



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Memoria



Director: Sebastián Tornil Sin
Departamento ESAII (707)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE MEMORIA

Índice memoria	2
INTRODUCCIÓN.....	5
Estudio del problema.....	5
Objetivos Principales	6
CAPÍTULO 1: marco teórico	7
1.1 Energía eólica.	7
1.1.1 Procedencia de la energía eólica. El viento.....	8
1.2 Aerogeneradores	8
1.2.1 Clasificación de los aerogeneradores.....	8
1.2.2 Partes del aerogenerador.....	10
1.2.3 Funcionamiento de los aerogeneradores.....	11
1.2.4 Diseño de control.....	12
1.2.4.1 Regulación y control del número de revoluciones.....	12
1.2.4.2 Mecanismos de orientación	13
Objetivos Específicos.....	14
CAPÍTULO 2: Estudio Alternativas	15
2.1 Sistema de adquisición.....	15
2.1.1 Variación del viento.	15
2.1.2 Velocidad del viento.....	16
2.1.3 Adquisición velocidad del viento	17
2.1.4 Dirección del viento	20
2.1.5 Implementación del controlador	21
2.1.6 Alternativa escogida	23
2.1.6.1 Adquisición de la velocidad	23
Anemómetro rotativo de cubeta.....	23
2.1.6.2 Adquisición posición del viento	25
2.1.6.3 Microcontrolador utilizado. 16F877A	26
2.1.6.4 Visualización.....	27
CAPÍTULO 3: ESTADO DE DESARROLLO	28
3.1 Adquisición velocidad.....	29
3.1.1 Esquema	30
3.2 Adquisición posición.....	30
3.2.1 Esquema	31
3.3 Código.	32

Presupuesto.....	34
Gantt	35
Bibliografía de Consulta.....	37

INTRODUCCIÓN

- Energías renovables (alternativas)

Casi toda la energía que disponemos proviene directa o indirectamente del Sol. La energía solar está constituida por la porción de irradiación solar que es interceptada por la Tierra y constituye, como recurso energético terrestre, la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance.

Las energías renovables son inagotables, limpias y se pueden utilizar de forma autogestionada (aprovechamiento en el mismo lugar en que se producen). Además tienen la ventaja adicional de complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas. Una de estas fuentes de energía renovable es la energía eólica.

- Energía eólica.

La energía eólica es un tipo de energía renovable cuya fuente es la fuerza del viento. La forma típica de aprovechar esta energía es a través de la utilización de aerogeneradores o turbinas de viento. De estos aerogeneradores se distinguen de dos tipos, eje horizontal y eje vertical (véase capítulo 1). El caso de nuestro estudio son los de eje horizontal.

ESTUDIO DEL PROBLEMA

Una vez introducido el aspecto de energías renovables, y más detalladamente la energía eólica, se hará un estudio de cómo adquirir y posteriormente controlar las diferentes variables de esta energía. Se debe tener en cuenta que el diseño funcional e implementarlo en un aerogenerador real, es por medios, imposible ya que no se dispone del aerogenerador.

La opción que se muestra es obtener las variables que si nos son posibles, tanto en diseño como en implementación, y hacer un estudio modelizado para el posicionamiento de los elementos que no se disponen físicamente.

OBJETIVOS PRINCIPALES

El objetivo principal de este Proyecto Final de Carrera, es el control de un aerogenerador de eje horizontal orientado de cara al viento y a velocidad constante, que permita variar su posición según la adquisición de las variables medidas, (tal y como se ha indicado en el estudio del problema).



Figura 1. Aerogenerador eje horizontal.

CAPÍTULO 1:

MARCO TEÓRICO

- En este capítulo, se entra en detalle sobre conocimientos previos en el ámbito teórico que se deben obtener para poder entender el diseño propuesto.

Se diferencian dos subapartados, la **energía eólica**, donde se detallará la procedencia, tipos de medida, variaciones..., y los **aerogeneradores**, en el que se explicarán los diferentes tipos y funcionamiento de estos.

1.1 Energía eólica.

La energía eólica es la producida por el viento. Es un tipo de energía considerada renovable, cuya fuente es la fuerza del viento. Uno de sus primeros usos fue para la navegación en vela, en la que la fuerza del viento es utilizada para impulsar un barco.

