



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**

**INGENIERIA ELECTRICA**

**REPORTE DE RESIDENCIA/TESIS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR TIPO SAVONIUS**

**ASESOR**

**JORGE DIAZ HERNANDEZ**

**ALUMNOS**

**CAMAS BERMUDEZ LEONARDO ROSEMBERG**

**TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, 12 DE AGOSTO DEL 2016**

## Contenido

1. ANTECEDENTES .....	3
1.2 Dificultad de Acceso a la Energía.....	3
1.3 Justificaciones .....	4
1.4 Objetivo .....	6
.....	6
1.5 Metodología.....	6
2. Fundamento Teórico .....	7
2.1 El recurso eólico.....	7
2.2 Medición del viento .....	9
2.3 Variación de la velocidad del viento con la altura.....	12
2.4 Variación de la velocidad del viento con la orografía del terreno .....	13
2.5 Variación de la velocidad del viento con la existencia de obstáculos.....	13
2.6 Descripción de las máquinas eólicas de baja potencia .....	15
2.7 Clasificación de las máquinas eólicas .....	16
3.1 Diseño del modelo .....	18
3.1 Prototipo .....	20
3.2 Diseño del nuevo rotor .....	21
3.3 Innovación del equipo .....	22
3.4 Relación de velocidades .....	25
3.5 Diseño de la estructura del rotor .....	29
4. Diseño de interfaz electrónica para la metrología del sistema del aerogenerador..	31
4.1 YHDC SCT-013-000 .....	32
4.2 SENSOR DE VOLTAJE .....	39
4.3 ATTOPILOT .....	41
4.4 Arduino RPM Counter / Tachometer .....	45
5. CONCLUSIÓN .....	48
6. REFERENCIAS.....	49

# 1. ANTECEDENTES

## 1.2 Dificultad de Acceso a la Energía

La energía ha sido siempre un elemento muy importante para el desarrollo de la humanidad. Inicialmente el ser humano utilizaba formas de energía convencionales como la leña o la biomasa para generar fuego y así poder cocer alimentos, ahuyentar animales y mantener el calor. Con el tiempo las fuentes de energía evolucionaron y a partir de procesos de conversión se pudo generar vapor, energía mecánica y electricidad. Las fuentes de energía más utilizadas a lo largo de la historia han sido el carbón, el petróleo, la energía nuclear o el gas natural.

En la actualidad, las energías renovables (solar, hidráulica, eólica,...) tienen también un papel muy importante. Sin embargo, a pesar de la evolución de las distintas fuentes de energía, actualmente se estima que más de dos mil millones de personas en países en vías de desarrollo, más concretamente en las zonas rurales, sólo cuentan con fuentes de energía tradicional como leña, carbón vegetal o estiércol para satisfacer sus necesidades energéticas. Además, estas personas tampoco tienen acceso a los procesos de conversión de energía, por lo que no pueden acceder a servicios como la iluminación, la refrigeración, el bombeo de agua o el transporte, todos ellos derivados de la electricidad.

El hombre ha aprovechado la energía del viento, "energía eólica" que está ahora muy de moda. Esta energía se ha aprovechado para muy diversas aplicaciones: para molinos de cereales, mover barcos, sacar agua de pozos, aventar el grano y más modernamente para la producción de energía eléctrica. Esta última aplicación es particularmente útil pues la generación de electricidad se hace a veces muy necesaria en lugares donde no llega la electricidad distribuida por las compañías eléctricas.

Es interesante poseer electricidad sin tener que pagar facturas a nadie por ello, al menos mientras el uso del aire sea gratis- que no sabemos hasta cuando

lo será, o que haya que pedir permiso para usarlo como es el uso del espacio radio-eléctrico o de las aguas publicas

La energía es un elemento muy importante para el desarrollo de la humanidad. Inicialmente el ser humano utilizaba formas de energía convencionales. Con el tiempo las fuentes de energía evolucionaron y a partir de procesos de conversión se pudo generar vapor, energía mecánica y electricidad. Las fuentes de energía más utilizadas a lo largo de la historia han sido el carbón, el petróleo, la energía nuclear o el gas natural. En la actualidad, las energías renovables (solar, hidráulica, eólica,...) tienen también un papel muy importante.

El acceso a la energía está totalmente relacionado con la pobreza. Las personas que no tienen acceso a ésta suelen ser familias rurales pobres que viven en comunidades pequeñas y dispersas con pocas posibilidades. éstos pagan más por menos unidades de energía, siendo ésta además de menor calidad (el 11% de la electricidad que consumen representa el 78% de sus gastos).

Aunque la mayoría de los aerogeneradores en el mercado son de eje horizontal y tripala, se tienen algunas experiencias con las máquinas de eje vertical, lo que motiva su consideración en el proyecto, dentro del abanico de opciones.

### **1.3 Justificaciones**

Desde hace muchos años, se ha visto como hay una importante relación entre el acceso y uso de las formas modernas de energía y el desarrollo humano. Así, se ha comprobado que una de las consecuencias de la situación actual sobre la falta de acceso a la energía será la imposibilidad de cumplir los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), es decir, sin acceso a la energía será imposible conseguir reducir la pobreza extrema del planeta a la mitad para el año 2015. Todo esto es debido a que sin acceso a formas de energía moderna no es posible conseguir avances en salud, educación, acceso a agua, vivienda, temas de género,... Así, se ha investigado por ejemplo que aunque las muertes por sida, malaria y tuberculosis van a ir disminuyendo, el número de muertes que

habrá como consecuencia de inhalación de humos en las viviendas será mayor que las muertes provocadas por estas tres enfermedades juntas.

Debido a la creciente mundial de energéticos, es necesario buscar alternativas de generación de los mismos. A pesar de que México cuenta con recursos eólicos; la mayoría de las viviendas no tienen sistemas de generación de electricidad. La energía eólica, es una opción ambientalmente responsable, que nos permite mantener los parámetros energéticos y de confort modernos. La energía eólica es una opción económicamente viable ya que tiene un corto periodo de retorno de inversión.

Las viviendas modernas representan un sector que demanda diariamente energía que no comprometa los recursos naturales de las siguientes generaciones. El diseño de un generador que cubra parcialmente el requerimiento energético surge como un proyecto interesante para disminuir el consumo de electricidad y brindarle a zonas marginadas electricidad y reducir las emisiones de efecto invernadero.

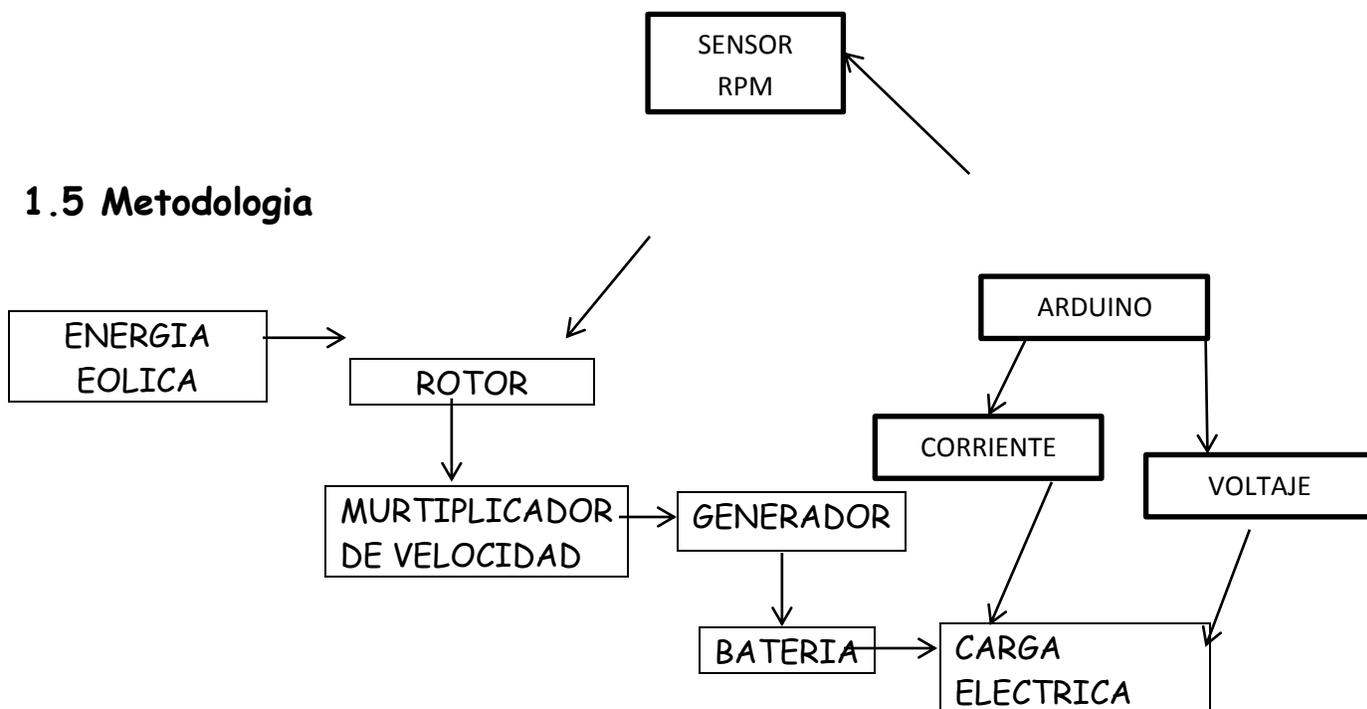
La energía de tipo eólica ha dado muy buenos resultados en países desarrollados; este no es el caso de México debido a que el aprovechamiento de ese recurso tan disponible e inagotable como es el viento no ha sido difundido de una manera significativa; pero, la construcción de un aerogenerador casero es sencilla y barata con su consecuente aprovechamiento económico.

Mediante este trabajo se busca el proponer una posibilidad de obtener electricidad casera, vale decir a mediana escala, para poblaciones rurales alejadas del cableado eléctrico. El presente proyecto se justifica principalmente si es instalado en ciudades con recurso eólico, como en ciudades costeras o en ciudades con posiciones geográficas que permitan condiciones de viento de 7m/s.

