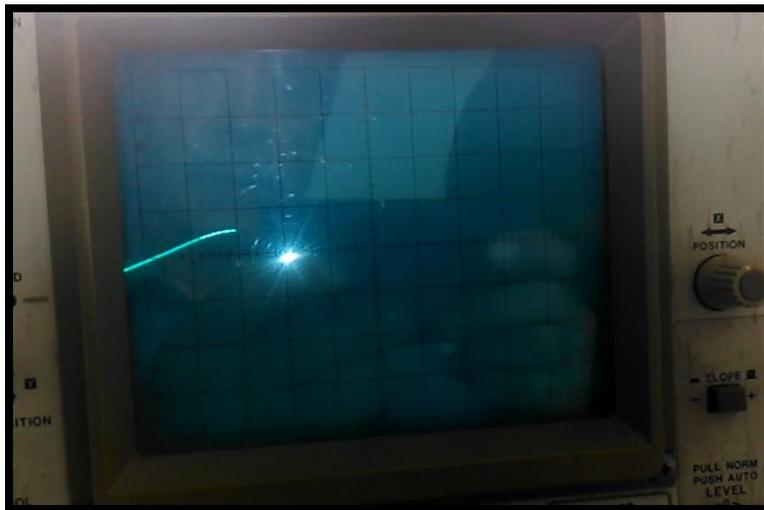


4) Tercera prueba realizada con las bobinas de madera en SERIE



e: exterior
i: interior

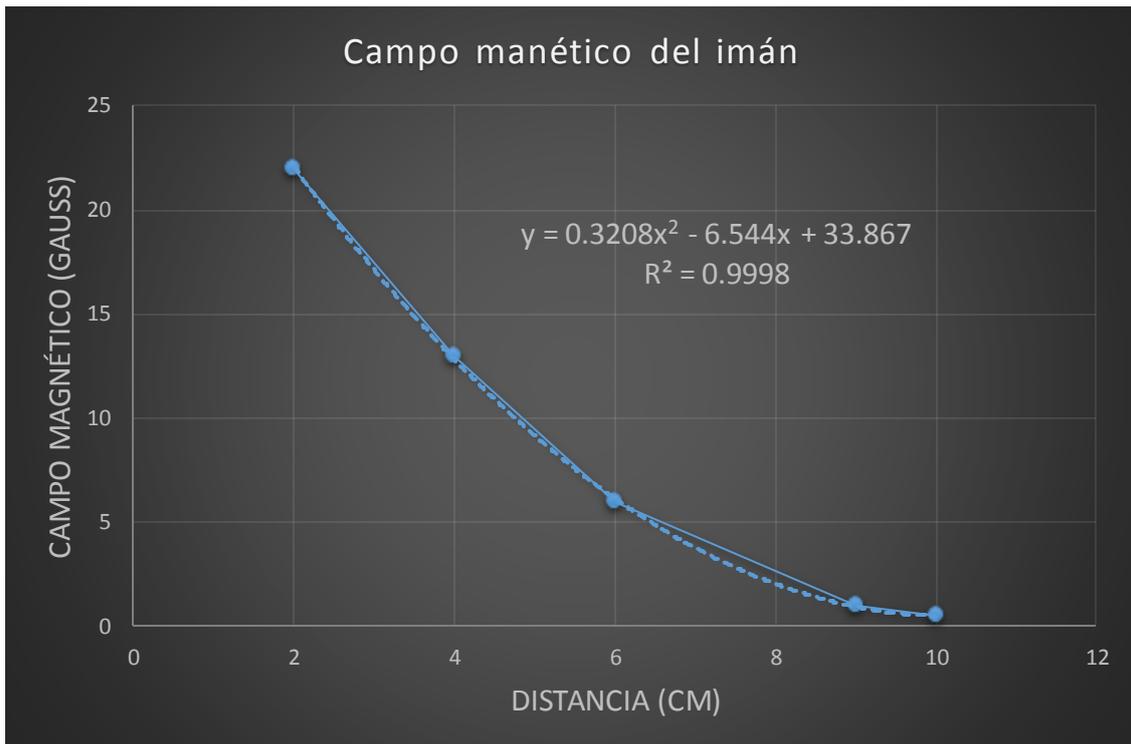
- **Multímetro:**
Se midió la resistencia de las 8 bobinas: 2.4Ω en serie.
- **Osciloscopio**
Se midió el voltaje en AC, se obtuvo con las 8 bobinas en SERIE: 2 V de pico a pico.
 - (El osciloscopio estaba en $1V/cm^2$, por lo tanto, un cuadrado representa 1V)



- **Pinza amperimétrica**
Se midió la corriente que circulaba por las 8 bobinas: 0.8 A

- 5) Se determinó el campo magnético del imán de neodimio usando un sensor magnético.