Una característica de esta energía renovable, es la utilización que se les puede ofrecer, ya que cuánto mayor es el número de molinos, mayor será la potencia que genera. Una limitación de esta característica es la disposición urbanística.

En la actualidad se utiliza, sobre todo, para mover aerogeneradores, que son molinos que a través de un generador producen energía eléctrica. Suelen agruparse en parques eólicos, concentraciones de aerogeneradores necesarias para que la producción de energía sea rentable.

El uso de las energías renovables en España, generan un 30% de la demanda total. De este 30% la energía eólica proporciona un 12%. La energía eólica ha llegado a proporcionar un 40% de la demanda total de electricidad, con un 74'5% de la potencia eólica en funcionamiento. Se han dado casos, en que se

ha desconectado hasta un 37% de los aerogeneradores ya que no se podía absorber toda la electricidad que proporcionan.

Al igual que hay picos de generación máxima, también los hay cuando no sopla el viento, en este caso en los parques eólicos se utilizan los acumuladores para producir electricidad.

1.1.1 Procedencia de la energía eólica. El viento.

La energía que produce el viento se asocia directamente con la energía cinética del viento. Esta creación o circulación del viento se debe a la diferencia de temperaturas existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. Las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado por las masas de aire circundante, más frío, y por tanto, tal y como se ha explicado antes, más denso.

Por lo tanto podemos concluir que el viento es la variante de estado del aire, se estudia el movimiento en el que se considera su velocidad y dirección de la componente horizontal.

Es importante al hacer un estudio de la zona en la que se obtiene la energía eólica, y tener en cuenta que tipos de vientos existen y los efectos que puede ocasionar.

1.2 Aerogeneradores

Un aerogenerador es un generador de electricidad activado por la acción del viento. Se basa en el principio de funcionamiento de los antiguos molinos de viento que se empleaban para la molienda.

En este caso, la energía eólica mueve la hélice y, a través de un sistema mecánico de engranajes, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Para aportar energía a la red eléctrica, los aerogeneradores deben estar dotados de un sofisticado sistema de sincronización para que la frecuencia de la corriente generada se mantenga perfectamente sincronizada con la de la red (En el caso de España 50 Hz).

1.2.1 Clasificación de los aerogeneradores

La primera y más clásica clasificación, se basa en la posición de su eje principal.

Existen dos tipos, los de eje horizontal y los de eje vertical.

Los aerogeneradores de **eje horizontal**, se les llama de esta forma ya que poseen los ejes principales situados paralelamente al suelo. Necesita un control de orientación al viento, por ejemplo un motor eléctrico para aerogeneradores de más de 50 kW. Los elementos de conexión, multiplicador y generador, se encuentran a la altura del rotor en la góndola situado en lo alto de la torre. La disposición de las palas, puede ser a barlovento o a sotavento. Otra posible clasificación de este tipo de aerogeneradores, es en función del número de palas.



Figura 2. Aerogenerador de dos palas.



Figura 3. Aerogenerador de tres palas.



Figura 4. Aerogenerador multipalas.

Los aerogeneradores de **eje vertical**, tiene los ejes principales perpendiculares al suelo. Una ventaja de este uso es que captan el viento en cualquier dirección, por lo tanto no necesita un control de orientación, otra ventaja es que el enlace con los multiplicadores y generadores se realiza en el suelo y por lo tanto tienen un coste menor y una mayor sencillez a la hora de su montaje.

La causa de no utilizar más estos tipos de aerogeneradores e que poseen una eficiencia notablemente menos que los aerogeneradores de eje horizontal.



Figura 5. Aerogenerador eje vertical.

1.2.2 Partes del aerogenerador

A continuación, se explicará de forma breve los elementos más importantes de los aerogeneradores, estos son: las palas, el buje, el equipo multiplicador de potencia, los ejes de alta y baja velocidad, el generador, el controlador de la torre.