## 1.4 Objetivo

Diseñar un generador eólico como una alternativa de generación con fuentes convencionales para cubrir necesidades de uso doméstico en zonas de bajo desarrollo económico y social incluso para zonas urbanas que deseen un medio limpio y relativamente sencillo de abastecimiento de energía eléctrica

## 1.5 Metodologia



## **2. Fundamento Teórico**

### **2.1 El recurso eólico**

El recurso para la generación de energía eólica es el viento, el cual es generado por corrientes de aire debido al desigual calentamiento de la superficie de la tierra. Así, la no uniformidad del flujo de radiación solar incidente hace que unas zonas se calienten más que otras, provocando movimientos convectivos de la masa atmosférica. El aire caliente asciende, arrastrando aire más frío proveniente de una región vecina. Al subir se enfría, por lo que aumenta su densidad, descendiendo para volver a repetir el ciclo. Así, el viento es una masa de aire en movimiento, y como tal, contiene una cierta energía cinética.

El fenómeno real es más complejo, ya que la Tierra se mueve sobre su eje. Además, hay una distribución aleatoria de las nubes sobre la superficie y la inercia térmica de los océanos es distinta a la de los continentes, lo que crea gradientes variables con el día y la noche.

### **Aprovechamiento del viento**

La energía del viento se origina por la energía radiante proveniente del sol, la cual se convierte en energía térmica al ser absorbida por la superficie terrestre. En cada uno de los pasos de conversión hay una serie de pérdidas, por lo que solamente un pequeño porcentaje del total de energía absorbida por la superficie terrestre se convierte en viento.

A parte de estas pérdidas, también hay que tener en cuenta que del viento no se puede extraer toda la energía. En apartados posteriores se explicará la Ley de Betz, en la cual se concluye que solamente puede extraerse el 56% de la energía del viento.

### **Velocidad del viento**

A pesar de las muchas ventajas que tiene la energía eólica (no agresiva con el medio ambiente, inagotable,...), hay que tener en cuenta que tiene el inconveniente de que el viento es disperso y aleatorio. El gradiente de velocidades es mayor cuanto mayor es la diferencia de presiones y su movimiento está influenciado por el giro de la Tierra.

La velocidad del viento es una magnitud vectorial y ésta varía de forma aleatoria tanto en módulo como en dirección y sentido. Los valores medios suelen encontrarse entre

3 y 7 m/s. Sin embargo, dependiendo de la altitud y la topografía éstos pueden ser mayores o menores (valores mayores en altas montañas, valles estrechos y costas).

Para visualizar de forma más clara de donde proviene el viento se utiliza la rosa de los vientos. Para elaborarla se divide el horizonte circular de  $360^\circ$  en 8, 10, 12 o 16 divisiones, teniendo en cuenta los cuatro puntos cardinales (Este= $90^\circ$ , Sur= $180^\circ$ ,

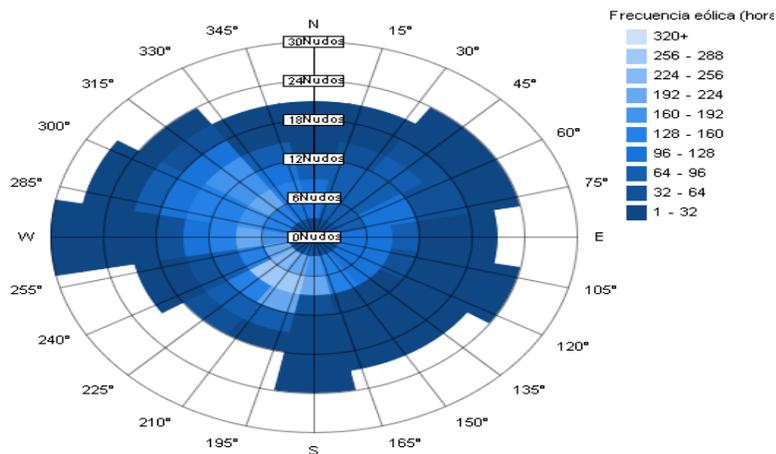
Oeste= $270^\circ$  y Norte= $360^\circ$ ) y se dibuja la dirección de donde proviene el viento. De esta forma se consigue determinar la dirección dominante de los vientos, que por lo general no coincide con la intensidad del viento, ya que en muchos casos los vientos más intensos no son los que soplan más horas al año procedentes de una determinada dirección.

La velocidad del viento puede variar de muy diversas maneras.

- *Variaciones estacionales*: los vientos globales sufren estas variaciones debido a la posición de anticiclones (zona atmosférica de alta presión) y borrascas (zona atmosférica de baja presión). Así, hay variaciones cíclicas del viento en función, por ejemplo, de las estaciones.

- *Variaciones diarias*: éstas son debidas a los efectos del calentamiento o enfriamiento diurno o nocturno, a la proximidad del mar,...

- *Variaciones en periodos muy cortos (ráfagas)*: se pueden encontrar ráfagas medias, fuertes y violentas dependiendo del valor de viento medio (entre 5 y 20m/s). También se diferencian las ráfagas por la duración de ésta (pueden llegar a durar incluso 10 minutos).



## 2.2 Medición del viento

Para realizar una correcta medición del viento, se debe medir tanto su velocidad como su dirección. Por ello, serán necesarios un anemómetro y una veleta respectivamente.

Además, hay que tener en cuenta que datos obtenidos durante una campaña de medición de un año son poco representativos, dada la variabilidad del viento. Para que los datos sean representativos, la información eólica debe ser de periodos entre 25 y 30 años, aunque si esto no es posible los datos recogidos entre 5 y 10 años ya comienzan a ser bastante representativos.

**Medida de la velocidad: anemómetro.** - Los anemómetros son instrumentos para medir la velocidad del viento. Éstos miden la velocidad instantánea del viento, sin embargo, las ráfagas de viento desvirtúan la medida que recogen si lo que se quiere es tener una idea de velocidades medias. Por ello, para conocer velocidades medias lo mejor es realizar diferentes mediciones en intervalos de unos 10 minutos y tomar como medida válida el valor medio de todas las mediciones llevadas a cabo.

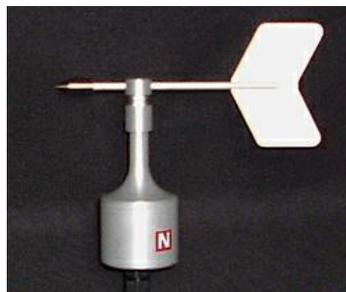
Hay diferentes tipos de anemómetros:

- *Anemómetro de rotación:* dispone de cazoletas o hélices unidas al eje central, cuyo giro es proporcional a la velocidad del viento y se queda registrado. En el caso de los anemómetros magnéticos, este giro activa un diminuto generador eléctrico para dar una medida mucho más precisa.

- *Anemómetro de compresión:* se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos. Uno de ellos cuenta con un orificio frontal (que mide la presión dinámica) y otro lateral (que mide la presión estática). El otro tubo sólo cuenta con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.

En el caso de los aerogeneradores de baja potencia, los anemómetros suelen ser montados sobre éstos para determinar si sopla el viento suficiente como para poner el aerogenerador en marcha. Por ello, dichos anemómetros no necesitan tener una gran precisión y suelen resultar bastante baratos. Sin embargo, en lo que a la industria eólica se refiere, sí son necesarios anemómetros mucho más precisos y bien calibrados. Por lo que éstos ya no resultan tan baratos.

**Medida de la dirección: veleta.** -Para la medición de la dirección del viento se utiliza la veleta, la cual suele colocarse próxima al anemómetro, todo en la misma torre. Como ocurría con la velocidad, la dirección sufre muchas fluctuaciones, por lo que el sistema tiene que ser capaz de determinar una dirección media. Para ello, suelen hacerse lo mismo que en el caso de la velocidad, se promedian valores instantáneos de dirección de la velocidad que se toman aproximadamente cada 10 minutos.



**Fig. 2.2** *Veleta.*

**Ubicación del sistema de medida.** -El conjunto de anemómetro y veleta se coloca en un mástil a una altura estándar que suele ser 10 metros (2 o 3 metros en el caso de estaciones móviles), para evitar perturbaciones del propio suelo. La torre del mástil suele ser un poste cilíndrico delgado y tensado por cables o vientos para evitar el apantallamiento de la torre.

Además, el lugar debe estar despejado para que los objetos no perturben las mediciones realizadas, ya que normalmente un objeto de altura  $h$  perturba el flujo de aire una distancia  $2h$  si está a barlovento y entre  $10h$  y  $20h$  si está a sotavento. Además, en vertical la perturbación puede llegar a alcanzar una altura de  $2h$ . Así, lo ideal es colocar los sensores en lugares cuyo horizonte no presente obstáculos en un radio de unos 300 metros, ya que edificios, bosques o irregularidades en el terreno pueden llegar a provocar distorsiones importantes en la toma de medidas.

En el caso de aerogeneradores de gran potencia, anemómetro y veleta se colocan a una altura de 50 metros, que es la altura a la que se encuentra el eje del generador. De esta forma las medidas tomadas serán mucho más fiables.

**Escala Beaufort.** -En casos especiales en los que no se dispone del instrumento de medida para la velocidad del viento, se lleva a cabo una estimación de la misma observando los efectos que éste tiene en cuanto a humo, vegetación, superficie del mar,...

La escala que se utiliza en este caso se denomina escala de Beaufort, la cual tiene

un origen marino y se utiliza desde el año 1848

Grados Beaufort	Nudos		m/s		km/h		Descripción	Presión s/superficie Plana en daN/m <sup>2</sup>	
	de	a	de	a	de	a		de	a
0	<	1	0	0.2	<	1	Calma		
1	1	3	0.3	1.5	1.0	3.0	Ventolina	0.0	0.3
2	4	6	2.1	3.1	7.4	11.1	Brisa Suave	0.6	1.2
3	7	10	3.6	5.1	13.0	18.5	Brisa Leve	2	3
4	11	16	5.7	8.2	20.4	29.7	Brisa Moderada	4	9
5	17	21	8.8	10.8	31.5	38.9	Viento Refrescante	10	15
6	22	27	11.3	13.9	40.8	50.0	Viento Fuerte	17	25
7	28	33	14.4	17.0	51.9	61.2	Viento muy Fuerte	27	38
8	34	40	17.5	20.6	63.0	74.1	Temporal	40	55
9	41	47	21.1	24.2	76.0	87.1	Temporal Fuerte	58	76
10	48	55	24.7	28.3	89.0	101.9	Temporal muy Fuerte	79	104
11	56	63	28.8	32.4	103.8	116.8	Tempestad	108	137
12	64	71	32.9	36.5	118.6	131.6	Huracán	141	174
13	72	80	37.1	41.2	133.4	148.3		179	220
14	81	89	41.7	45.8	150.1	164.9		226	273
15	90	99	46.3	51.0	166.8	183.5		279	338
16	100	108	51.5	55.6	185.3	200.1		344	402
17	109	118	56.1	60.7	202.0	218.7	Ciclón	409	480

*Fig. 2.2. 1 Escala Beaufort para intensidades de viento.*

### 2.3 Variación de la velocidad del viento con la altura

La velocidad del viento varía con la altura debido principalmente a las turbulencias tanto de origen mecánico (causadas por las irregularidades de la superficie del terreno) como de origen térmico (causadas por el gradiente de temperatura del aire que provoca corrientes convectivas en sentido vertical).