Distancia (cm)	Campo magnético (Gauss)
2	22
4	13
6	6
9	1
10	0.5



- El resultado que se obtuvo al medir el campo magnético del imán con el sensor magnético no es 100% confiable, dado que el vendedor señala que el campo magnético del imán es 3100 Gauss (en él eje) y nosotros obtuvimos 33.8 Gauss a una distancia de 0 cm.
- Se calculó el campo magnético ejercido del imán de neodimio hacia la bobina, la distancia entre estos dos es 0.6mm, entonces se reemplazó la distancia en la ecuación.

$$y = 0.3208 x^2 - 6.544 x + 33.867$$

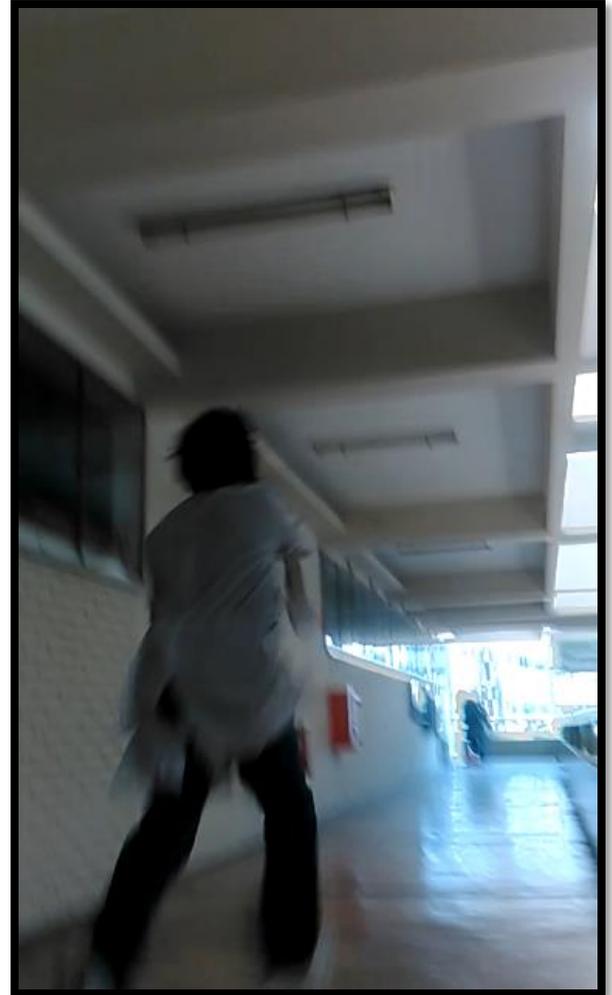
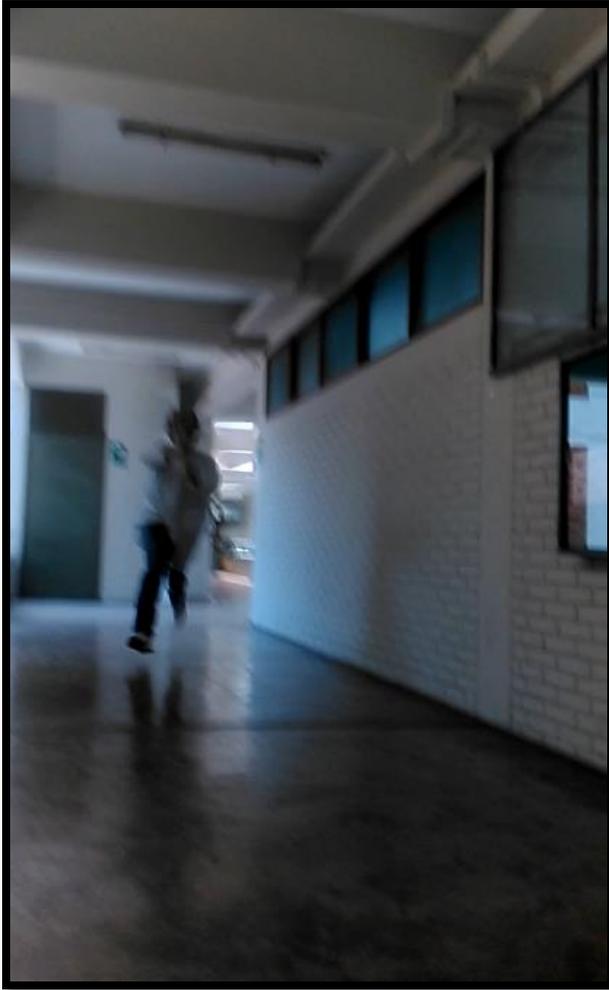
$$y = 0.3208 * 0.06^2 - 6.544 * 0.06 + 33.867$$

$$y = 33.47 \text{ Gauss}$$

- Bien, se obtuvo 33.47 Gauss a una distancia de 0.6mm.