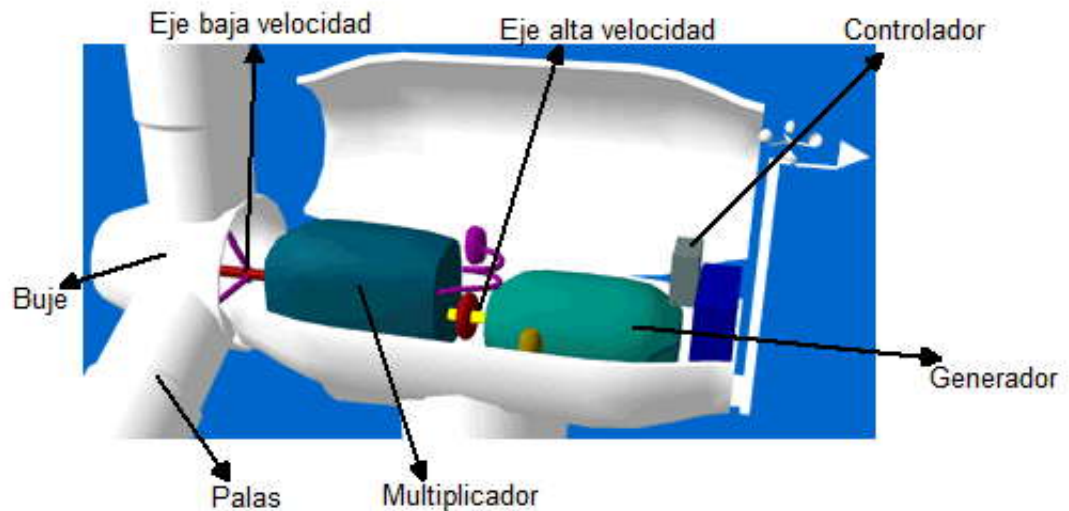


Figura 6. Detalle de las partes de un aerogenerador.

Fuente www.windpower.org

Las palas del rotor: capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje. Para hacernos una idea de las dimensiones de una pala, actualmente rondan alrededor de los 30m.

Buje: es el elemento que realiza la unión de todas las palas del aerogenerador. Se monta sobre el eje de baja velocidad, desde el que se transmite el par motriz a la transmisión de potencia del aerogenerador.

Equipo multiplicador de potencia: permite que el eje de alta velocidad, gire 50 veces más rápidamente que el eje de baja velocidad.

Ejes de alta y baja velocidad: el eje de baja velocidad del aerogenerador conecta el buje del rotor al multiplicador.

El eje de alta velocidad esta equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. Este freno se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante el proceso de mantenimiento de la turbina.

Generador: también conocido como generador asíncrono o de inducción. Está formado por una máquina encargada de transformar la energía mecánica de rotación en energía eléctrica. Se compone de un rotor, que es la parte móvil y encargada de generar un campo magnético variable al girar las palas, y un estator que se trata de la parte fija sobre la que se genera la corriente eléctrica inducida.

Controlador: el controlador electrónico tiene un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier anomalía, automáticamente se para el

aerogenerador y llama al ordenador del encargado (operario), de la turbina a través de un enlace telefónico o módem.

1.2.3 Funcionamiento de los aerogeneradores

La obtención de la potencia de un aerogenerador, se consigue convirtiendo la fuerza del viento en un par que actúa sobre las palas del rotor. La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido de las palas y de la velocidad del viento.

La energía cinética de un cuerpo en movimiento es proporcional a su masa. Por lo tanto la energía cinética del viento depende de la densidad del aire. A presión atmosférica normal y a 15°C la densidad del aire es 1,255 Kg/m³ aunque éste valor disminuye ligeramente con el aumento de la humedad.

En referencia al área de barrido de las palas, ésta determina cuanta energía del viento es capaz de capturar el aerogenerador. A mayor diámetro de palas, la superficie es mayor y por lo tanto la energía que absorbe el rotor es mayor.

La velocidad del viento es un parámetro muy importante para la cantidad de energía que un aerogenerador puede transformar en electricidad. A mayor velocidad de viento, la energía que capte el aerogenerador es mayor.

La energía cinética del viento es capturada por el aerogenerador gracias a las palas de rotor. Cuando el viento incide contra las palas, ésta giran en torno el eje del rotor y por lo tanto hacen girar el eje de baja velocidad al que está acoplado el buje. Éste gracias al multiplicador hace girar el eje de alta velocidad al que está acoplado el generador, que es el productor de energía eléctrica.