Como en general la influencia del gradiente de temperatura del aire en una diferencia de altura de 100 metros (diferencia de altura razonable en el caso de los aerogeneradores de gran potencia) es pequeña no se tendrán en cuenta los efectos de las turbulencias térmicas, y solamente se tendrán en cuenta los efectos de las irregularidades de la superficie del terreno.

Conforme nos separamos del terreno, los efectos de rozamiento disminuyen y por lo tanto, la velocidad del viento aumenta. Así, se tiene un gradiente o variación de la velocidad con la altura, y se habla del perfil vertical de la velocidad del viento. La variación de la velocidad del viento con la altura depende de la rugosidad que tenga el terreno. Así, si se tienen superficies lisas (con agua, terrenos llanos, llanuras nevadas,...), el gradiente de velocidad es suave. Sin embargo, si se tienen superficies con gran rugosidad (terrenos con edificaciones urbanas, superficies boscosas,...) el gradiente de velocidad será mayor.

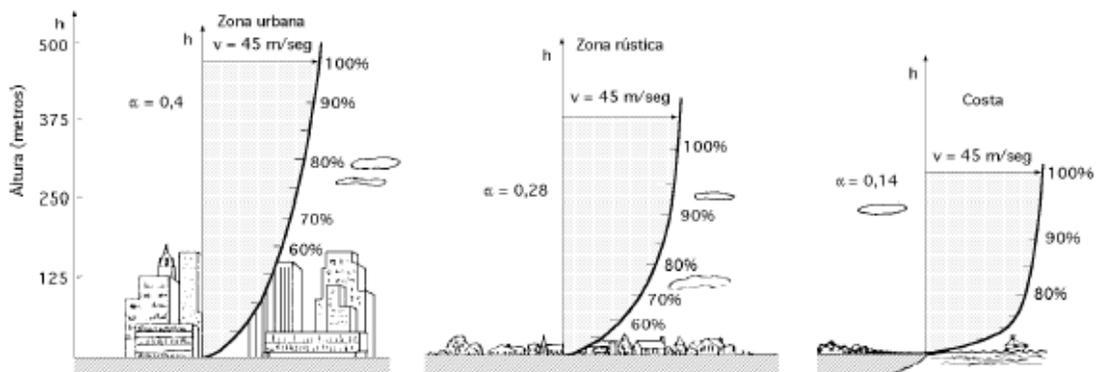


Fig.2.3 *velocidad del viento con la altura.*

## **2.4 Variación de la velocidad del viento con la orografía del terreno**

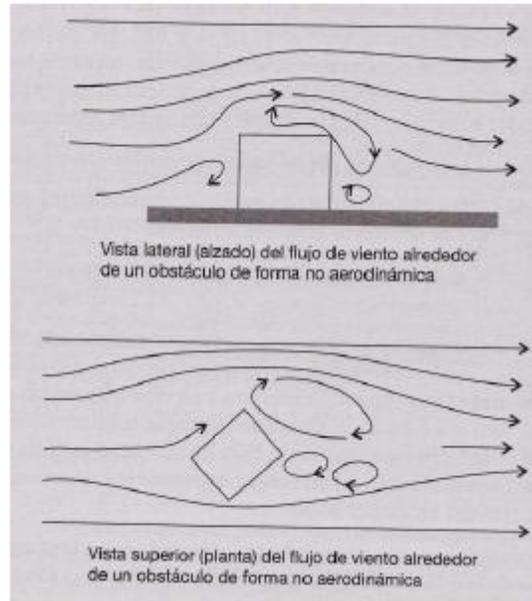
El relieve del terreno también es otro factor a tener en cuenta en la influencia sobre la velocidad del viento. Las elevaciones de terreno (montañas, colinas, acantilados,...) pueden aumentar la velocidad del viento si tienen pendientes suaves o pueden disminuirla si son con pendientes fuertes o crestas.

Así, para instalar un aerogenerador los lugares más adecuados son las colinas suaves con pendientes escasas de alta vegetación u obstáculos, ya que de esta forma se consigue aumentar la velocidad del viento (aceleración) y también los acantilados o colinas próximas al mar con suaves pendientes.

Sin embargo, los lugares menos adecuados para la instalación de estas máquinas son los acantilados y escarpados con fuertes pendientes, ya que se forman turbulencias que además de reducir la energía que puede producir el aerogenerador, crean esfuerzos mecánicos de fatiga que hacen reducir la vida útil de la máquina.

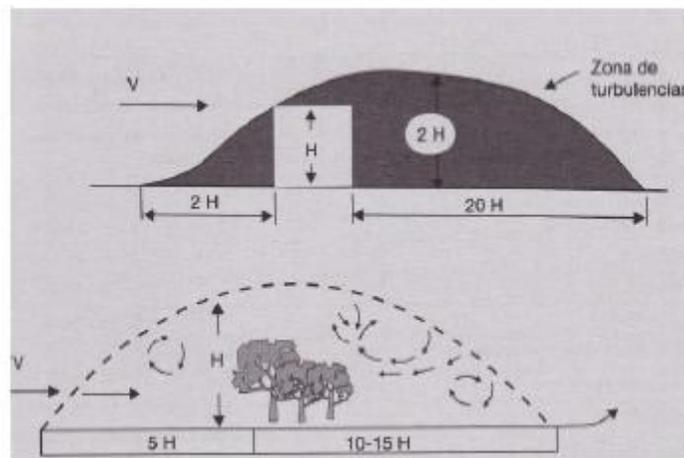
## **2.5 Variación de la velocidad del viento con la existencia de obstáculos**

Los obstáculos (edificios, árboles, accidentes en el terreno,...) provocan una disminución de la velocidad del viento, así como un aumento de las turbulencias. Por lo que a la hora de instalar grandes centrales eólicas se tendrá que tener en cuenta la presencia de obstáculos en un radio de 1km en la dirección dominante del viento.



**Fig.2.5** Efecto de un obstáculo no aerodinámico sobre el flujo del viento.

La zona de turbulencias es muy variable. Éstas son más acusadas en la parte posterior del obstáculo (sotavento) que en la parte anterior (barlovento). Como se ha comentado con anterioridad a sotavento pueden alcanzar entre 10 y 20 veces la altura del obstáculo y a barlovento solamente puede alcanzar unas 2 veces dicha altura.



**Fig. 2.5.1** Zona de perturbación y turbulencia originada por edificios y arbolado.

La disminución de la velocidad del viento aguas abajo del objeto no depende sólo de su forma y dimensiones, sino que también depende de su porosidad. A mayor porosidad mayor es la distancia que se mantiene la disminución de

velocidad de viento aguas abajo del obstáculo. Sin embargo, el nivel de turbulencia es menor en el caso de los objetos porosos.

El hecho de que los obstáculos influyan en la variación de la velocidad del viento hace que en los parques eólicos los aerogeneradores estén distanciados unos de otros entre 5 y 9 veces lo que mide el diámetro de su rotor en la dirección del viento dominante y entre 3 y 5 veces el diámetro en la dirección perpendicular. De esta forma se consigue evitar los efectos de sombra eólica de unos aerogeneradores sobre otros.

## 2.6 Descripción de las máquinas eólicas de baja potencia

Los aerogeneradores más completos tienen los siguientes componentes:

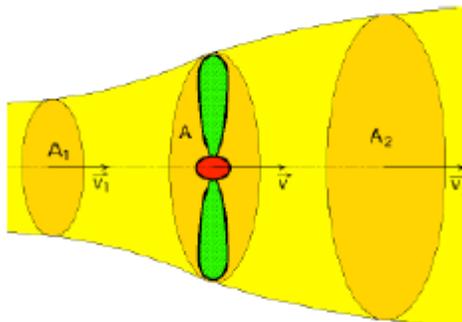
- *Góndola*: carcasa que protege las partes fundamentales del aerogenerador.
- *Palas del rotor*: transmiten la potencia del viento hacia el buje.
- *Buje*: parte que une las palas del rotor con el eje de baja velocidad.
- *Eje de baja velocidad*: conecta el buje del rotor al multiplicador.
- *Multiplicador*: permite que el eje de alta velocidad gire mucho más rápido que el eje de baja velocidad.
- *Eje de alta velocidad*: gira a gran velocidad, permitiendo el funcionamiento del generador eléctrico.
- *Generador eléctrico*: transforma la energía mecánica en energía eléctrica.
- *Controladores electrónicos*: monitorizan las condiciones de viento y controlan el mecanismo de orientación.
- *Unidad de refrigeración*: mecanismo para enfriar el generador eléctrico.
- *Torre*: parte del generador que soporta la góndola y el rotor.
- *Mecanismo de orientación*: activado por los controladores electrónicos, permite colocar el aerogenerador de tal manera que se obtenga la máxima potencia.

**Teorema de Betz.** -El Teorema de Betz es de mucha importancia para las máquinas eólicas, se puede decir que es tan importante para las máquinas eólicas como lo es el Teorema de Carnot para las máquinas térmicas. La teoría de Betz, supone que una vena fluida en una corriente no perturbada delante de una turbina eólica posee una velocidad  $v_1$ , y que en el infinito, aguas abajo de la misma, posee una velocidad  $v_2$ .

Vamos a suponer que la energía eólica se puede recuperar y transformar mediante un aerogenerador. La pala se supone inmersa en una corriente de aire

de velocidad  $v$  que, aguas abajo, posee una velocidad  $v_2$  no nula, lo que asegura que no es posible la transformación y recuperación de toda la energía del viento en otra forma de energía.

Se supondrá que aguas arriba de la pala, el aire que circula por el tubo de corriente, posee una velocidad  $v_1$  en la sección transversal ficticia  $A_1$ , que es la velocidad del viento sin perturbar, mientras que la velocidad  $v_2$  se corresponde con otra sección transversal ficticia  $A_2$  aguas abajo de la zona en que se encuentra la pala. En el plano que contiene la pala, la sección transversal batida por la misma sería un disco imaginario de sección  $A$ , siendo  $v$  la velocidad útil del viento en la misma.