6) ¿Cómo calculamos la velocidad del viento?

- Es aconsejable usar un ANEMÓMETRO, en esta ocasión no poseíamos uno, así que el ingenio fue más allá.



- Nuestro compañero y amigo Juan Sebas, corrió en una distancia de 22 metros, se cronometró en esa distancia un tiempo de 4 segundos. Si alguien lo intenta, se aconseja que la persona que corra vaya a una velocidad constante para que no exista aceleración, por ende debe de tomar vuelo.

$$v = \frac{d}{t}$$

$$v = \frac{22}{4}$$

$$v = 5.5 \frac{m}{s} \text{ ó } 18 \frac{km}{h}$$

7) Se calculó la fuerza electromotriz inducida con la ley de Faraday:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

- (Las ecuaciones de a continuación están respecto a la bobina de madera)
- El flujo magnético es igual al campo magnético por el área de la bobina.
- Donde: N es el número de espiras de la bobina.
- El signo menos corresponde a la ley de Lenz (fuerza contra electromotriz)
 - 33.8 Gauss = 0.003 Tesla
 - Área de la bobina = $52.8 * 10^{-5} m^2$
 - Espiras = 130
 - Se toma el tiempo mínimo en el que se genera una fuerza electromotriz en segundos.

$$\varepsilon = -130 * \frac{0.003 * 52.8 * 10^{-5}}{0.05}$$

$$\varepsilon = -4.11 * 10^{-3} V$$

- **Este resultado no es muy convincente, probemos con 3100 Gauss.**

$$\varepsilon = -130 * \frac{0.3 * 52.8 * 10^{-5}}{0.05}$$

$$\varepsilon = -0.4 V$$

- **Este resultado si se acerca a lo que dice el multímetro o el osciloscopio.**

DISCUSIÓN

- 1) El campo magnético del imán fue medido por un sensor magnético usando el software "Logger Pro", nuestros resultados obtenidos no corresponden los que ofrece el vendedor. Según el vendedor el campo magnético aumenta por el tamaño y por el grado.

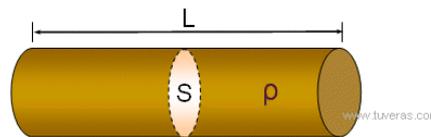
Grado	Forma	Dimensión	Recubrimiento	Masa	Gauss en el eje
		mm		g	Gauss
N35	Disco	3*1	Niquel	0.05	3,300
	Disco	10*2	Niquel	1.20	2,200
	Disco	12*2	Niquel	1.50	1,900
	Disco	10*5	Niquel	3.00	4,200
	Cilindro	8*10	Niquel	3.70	6,500
	Disco	15*3	Niquel	4.00	2,200
	Disco	14*5	Niquel	5.80	3,500
	Disco	20*3	Niquel	7.10	1,700
	Disco	25*5	Niquel	17.67	2,250
	Disco	30*5	Niquel	23.78	2,000
	Disco	20*10	Niquel	23.60	4,300
	Disco	35*5	Niquel	32.69	1,700
	Bloque	50*25*5	Niquel	41.47	1,700
	Disco	40*5	Niquel	43.01	1,500
Bloque	50*50*10	Niquel	187.50	2,000	
N40	Disco	18*5	Zinc	9.50	3,100
N48	Disco	29*19	Niquel	94.12	5,700
N50	Cilindro	3.5*4.5	Niquel	0.30	6,700



- Entonces, ¿qué hicimos mal?, nos hemos planteado algunos posibles errores que cometimos al momento de medir el campo magnético:
 - o Para fijar el imán en un lugar estratégico usamos un soporte universal y con la ayuda de unas pinzas ferromagnéticas, se sostuvo el imán en frente del sensor magnético. El imán se fijó por magnetismo a las pinzas, entonces posiblemente todas las líneas de campo magnético estaban en dirección a las pinzas y por eso el sensor magnético detectó un mínimo campo magnético.
 - o Las líneas de campo magnético del imán se dirigen del polo norte al polo sur, la cara enfrentada al sensor magnético fue el polo norte, tal vez esto pudo afectar en la medición.
- 2) Una bobina ideal para producir un alto voltaje debe de tener las siguientes características
 - Debe de tener una mínima altura.
 - Debe de tener un gran diámetro.
 - Debe de tener una gran cantidad de espiras.
 - o Bien, a partir de estas características nos planteamos unas cuantas dudas.