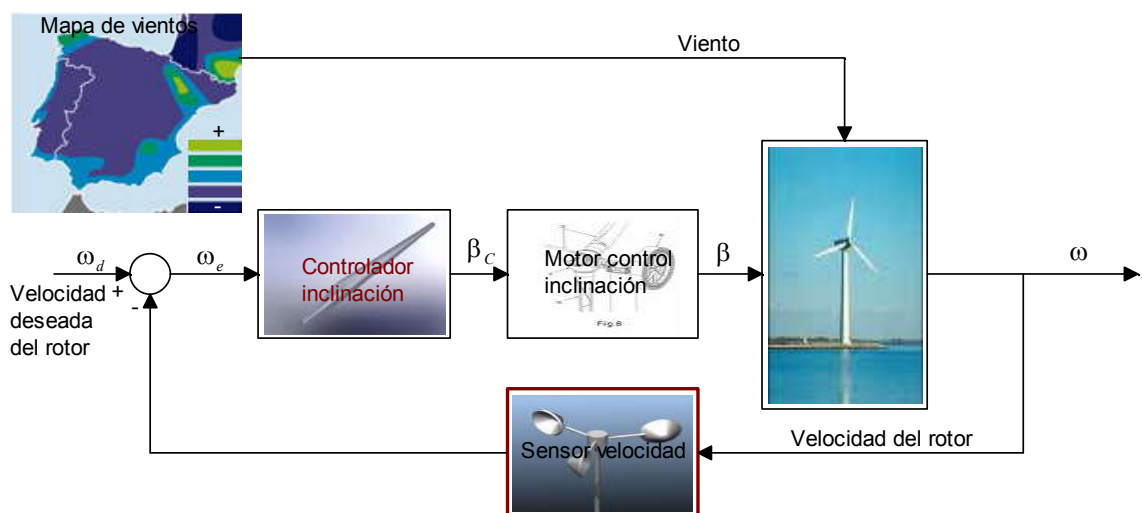


Figura 7. Esquema control velocidad aerogenerador.

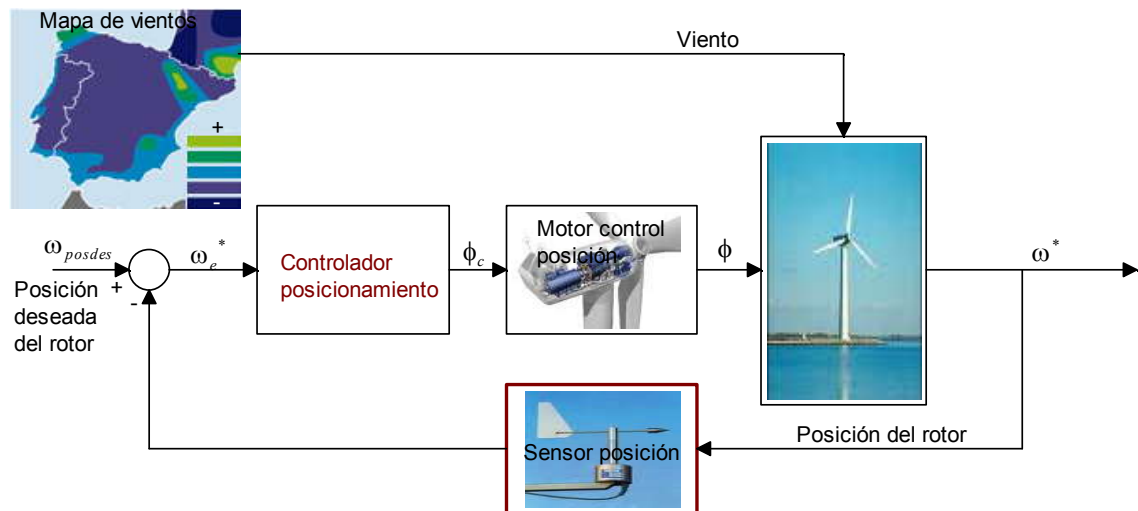


Figura 8. Esquema control posición aerogenerador.

1.2.4 Diseño de control

Si bien el apartado de adquisición era importante para poder analizarlo y procesar posteriormente la información recibida, en el diseño de control veremos el resultado final de todo el estudio, y si responde a las expectativas.

Este apartado responde a las diferentes alternativas, con lo que expondré las distintas posibilidades, y que con un estudio que se realizará más detalladamente en el PFC2 se escogerá una de estas opciones, o si consensuado con el tutor del proyecto, se cree necesario, buscar otra alternativa.

1.2.4.1 Regulación y control del número de revoluciones

Un dispositivo fundamental en un aerogenerador eólico es el que permite la regulación y control del número de revoluciones, que además sirve de protección de dicha máquina para velocidades superiores a las admisibles bajo el punto de vista estructural.