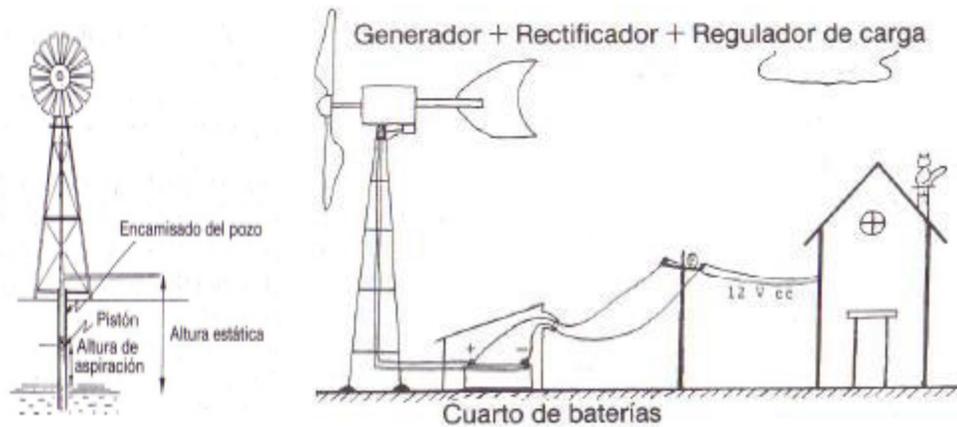
**Fig. 2.6** Esquema del movimiento del aire a través de un conducto.

## 2.7 Clasificación de las máquinas eólicas

La clasificación de las máquinas eólicas puede realizarse atendiendo a los siguientes aspectos:

- Usos.
- Potencias.
- Número de palas.
- Velocidades de trabajo.
- Disposición del eje del rotor.

Esta clasificación de las máquinas eólicas tiene en cuenta el tipo de trabajo que se va a realizar con ella. Este trabajo puede ser bombeo de agua, generación de energía eléctrica, molienda de granos.



**Fig. 2.7** a) *Máquina eólica para bombeo de agua de pozo.* b) *Máquina eólica para generación eléctrica.*

La clasificación por potencia nominal divide las máquinas eólicas en los siguientes grupos:

**Microturbinas (<3kW).**-Suelen ser utilizadas en sistemas aislados para generar electricidad que posteriormente servirá para cargar unas baterías de almacenamiento. El generador eléctrico que normalmente utilizan es de imanes permanentes, y no suelen contar con caja multiplicadora entre el eje del rotor del aerogenerador y el generador eléctrico.

Habitualmente se trata de máquinas de eje horizontal con tres palas y diámetros pequeños (entre 1 y 5 metros) que trabajan a velocidades de rotación elevadas y generalmente variables. La electricidad que producen está en forma de corriente alterna de frecuencia variable, por lo que ésta es rectificadora, almacenada en baterías y posteriormente se convierte de nuevo en alterna pero de frecuencia constante mediante un inversor. Finalmente un transformador es el que se encarga de subir la tensión a la que requiera el servicio.

Ejemplo: máquinas eólicas que se encargan de accionar bombas hidráulicas para la extracción de agua de los pozos.

**Pequeños aerogeneradores (<50kW).**-También suelen ser utilizados en sistemas aislados para generar electricidad que posteriormente servirá para cargar unas baterías de almacenamiento, es decir, cubren una demanda similar a la del grupo anterior, pero teniendo una mayor potencia. Además, también

suelen utilizarse para formar sistemas híbridos, es decir, sistemas que combinan la energía eólica con otro tipo de energía como puede ser solar, hidráulica, diesel,...

Si la potencia es hasta 10kW el tipo de generador eléctrico sigue siendo de imanes permanentes y sin hacer uso de caja multiplicadora. Sin embargo, para una gama de potencias más alta se introducen cajas de engranajes entre el eje del rotor y el del generador, ya que el generador eléctrico funciona a unas velocidades mucho mayores que las del rotor del aerogenerador.

Ejemplo: máquinas eólicas que se encargan de la iluminación de granjas de animales.

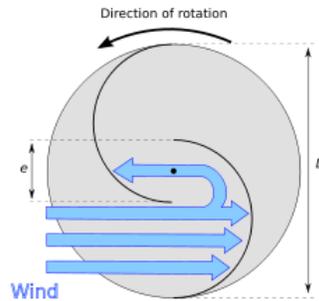
**Grandes aerogeneradores (<850kW).**-En este caso, la producción de electricidad ya se inyecta a la red. Suelen ser aerogeneradores rápidos de eje horizontal que cuentan normalmente con tres palas. Sus potencias suelen estar comprendidas entre 200 y 850 kW y sus diámetros entre 25 y 55 metros. Cuentan con cajas de engranajes para aumentar la velocidad y así poder accionar el generador eléctrico y sus palas suelen contar con un sistema de regulación (ya sea activo o pasivo) mediante el que se controla la potencia del rotor en función de la velocidad del viento.

**Aerogeneradores multimegawatt (1-3MW).**-La electricidad que producen también se inyecta a la red. Son similares a los anteriores en cuanto a cajas de engranajes y sistemas de regulación, sin embargo sus diámetros son mucho mayores (entre 50 y 90 metros) y su altura suele estar entre 60 y 100 metros.

### 3.1 Diseño del modelo

El finés Sigurd [Savonius](#) inventó el rotor que lleva su nombre a mediados de la década del 20 y desde entonces el rotor en cuestión ha sido objeto de numerosos

Estudios que han ayudado a determinar las variables que inciden en su eficiencia. Sus principales ventajas consisten en la relativa facilidad de construcción, su costo reducido en comparación a otros aerogeneradores y su bajo nivel tecnológico, lo cual lo hacen especialmente adecuado para países en vías de desarrollo y para poblados aislados y de pocos recursos.



**Fig.3.1** *dirección de rotación*

Sin embargo, debido a que funciona gracias al arrastre que produce el viento en sus palas (la diferencia de arrastre que se genera en las palas -una es cóncava y la otra convexa- causa un momento de torsión total respecto al eje distinto de cero en la presencia de suficiente viento, produciendo el giro), implica que exista una gran pérdida de energía causada por el rozamiento con el aire de la pala que va en contra del viento.

Esta es la razón por la cual se ha optado, en la mayoría de los casos, por utilizar aparatos que funcionen principalmente por el fenómeno de sustentación (lift), como el aerogenerador tradicional de eje horizontal (HAWT) o el más escaso tipo [Darrieus](#) (de eje vertical, o VAWT). Mientras un buen aerogenerador de eje vertical puede tener un coeficiente de potencia  $C_p$  (Potencia Extraída/Potencia Disponible en el Viento) cercano a 0,45 (máximo teórico, o límite de [Betz](#): 0,593), un [Savonius](#) Tradicional difícilmente superará un 0,2 como  $C_p$ .

El Sr Savonius introdujo un detalle muy importante en su modelo, que consiste en el traslape existente entre las dos palas que forman el aparato. Esto permite aumentar la eficiencia en la extracción de energía, debido a la adición de un factor de sustentación (no muy grande) al ya comentado factor de arrastre.

Como se puede apreciar en el modelo de la imagen, se ha incluido esta característica.



**Fig.3.1.1** factor de arrastre.

Sabiendo los detalles de la generación en un rotor común se puede decir que no es lo suficientemente eficaz por ello la modificación del rotor e incorporación de una pala mas es decir ahora será un rotor tipo savonius de 3 palas para aumentar la eficiencia y eficacia con la misma además de aprovechar el viento de una mejor manera.

### **3.1 Prototipo**

El prototipo es la primera versión o modelo del producto, en que se han incorporado algunas características del producto final. Se crean con rapidez y a bajo costo para explorar la factibilidad del concepto preliminar. Se puede fabricar a mano, de materias simples, pero también se puede contar con la pericia de un ingeniero, diseñador o desarrollador profesional de prototipos. De todos modos, el objetivo del prototipo es ayudar al emprendedor a visualizar y refinar su producto porque aunque el producto funciona bien en teoría, no es hasta que se empieza a trabajar en el prototipo cuando se empiezan a ver los fallos y los puntos de mejora.

Con el prototipo es posible aprender sobre las barreras que se presentarán durante la implementación del producto y mejorarlo a partir de ahí. Prueba la funcionalidad y viabilidad de esa idea inicial en convertirse a un producto deseado y útil. Así que requerirá varias interacciones para completamente profundizar la idea. Se repite el proceso hasta que el prototipo ha evolucionado tanto como sea posible.

Se realizó un prototipo previo a la construcción teniendo en cuenta los principios fundamentales del rotor convencional para lograr uno de 3 aspas en el cual aún no hay una información definida de esta llegando a la conclusión de

que este tipo de modelo no era el óptimo para la construcción del rotor y tendríamos que remodelarlo para llegar a la meta acordada.



**Fig.3.2***prototipo.*

### **3.2 Diseño del nuevo rotor**

Se diseñó el rotor del generador teniendo en cuenta los principios del rotor convencional y dejando los espacios entre pala y pala para que el viento adquirido tome el camino hacia la otra pala llegando a una mejor eficiencia aprovechando el viento de una manera mas optima a comparación del prototipo antes mencionado.



**Fig.1.3** rotor.

### **3.3 Innovación del equipo**

**Desmontable.**-El equipo diseñado es desmontable por lo que sus partes son separadas teniendo como ventaja el fácil manejo de todos sus componentes obteniendo mejores alternativas para su transporte y con ello tener mayor acceso a cambios si en caso de que un elemento del sistema generador sufra daños o la eficiencia no sea la esperada.

**Sistema de poleas(multiplicador de velocidad).**-Se emplea para transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes distantes permitiendo aumentar, disminuir o mantener la velocidad de giro del eje conductor, al tiempo que mantener o invertir el sentido de giro de los ejes.

Este mecanismo es muy empleado en aparatos **electrodomésticos** (neveras, lavadoras, lavavajillas...), electrónicos (aparatos de vídeo y audio, disqueteras...) y en algunos mecanismos de los **motores térmicos** (ventilador, distribución, alternador, bomba de agua...).

Normalmente los ejes tienen que ser paralelos, pero el sistema también puede emplearse con ejes que se cruzan en ángulos inferiores o iguales a  $90^\circ$ .