- a) ¿Por qué las bobinas hechas de pvc no fueron tan eficientes como las de madera?
- b) ¿El diámetro o el grosor del cable afecta en la resistencia y por tanto en el voltaje obtenido?
- c) ¿A mayor número de espiras mayor fuerza electromotriz?
- d) ¿Por qué es necesario que la bobina este compacta, o sea sin dejar ni un pequeño espacio entre cada espira?

- a) Las bobinas de pvc son más altas que las de madera, para que el espacio perdido de altura se complete debe de aumentar el diámetro, esto se debe al número de vueltas. La parte inferior de la bobina (la que no está enfrentada al imán) solo crea resistencia y no induce una fuerza electromotriz, es por esta razón que las bobinas deben de ser lo más pequeñas en altura.
- b) El diámetro del cable, comercialmente conocido como AWG, hace que la resistencia aumente o disminuya, por eso las primeras bobinas de 0.5mm de diámetro (23 AWG) tenían una resistencia de 7.7 omhs, en comparación con las bobinas de 0.9 mm de diámetro (19 AWG) que tenían una resistencia de 2.3 omhs. Esta variación de resistencia se puede explicar por medio de esta fórmula:



$$R = \rho \frac{L}{S}$$

- c) A mayor número de espiras mayor fuerza electromotriz y viceversa, esto se debe a la ley de Faraday-Lenz, ocurre que cuando un imán atraviesa una bobina, esta genera líneas de campo magnético según el número de espiras que tenga.
Donde N es el número de espiras que es directamente proporcional a la fuerza electromotriz inducida.

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

- d) Si hubiera pequeños espacios entre cada espira, el campo magnético del imán se perdería.

CONCLUSIONES

- 1) El voltaje aumenta a medida que aumentan los imanes.
- 2) El voltaje aumenta a medida que aumentan las RPM.
- 3) A mayor diámetro del cable menor resistencia.
- 4) A menor diámetro del cable mayor resistencia.
- 5) A medida que aumenta el número de espiras aumenta la f.e.m.
- 6) El mejor viento para probar un aerogenerador es en octubre en Lima- Perú.
- 7) Se necesitó al menos 5m/s de viento para girar la turbina eólica.
- 8) Se necesitó al menos 8m/s de viento para girar el aerogenerador.
- 9) El circuito en serie nos proporciona mayor voltaje, pero la mitad de amperaje.
- 10) El circuito en paralelo nos proporciona menor voltaje, pero el doble de amperaje.
- 11) La f.e.m. aumenta a medida que los imanes estén más cerca a las bobinas.
- 12) El disco de hierro aumenta el campo magnético de los imanes debido a que es ferromagnético.
- 13) Una turbina eólica debe de pesar lo más mínimo, las aspas deben de ser lo más largas posibles, el grosor de las aspas debe de ser el más reducido, el área de curvatura contra el viento debe de ser mayor o igual al diámetro del tubo de pvc.
- 14) El instrumento indicado para medir el voltaje alterno y la corriente alterna es un multímetro que rodee el precio de 180 soles.
- 15) Si es que tenemos bobinas de diferente altura, las ondas mostradas por el osciloscopio serán desiguales.
- 16) Si es que tenemos bobinas de una misma altura, las ondas del osciloscopio serán todas iguales.
- 17) Al medir el campo magnético del imán con un sensor magnético, el imán se debe de aislar de elementos ferromagnéticos.
- 18) La f.e.m. inducida es directamente proporcional al tamaño del imán, un imán grande producirá mayor f.e.m. que un imán de tamaño pequeño.
- 19) Las bobinas deben de ser lo más pequeñas en altura.
- 20) A una mayor altura existe un mayor viento.

REFERENCIAS

- 1) Cromer. Física aplicada a las ciencias de la vida. Editorial Reverte. 2006
- 2) <http://www.uv.es/~navasqui/aero/Maqueta.pdf>
- 3) <http://www.uv.es/~navasqui/aero/Aerogenerador.pdf>
- 4) <http://www.uv.es/~navasqui/aero/Fungenper.pdf>
- 5) Escudero Lopez. Manual de energía eólica.
- 6) Energías Renovables. Energía Eólica 2008.
- 7) La generación eólica. Rudnick Van De Wygnard.
- 8) Dr. Joaquín Navasquillo Hervás. Universidad de Valencia. Dpto. Física Aplicada y Electromagnetismo.
- 9) Profesor Ivan Ramírez Jiménez. Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ciencias Biológicas.