Cuando una máquina está sometida a una determinada velocidad del viento, comienza a girar; dicha velocidad es la velocidad de conexión, pero su giro es lento y la máquina no generará su máxima potencia. A medida que la velocidad del viento aumenta el rotor gira más deprisa y la potencia que produce también. A una determinada velocidad nominal, el rotor gira a las revoluciones precisas para que la turbina proporcione su potencia nominal y a partir de este momento, aunque aumente la velocidad del viento, no interesa que la velocidad de giro aumente, por lo que hay que actuar sobre ella regulando su velocidad. Si la velocidad del viento continuase aumentando, el rotor tiene un peligro desde el punto de vista estructural y disminuir las vibraciones, por eso el motor debe frenar.

A la velocidad que el rotor inicia la parada es la velocidad de desconexión y los procedimientos utilizados para que dicha desconexión se produzca los llamaremos protección.

- I. Regulación por frenos aerodinámicos** que se activan por la acción de la fuerza centrífuga y que actúan cuando el giro del rotor no es el adecuado por sobrepasar un cierto valor.

La **orientación** por medio de **palas** orientables es la más utilizada. Su funcionamiento consiste en actuar sobre el ángulo de calaje β de cada pala, ya que la fuerza aerodinámica que actúa sobre ella es función del ángulo θ , y que a la vez es función del ángulo de ataque ω y del calaje β , ($\theta = \beta + \omega$). De esta forma se consigue variar la fuerza aerodinámica que actúa sobre la pala sin más que hacer variar el ángulo de calaje, que se controla por procedimientos mecánicos relacionados con la velocidad de ataque del viento.

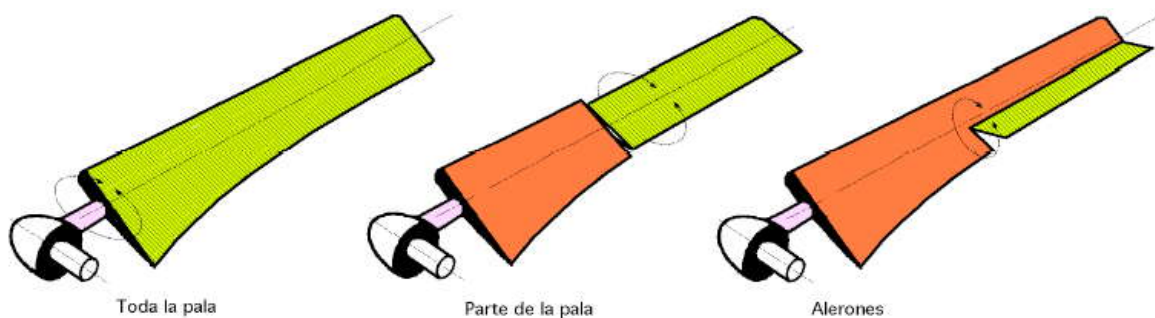


Figura 9. Sistema regulación de las palas.

- II. Control electrónico de la potencia**, mediante este control se puede variar la velocidad del rotor, controladas por un microprocesador y accionadas por interruptores estáticos, de esta forma se consigue el deslizamiento del generador y con ello la velocidad del rotor.

1.2.4.2 Mecanismos de orientación

Uno de los principales problemas que plantean los aerogeneradores de eje horizontal es la necesidad de ser orientados, de forma que el viento incida perpendicularmente al disco de barrido por el rotor, con el fin de obtener la máxima potencia a base de hacer incidir la mayor cantidad posible de masa de aire en movimiento y así obtener la mayor cantidad posible de energía cinética.

- I. Servomotor o motor paso a paso controlado electrónicamente**

Al recibir la dirección del viento mediante la adquisición de los datos obtenidos en la veleta, podemos indicar las coordenadas mediante un sistema electrónico, que deben ser las mismas que las obtenidas. De esta forma tendremos un control a tiempo real de la dirección del viento. Es recomendable no cambiar la posición del aerogenerador para pequeñas variaciones de la dirección del viento, ya que nos evitamos pérdidas energéticas en el posicionamiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estas variables serán la velocidad y posición del viento, a partir de estos valores se debe hacer un control el cual permita posicionar el aerogenerador y las palas que lo componen.