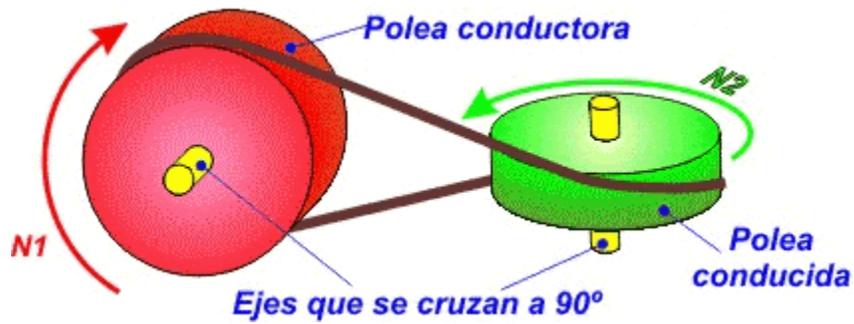


Fig.1.4 sistemas de poleas.

El multiplicador de velocidad por poleas más elemental que puede construirse emplea, al menos, los siguientes operadores: dos **ejes** (conductor y conducido), dos **poleas fijas** de correa (conductor y conducida), una **correa** y una **base** sobre la que fijar todo el conjunto; a todo ello se le pueden añadir otros operadores como **poleas tensoras o locas** cuya finalidad es mejorar el comportamiento del sistema.

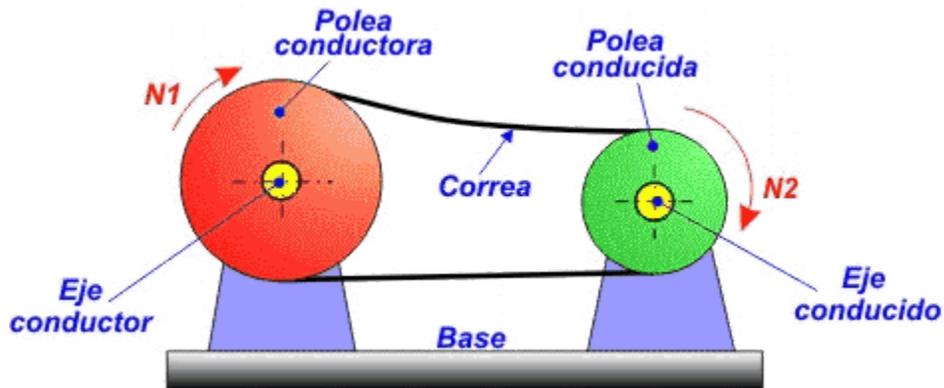


Fig.1.4.1 multiplicador de velocidad

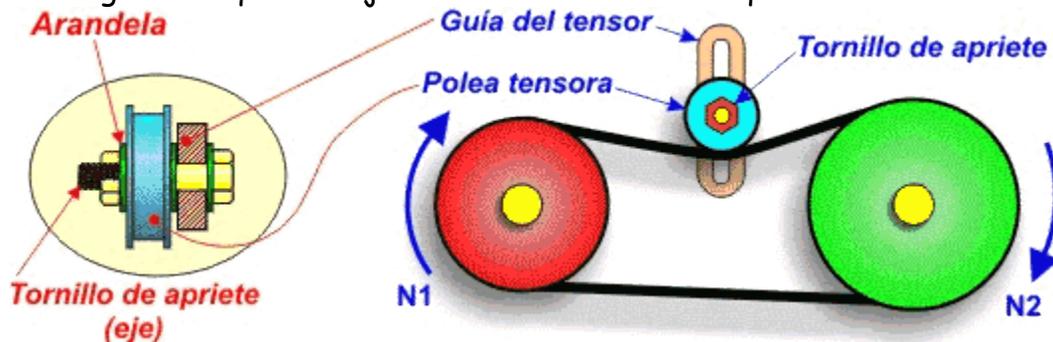
La utilidad de cada operador es la siguiente:

- El **eje conductor** es el eje que dispone del movimiento que queremos trasladar o transformar (en una lavadora sería el propio eje del motor).

- El **eje conducido** es el eje que tenemos que mover (en una lavadora sería el eje al que está unido el bombo).
- **Polea conductora** es la que está unida al eje conductor.
- **Polea conducida** es la que está unida al eje conducido.
- La **correa** es un aro flexible que abraza ambas poleas y transmite el movimiento de una a otra. Es interesante observar que los dos tramos de la correa no se encuentran soportando el mismo esfuerzo de tensión: uno de ellos se encuentra bombeado (flojo) mientras que el otro está totalmente tenso dependiendo del sentido de giro de la polea conductora (en la figura se puede observar que el tramo superior está flojo mientras que el inferior está tenso).
- La **base** es la encargada de sujetar ambos ejes y mantenerlos en la posición adecuada. En algunas máquinas este operador dispone de un mecanismo que permite aumentar o disminuir la distancia entre los ejes para poder tensar más o menos la correa.

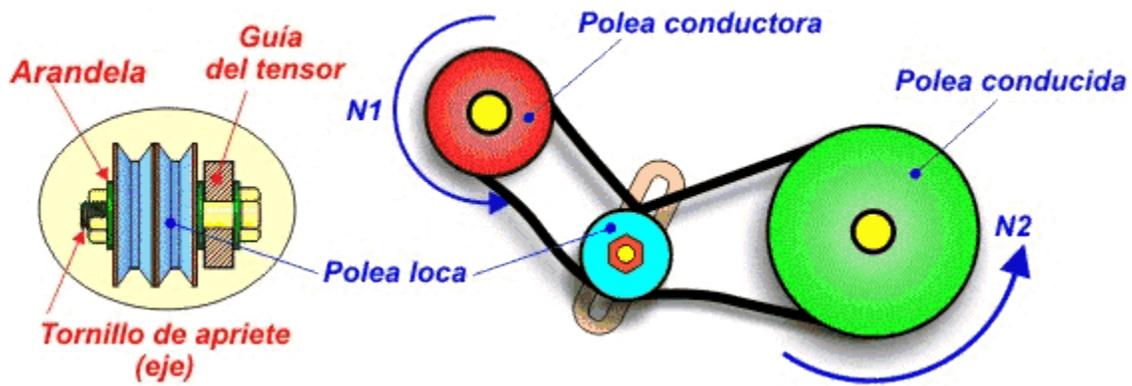
Para aumentar la eficacia de este mecanismo se pueden añadir los operadores siguientes:

- La **polea tensora** es un cilindro (u otra polea de [correa](#)) que apoya sobre la correa y permite aumentar su tensión adecuadamente. Puede deslizarse sobre una guía a la que se sujeta mediante un tornillo que también hace de eje.



**Fig.1.4.2 partes del sistema de poleas**

- La **polea loca** puede ser una polea como la anterior o estar formada por dos poleas solidarias de igual o diferente diámetro que no mueven ningún eje motor. Permiten enlazar dos correas y tensarlas, multiplicar velocidades, modificar la dirección de las fuerzas...



### 3.4 Relación de velocidades

La transmisión de movimientos entre dos ejes mediante poleas está en función de los diámetros de estas, cumpliéndose en todo momento:

$$N1 \times D1 = N2 \times D2 \quad N2 = N1 \times (D1/D2)$$

Donde:

**D1** Diámetro de la polea conductora

**D2** Diámetro de la polea conducida

**N1** Velocidad de giro de la Polea Conductora

**N2** Velocidad de giro de la Polea Conducida

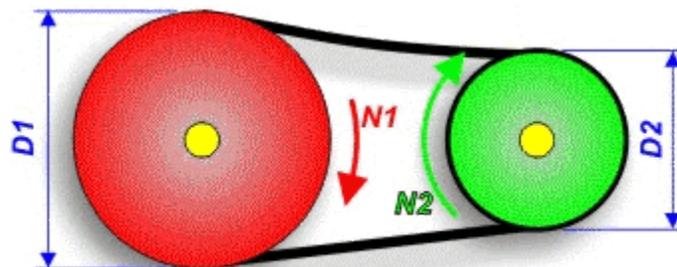


Fig.3.5 relación de velocidad

Definiendo la **relación de velocidades (i)** como:

$$i = \frac{\text{Velocidad eje conductor}}{\text{Velocidad eje conducido}} = \frac{\text{Diámetro polea conducida}}{\text{Diámetro polea conductora}}$$

$$i = \frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1}$$

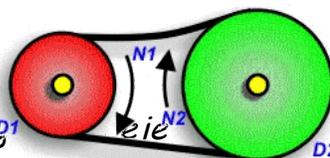
Este sistema de transmisión de movimientos tiene importantes ventajas: mucha fiabilidad, bajo coste, funcionamiento silencioso, no precisa lubricación, tiene una cierta elasticidad...

Como desventaja se puede apuntar que cuando la tensión es muy alta, la correa puede llegar a salirse de la polea, lo que en algunos casos puede llegar a provocar alguna avería más seria.

**Posibilidades del multiplicador de velocidades.**-Teniendo en cuenta la relación de velocidades que se establece en función de los diámetros de las poleas, con una adecuada *elección de diámetros* se podrá aumentar ( $D1 > D2$ ), disminuir ( $D1 < D2$ ) o mantener ( $D1 = D2$ ) la velocidad de giro del eje conductor en el conducido.

**Disminuir de la velocidad de giro.**-Si la *Polea conductora* es menor que

$$\begin{matrix} D1 < D2 \\ N1 > N2 \end{matrix}$$



la *conducida*, la velocidad de  $\omega_1$  será menor que la del *eje conductor*.

**Fig.3.5.1 Disminución de velocidad**

**Mantener la velocidad de giro.** -Si ambas poleas tienen igual diámetro, las velocidades de los ejes serán también iguales

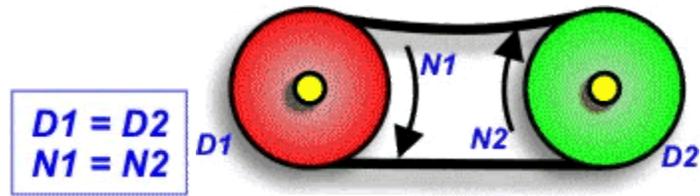


Fig.3.5.2 *conservación de velocidad*

**Aumentar la velocidad de giro.**-Si la *Polea conductora* tiene mayor diámetro que la *conducida*, la velocidad de giro aumenta.

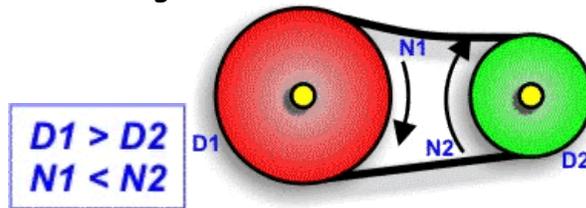


Fig.1.5.3 *Aumento de velocidad*

**Invertir el sentido de giro**

Empleando poleas y correas también es posible invertir el sentido de giro de los dos ejes sin más que cruzar las correas.

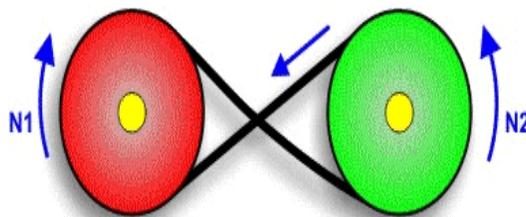


Fig.1.5.4 *Inversión de giro*

Se adaptó un sistema de poleas con el fin de aumentar las velocidades producidas por el rotor y tener una eficiencia mejor del modelo que consta de una polea inferior y superior que luego esta dirigida al alternador.

$$N_1 D_1 = N_2 D_2$$

Donde:

D1=Diámetro de la polea conductora

D2= Diámetro de la polea conducida

N1=velocidad de giro de la polea conductora

N2=velocidad de giro de la polea conducida

i=Relación de velocidades

$$i = \frac{\text{velocidad eje conductora}}{\text{velocidad (n) ejeconducido}} = \frac{\text{Diámetro polea conducida}}{\text{Diámetro polea conductora}}$$

$$i = \frac{N_1 D_2}{N_2 D_1}$$

$$N_2 = \frac{N_1 D_2}{D_1}$$

FORMULA:

N1=velocidad polea entrante 3000 rpm

N2=velocidad polea de salida

N3= velocidad polea de salida

N4= velocidad polea de salida

D1=diámetro de la polea entrada es 30 cm

D2=diámetro de la polea de salida es 10 cm

D3=diámetro de la polea de salida es 50 cm

D4=diámetro de la polea de salida es 10 cm

**Calculo de la velocidad del eje 2**

$$N1(D1)=N2 \cdot D2$$

$$3000(30)=N2 \cdot 10$$

$$N2 = \frac{(3000)(30)}{10} = 9000 \text{ rpm}$$

### Calculo de velocidad del eje 3

$$N3=N2$$

$$N3D3=N4D4$$

$$9000 \text{ rpm} \cdot 50 \text{ cm} = N4(10 \text{ cm})$$

$$\text{Rueda 1} = 3000 \text{ rpm}$$

$$\text{Rueda 2} = 9000 \text{ rpm}$$

$$\text{Rueda 3} = 4500 \text{ rpm}$$

### FACTOR DE TRANSMISION

Primera y segunda rueda

$$i1 - 2 = \frac{D1}{D2} = \frac{30}{10} = 3$$

### 3.5 Diseño de la estructura del rotor

La estructura consta de su base, la superficie y los 4 pilares que se unen por medio de tornillos para ser una estructura firme y de transporte fácil además no estar fijo en un solo lugar es decir que el sistema en si puede ser desmontable en todos los casos

**Contrapesos.** -Se implementó un sistema de contrapesos para volver estable el equipo de posibles vibraciones o de un desbalance del rotor producido ya sea por el terreno en el que se colocara o por algún problema que pueda producir que consta de aplicar un poco de peso en la pala que este fuera del Angulo ideal para compensar el sistema

**Tensores.** -Estos actúan como tensores, refuerzan la estructura y mantienen el rotor en su posición; cuando se colocan varios cables en forma cruzada se forma una red. Los cables que se encuentran en los soportes verticales soportan las cargas producidas por la gravedad como el peso de la estructura. Éstos están hechos de acero muy resistente y se fabrican en diversas presentaciones según las tensiones y cargas que deben soportar. Los cables y tirantes de barra de acero desarrollados están enfocados para el uso en diversas aplicaciones, tales como:

- Tirantes para grandes estructuras
- Arriostamiento de naves, edificios,...
- Atirantado de marquesina y voladizos
- Mallas de cable acero
- Cables y accesorios para el uso en arquitectura textil
- Catenarias y péndolas para puentes y pasarelas

La estructura del proyecto tiene 2 aros en la parte superior y media de cada pilar para poder colocar nuestro savonius en cualquier terreno además de brindarle la estabilidad que necesite en cuanto a que la estructura se encuentre firme.

#### Alternador

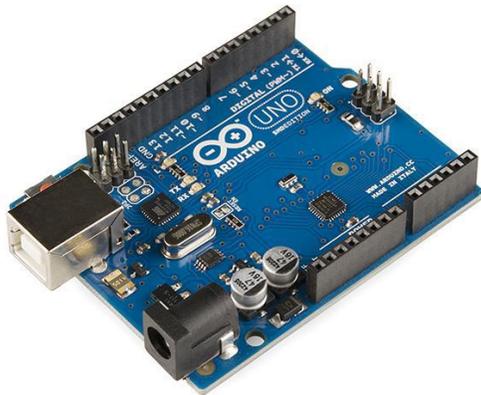
Un alternador es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética. Los alternadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo magnético variable se crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y el valor del flujo que lo atraviesa. Un alternador es un generador de corriente alterna que funciona cambiando constantemente la polaridad para que haya movimiento y genere energía.

#### 4. Diseño de interfaz electrónica para la metrología del sistema del aerogenerador.

Para la parte de la interfaz electrónica utilizaremos arduino, ya que tiene gran uso para la medición de corriente, voltaje y rpm. Además que cuenta con varios sensores que facilitaran la forma de medir

**Arduino** es una compañía de hardware libre, y comunidad tecnológica, que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware y software compuesta respectivamente por circuitos impresos que integran un microcontrolador, y un entorno de desarrollo (IDE) en donde se programa cada placa. Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios.<sup>1 2</sup> Toda la plataforma, tanto para sus componentes de hardware como de software son liberados bajo licencia de código abierto que permite libertad de acceso a los mismos<sup>3</sup>.

El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida,<sup>4</sup> los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields) que amplían las características de funcionamiento de la placa arduino. Asimismo posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación serial con el computador.



Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo (IDE) basado en el entorno de Processing y lenguaje de programación basado en Wiring, así como en el cargador de arranque (bootloader) que es ejecutado en la placa.<sup>4</sup> El microcontrolador de la placa se programa a través de un computador, haciendo

uso de comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL serial.

Las características de los microcontroladores usados en las placas Arduino Son:

- Voltaje operativo de 5V.
- Mínimo de 14 entradas/salidas digitales.
- Mínimo de 6 salidas que proporcionan PWM
- Mínimo de 6 entradas analógicas.
- Intensidad de corriente de 40 mA.
- Memoria Flash comprendida entre 16 y 128 KB.
- Memoria RAM comprendida entre 1 y 8 KB.
- EEPROM comprendida entre 512 bytes y 4 KB.
- Frecuencia de reloj de 16 MHz.

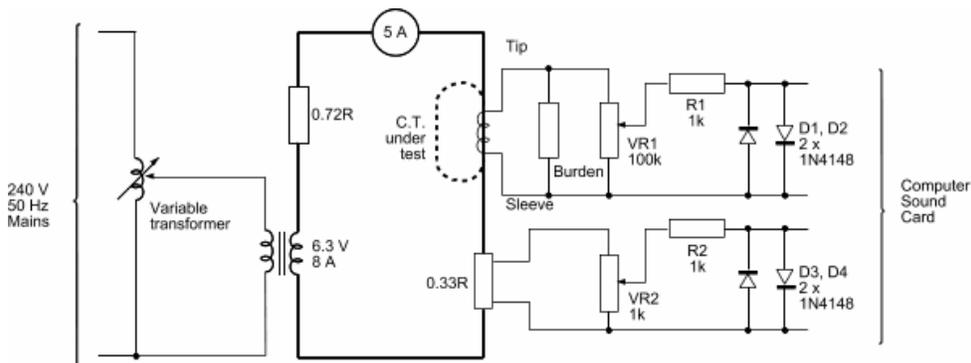
Una gran ventaja de una placa Arduino con respecto a un PIC es que, al ser una placa, simplemente hay que preocuparse por la conexión de las entradas/salidas a los dispositivos que se deseen, ya que las demás conexiones necesarias para el funcionamiento del microcontrolador ya están realizadas. Sin embargo el PIC se comercializa como un microcontrolador individual al que le hace falta añadir ciertos elementos.

#### **4.1 YHDC SCT-013-000**

transformador de corriente es no invasiva sensor de corriente alterna (100 A max), Modelo SCT-013-000, SKU THM105C4B. No tiene ninguna resistencia de carga interna, pero diodos Zener internos limitar la tensión de salida en caso de una desconexión accidental de la carga. Es capaz de desarrollar suficiente tensión para conducir completamente una entrada de 5 V. Para corrientes de prueba de hasta 150 A, el primario del TC consiste en de 1 a 30 vueltas de cable aislado de 16 / 0,2 mm. La mayoría de las pruebas se realizaron a 5 A - por lo tanto la corriente primaria vista por el CT puede ser ajustado en pasos de 5 A encerrando un número variable de vueltas en el interior del núcleo. Para los ensayos de saturación de hasta 250 A, el principal se compone de 50 pases de alambre de cobre esmaltado, el ser corriente ajustada en este caso.



La corriente primaria se controló mediante la derivación  $0.33\Omega$ . Los potenciómetros, resistencias de limitación de corriente y diodos, tanto en la derivación, y las salidas de TC, son para proteger la tarjeta de sonido del ordenador de un exceso de tensión y transitorios de conmutación. Los potenciómetros se ajustaron de tal manera que la tensión no excedió de 400 mV pico y en este voltaje, los diodos no afectaron a la forma de la forma de onda supervisado.



Cuando la forma de la onda era de interés, la forma de onda de corriente y voltaje primario del TC se registraron utilizando un osciloscopio de software y la forma de onda registrada importar en una hoja de cálculo y posteriormente,

calibrado frente a la tensión real de leer, ya sea por un multímetro o un osciloscopio real conectado directamente a través de la salida de CT.

Dado que la compilación por primera vez este informe a principios de 2012, YHDC parece haber cambiado el material del núcleo del transformador, y una técnica más sensible y es de esperar más preciso para medir el error de fase se ha desarrollado. Para esta cuestión, las dos muestras originales de transformador de corriente se han medido de nuevo, y se han añadido resultados de las mediciones de fase de tercera muestra tomada de un lote reciente.

Los errores de medición.

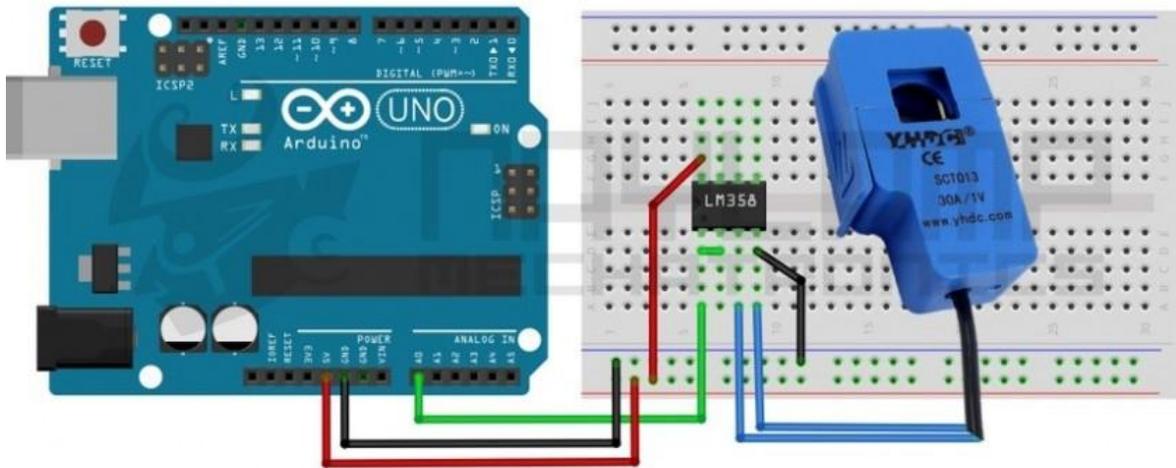
La corriente principal se encuentra en un amperímetro de hierro móvil, que fue verificado contra el multímetro. Un indicada 5 A mide 5,04 A y este error se representó en las mediciones. Medición de 5 A, el multímetro usado tiene una precisión de  $\pm (3\% + 10 \text{ dígitos})$ , o 5%. En los rangos mA utilizados para medir la corriente secundaria, la precisión es de  $\pm (1,5\% + 5 \text{ dígitos})$ , o entre 2,4% y 3,2%, dependiendo de la lectura. Por lo tanto la incertidumbre total en la medida de la relación es de aproximadamente 7.5 a 8.5%.

Rango útil.

Saturación está empezando a 100 A, por lo tanto, esto confirma la máxima calificación actual. Sin embargo, el transformador todavía dará resultados razonablemente precisos, incluso cuando se somete a una sobrecarga moderada.

Efecto de la resistencia de carga.

A medida que aumenta la resistencia de carga, un aumento de la tensión se desarrolla a través de la carga y, finalmente, la forma de onda de salida se distorsiona como los ácidos grasos saturados de núcleo. El transformador variable introdujo un aplanamiento de la forma de onda de pico de corriente, dando una distorsión residual de 2,5%. El valor de la resistencia para dar 5% de distorsión total (momento en el que la distorsión comenzaba a aumentar notablemente con el aumento de la resistencia), y la tensión a la que esto se produjo, se midió.



Acá se muestra el circuito y sus conexiones con arduino, para luego usar el siguiente código de programación que nos ayudara para medir los amperes en el aerogenerador

Código de programación con Arduino para el medidor de Corriente

```
byte p20[8] = { B10000, B10000, B10000, B10000, B10000, B10000, B10000,};  
byte p40[8] = { B11000, B11000, B11000, B11000, B11000, B11000, B11000,};  
byte p60[8] = { B11100, B11100, B11100, B11100, B11100, B11100, B11100,};  
byte p80[8] = { B11110, B11110, B11110, B11110, B11110, B11110, B11110,};  
byte p100[8] = { B11111, B11111, B11111, B11111, B11111, B11111, B11111,};  
#include <LiquidCrystal.h>  
#include <Keypad.h>
```

```

#include <EmonLib.h>
EnergyMonitor emon1;
LiquidCrystal lcd(23, 25, 27, 29, 31, 33);
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','#'},
  {'4','5','6','+'},
  {'7','8','9','='},
  {'-','0','.','D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {49,47,45,43};
byte colPins[COLS] = {41,39,37,35};
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );
//variables
boolean estado_valor1 = false;
boolean next = false;
boolean final = false;
float resultado;
char operador;
String numero1, numero2, numero3;
int col=0,fil=0,bic=0;
int t=0,g=0;
float a1,a2,a3,k;
int buss=51;
void setup() {
  emon1.current (A0, 60);
  pinMode(buss,OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print(" HEISENBERG ");
  lcd.createChar(0, p20);
  lcd.createChar(1, p40);
  lcd.createChar(2, p60);
  lcd.createChar(3, p80);
  lcd.createChar(4, p100);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" ");
  for (int i = 0; i<16; i++) {
    for (int j=0; j<5; j++) {
      lcd.setCursor(i, 1);
      lcd.write(j);
      delay(20); }
    }
  Serial.begin(9600);
  digitalWrite(buss,HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(buss,LOW);
  lcd.clear();

```

```

}
void loop() {
char tecla = keypad.getKey();
if (tecla!=NO_KEY || col==0){
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Valor de Tension");
if (tecla != NO_KEY &&
(tecla=='1' || tecla=='2' || tecla=='3' || tecla=='4' || tecla=='5' || tecla=='6' || tecla=='7' || tecla=='8' || te
c
la=='9' || tecla=='0' || tecla=='-' || tecla=='.')){
if (t==0){
digitalWrite(buss,HIGH);
delay(100);
digitalWrite(buss,LOW);
lcd.setCursor(col,1);
lcd.print(tecla);
numero1 = numero1 + tecla;
col++;
final=true;
}
}
else if (tecla != NO_KEY && (tecla == '+')){
operador = tecla;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("PROCEDER... ");
t++;
digitalWrite(buss,HIGH);
delay(100);
digitalWrite(buss,LOW);
a1=numero1.toFloat();
}
}
else if (tecla != NO_KEY && final == true && tecla == '='){
col++;
lcd.clear();
while (1){
double Irms1= emon1.calcIrms (1480);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("POTENCIA:");
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print(Irms1*a1);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("CORRIENTE:");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(Irms1);
digitalWrite(buss,HIGH);
delay(100);
digitalWrite(buss,LOW);

```

```

delay(100);
}
}
else if (tecla != NO_KEY && tecla == '#'){
lcd.clear();
estado_valor1 = false;
t=0;
final = false;
numero1 = "";
numero2 = "";
numero3 = "";
resultado = 0;
operador= ' ';
col=0;
fil=0;
bic=0;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Tension fase 1 ");
digitalWrite(buss,HIGH);
delay(100);
digitalWrite(buss,LOW);
}
}
{
if (tecla == 'D'){
// lcd.setCursor(0,0);
// lcd.print(" FASE 1 ");
for (int positionCounter=0; positionCounter<1;positionCounter++){
lcd.scrollDisplayLeft();
}
}
}
}

```

## 4.2 SENSOR DE VOLTAJE

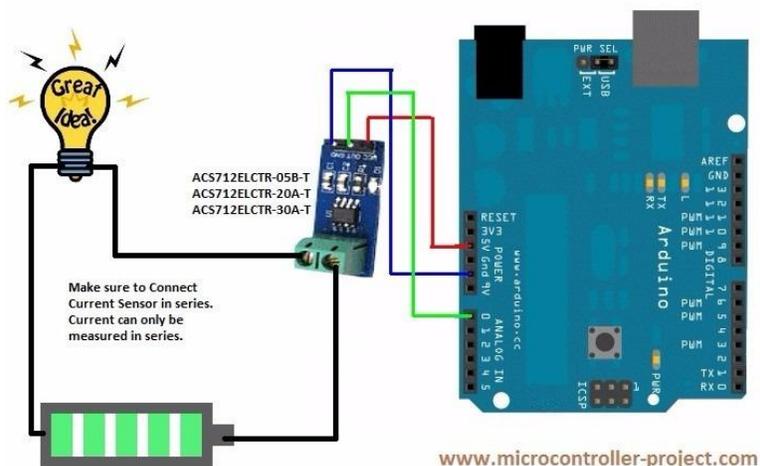
El módulo funciona con el principio de divisor de tensión resistivo por lo que puede hacer el valor de entrada del voltaje hasta 5 veces más pequeño.



Por ejemplo si estás utilizando un Arduino de 5V, la detección de la tensión de entrada del módulo de tensión no debe ser superior a  $5V \times 5 = 25V$  ( si se utiliza 3.3V la tensión de entrada no debe ser superior a  $3.3V \times 5 = 16.5V$ )

### Características

- Rango de entrada de voltaje: DC 0-25V
- Rango de detección de voltaje: DC 0.02445V - 25V
- Resolución analógica Tensión: 0.00489 V



Código arduino:

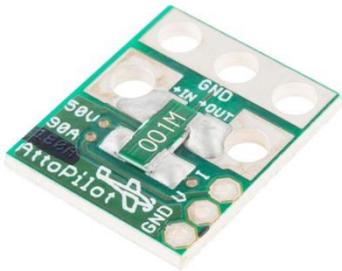
```
#include <Wire.h>
```

```
int val1;
int val2;

void setup()
{
  pinMode(LED1,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Emartee.Com");
  Serial.println("Voltage: ");
  Serial.print("V");
}
void loop()
{
  float temp;
  val1=analogRead(1);
  temp=val1/4.092;
  val1=(int)temp;//
  val2=((val1%100)/10);
  Serial.println(val2);
  delay(1000);
}
```

### 4.3 ATTOPILOT

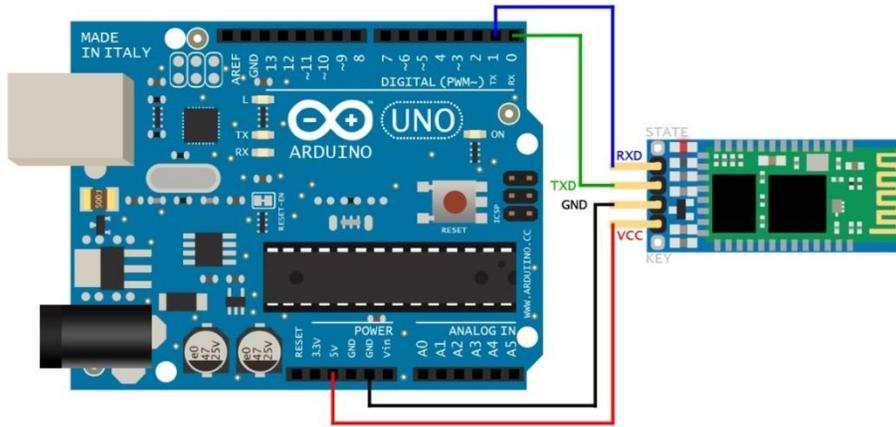
**Descripción:** Este es un pequeño voltaje y PCB de detección de corriente. Corriente DC se determina mediante la medición de una caída de tensión a través de un par de paralelos 1 Mohm resistencias en derivación, luego se convierte en una salida final tensión analógica por la TI INA-169. Detección de tensión se logra mediante la ampliación de gama ADC 3,3 V por un divisor de resistencia de precisión.



El PCB se suministra sin cables o conectores. Los tamaños de planchas son lo suficientemente grandes para acomodar cables de calibre 12 de alta resistencia (ver ficha técnica), pero se debe tener cuidado en la soldadura. Cables de calibre más pequeños son mucho más fáciles de soldadura sin crear cortocircuitos.

#### **características:**

- 51.8V Max
- 89.4A Max
- Muy baja corriente traslado de origen
- salida analógica a escala para 3.3V ADC
- autoalimentado



En el ejemplo se utilizó una fuente de poder para poder calcular el voltaje y corriente, usando el sensor Attopilot.



5.1 ejemplo del cálculo con Attopilot

Código de programación para arduino

```
#include <NewSoftSerial.h>
```

```
NewSoftSerial LCD(2, 3);
```

Aca tenemos el código que llevara para el calculo del voltaje con el programa arduino.

```
int VRaw; //This will store our raw ADC data
```

```

int IRaw;

float VFinal; //This will store the converted data
float IFinal;

void setup() {

LCD.begin(9600);
backlightSerLcd(100);

/* Use this setup code instead if you want to read
the data into the serial terminal.

Serial.begin(9600);
*/

}

void loop() {

//Cleanup for LCD (Don't include this line if you are
//using a serial terminal instead.
clearSerLcd();

//Measurement
VRaw = analogRead(A0);
IRaw = analogRead(A1);

//Conversion
VFinal = VRaw/49.44; //45 Amp board

```

```

//VFinal = VRaw/12.99; //90 Amp board
//VFinal = VRaw/12.99; //180 Amp board
    IFinal = IRaw/14.9; //45 Amp board
//IFinal = IRaw/7.4; //90 Amp board
//IFinal = IRaw/3.7; //180 Amp board
//Display
LCD.print(VFinal);
LCD.print("  Volts");
LCD.print(0xFE, BYTE);
LCD.print(192, BYTE);
LCD.print(IFinal);
LCD.print("  Amps");
delay(200);
/*
//Alternate Display code for terminal.
If you wish to use the terminal instead of an
LCD, use this display code instead of the above.

Serial.print(VFinal);
Serial.println("  Volts");
Serial.print(IFinal);
Serial.println("  Amps");
Serial.println("");
Serial.println("");
delay(200);

```

```

    */
}
//SerialLCD Functions, Don't include if you are not using an LCD
//These functions were borrowed from the Arduino Playground
//(http://www.arduino.cc/playground/Code/SfLCD2)
void clearSerLcd(){
    LCD.print(0xFE, BYTE);    //command flag
    LCD.print(0x01, BYTE);    //clear command.
    delay(50);
}
void backlightSerLcd(int thePercentage){ //turns on the backlight
    LCD.print(0x7C, BYTE);    //command flag for backlight stuff
    int theValue = map(thePercentage, 0,100,128,157); // maps
percentage to what SerLCD wants to see
    LCD.print(theValue, BYTE);    //light level.
    delay(50);
}

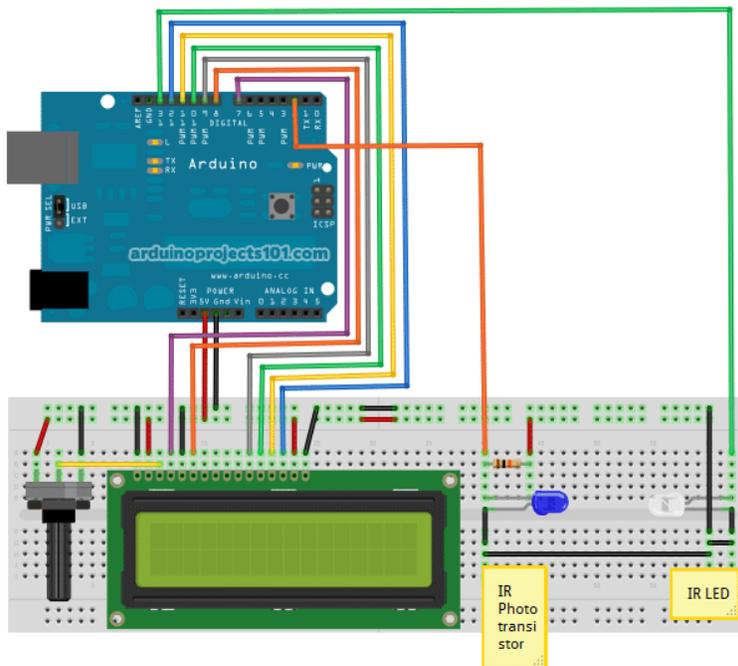
```

## 4.4 Arduino RPM Counter / Tachometer

Con arduino podemos medir los rpm que va a dar el aerogenerador haciendo que funcione como tacómetro.

Un tacómetro es un dispositivo utilizado para medir las RPM Revoluciones por minuto o de cualquier cuerpo en rotación. Tacómetros pueden ser los contactos

basados o no contacto. La no - contacto o tacómetros ópticos sin contacto suelen utilizar láser o haz de infrarrojos para controlar la rotación de cualquier cuerpo. Esto se hace mediante el cálculo de tiempo necesario para que una rotación.



```
int ledPin = 13; // IR LED connected to digital pin 13
volatile byte rpmcount;
unsigned int rpm;
unsigned long timeold;

// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>
// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

void rpm_fun()
{
```

```
//Each rotation, this interrupt function is run twice, so take that into consideration for
```

```
//calculating RPM  
//Update count  
    rpmcount++;  
}
```

```
void setup()
```

```
{  
    lcd.begin(16, 2); // initialise the LCD
```

```
//Interrupt 0 is digital pin 2, so that is where the IR detector is connected
```

```
//Triggers on FALLING (change from HIGH to LOW)  
attachInterrupt(0, rpm_fun, FALLING);
```

```
//Turn on IR LED  
pinMode(ledPin, OUTPUT);  
digitalWrite(ledPin, HIGH);
```

```
rpmcount = 0;  
rpm = 0;  
timeold = 0;  
}
```

```
void loop()
```

```
{  
    //Update RPM every second  
    delay(1000);  
    //Don't process interrupts during calculations  
    detachInterrupt(0);  
    //Note that this would be 60*1000/(millis() - timeold)*rpmcount if the interrupt
```

```

    //happened once per revolution instead of twice. Other multiples could be
used
    //for multi-bladed propellers or fans
    rpm = 30*1000/(millis() - timeold)*rpmcount;
    timeold = millis();
    rpmcount = 0;

    //Print out result to lcd
    lcd.clear();
    lcd.print("RPM=");
    lcd.print(rpm);

    //Restart the interrupt processing
    attachInterrupt(0, rpm_fun, FALLING);
}

```

## 5. CONCLUSIÓN

La energía eólica es una gran fuente de donde podemos tomar mucha ventaja ya que es una energía renovable y muy natural que no daña a la ambiente, por eso se debe tomar medidas para poder explotarla un poco más y en zonas rurales donde no llega la electrificación, seria de mucha ayuda para la gente y con el

aerogenerador que se presenta en este proyecto es buen elemento para ese tipo de factores donde la gente lo necesita y el clima es apropiado para su instalación y buen funcionamiento.

Desde el punto de vista económico, dicho proyecto no resulta muy caro, ya que como se ha observado, aunque la realización del primer aerogenerador, será algo menos económico, el resto de aerogeneradores serán mucho más baratos. Aun y todo, hay que tener en cuenta que en un país como México, una cantidad de dinero de ese calibre supone mucho más, por lo que tampoco les parecerá un proyecto excesivamente económico. Sin embargo, hay que resaltar que una vez esté amortizada la inversión inicial, que es la más costosa, el mantenimiento y la mano de obra posterior son prácticamente nulos, ya que el equipo es muy sencillo. Además, también hay que destacar que toda la fabricación se puede llevar a cabo en talleres locales, con mano de obra y material prácticamente todo del propio lugar de trabajo, algo que también resulta muy ventajoso.

Monitoreando con arduino y sus sensores podemos saber cuánta energía genera, cuanto voltaje y amperaje, con lo que podemos llevar un control del aerogenerador con más facilidad, si hay alguna pérdida de energía o el rpm está mal, con ello podemos solucionar problemas que tenga.

Por todo ello, se puede concluir que aunque un rotor Savonius comúnmente se utilizaba para el bombeo de agua, con éste puede conseguirse también la generación eléctrica. Su principal inconveniente será que al tener un coeficiente de potencia tan pequeño, las dimensiones del equipo serán bastante grandes y sería complicado fabricar aerogeneradores Savonius de mayor potencia, 500W por ejemplo, para electrificar a una comunidad entera y de esta forma no tener que montar un número de equipos elevado

## **6. REFERENCIAS**

<https://www.sparkfun.com/products/9028>

<http://www.electronicaestudio.com/sensores.htm#SHT-11130A>

<http://www.leandroruiz.com/blog/amperimetro-con-arduino/>

[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/20245/TFG\\_Alvaro\\_Lucas\\_San\\_Roman.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/20245/TFG_Alvaro_Lucas_San_Roman.pdf?sequence=1)

<http://es.slideshare.net/nelsonpatriciovegabustamante/aerogenerador-savonius>

[http://www.naylampmechatronics.com/blog/51\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-s.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-s.html)

<http://arduino-projects101.com/arduino-rpm-counter-tachometer/>