Por lo tanto la estructura del proyecto esta formada por un estudio teórico, y un desarrollo de este estudio. Se detallaran varias alternativas que conllevarán a un estudio detallado de todas ellas. Una vez estudiadas se escogerá la que mejor se adapte a nuestras especificaciones, por lo que podemos indicar x principales:

- Adquisición de variables. Velocidad y dirección viento.
- Conocer la posición en la que se encuentra el aerogenerador y palas.
- Diseño de un modelo de control de posición, para aerogenerador y palas.
- Envío de datos al PC, para ser analizados, y procesarlos.

CAPÍTULO 2: ESTUDIO ALTERNATIVAS

- En el capítulo que se presenta a continuación, se detallarán las posibles soluciones a los objetivos propuestos. En la primera parte del capítulo se detallarán todas las posibles alternativas para satisfacer los objetivos.

El último apartado se presentará la elección de cada una de las alternativas.

2.1 Sistema de adquisición.

En este apartado se detallarán las posibles alternativas para adquirir la velocidad y la dirección del viento. Estas dos variables son de fuerte interés ya que marcará la trayectoria de la siguiente etapa.

2.1.1 Variación del viento.

Como es conocido, y se ha descrito en el capítulo anterior, el viento puede cambiar de forma inexplicable su dirección y viento, por lo tanto es importante poder describir esta variación ya sea de la velocidad o de la posición del viento. Esta adquisición de datos es interesante, y se hará un estudio más detallado en los siguientes puntos.

Una buena disposición y adquisición de datos puede provocar una disminución de costes.

2.1.2 Velocidad del viento

Se considera el viento como una cantidad vectorial y por lo tanto una variable. La magnitud del vector la denominaremos velocidad y la orientación del vector será la dirección. Estas dos variables se consideran independientes.

Los principales instrumentos para la obtención de estas variables son, para la velocidad el anemómetro rotativo de cubeta y anemómetro de hélice.

Ambos tipos de anemómetros constan de dos subconjuntos; el sensor y el transductor. El sensor es el dispositivo que rota por acción de la fuerza del viento. El transductor es el que genera la señal que se grabará.

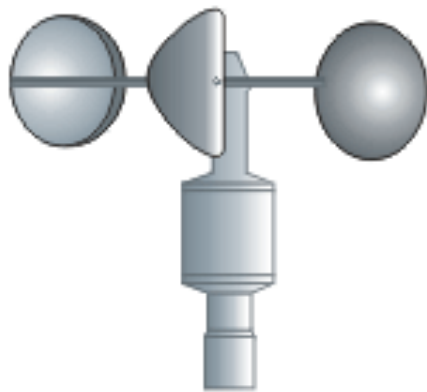


Figura 10a.
Anemómetro rotativo de cubeta.

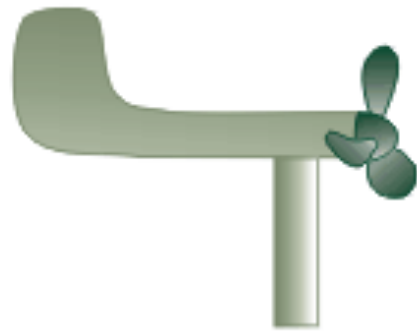


Figura 10b.
Anemómetro de hélices.

Para la dirección del viento, se utiliza una clásica veleta industrial, de paletas separadas o paletas de viento típicas.

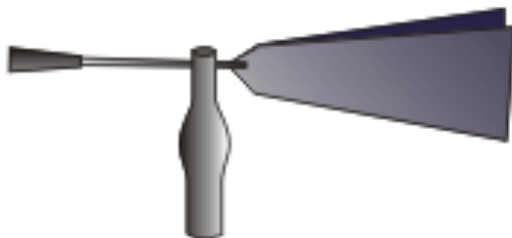


Figura 11a. *Veleta paletas separadas.*



Figura 11b. *Veleta paletas típicas.*

2.1.3 Adquisición velocidad del viento

Conocer la velocidad del viento, es un paso vital para el control del aerogenerador. La medición de esta variable se realiza de forma industrial con un anemómetro. El proyecto que se presenta, se intenta diseñar el software para la adquisición de esta variable.

La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende como hemos visto, de la densidad del aire, " d ", del área de barrido del rotor, " A ", y de la velocidad del viento, " v ".

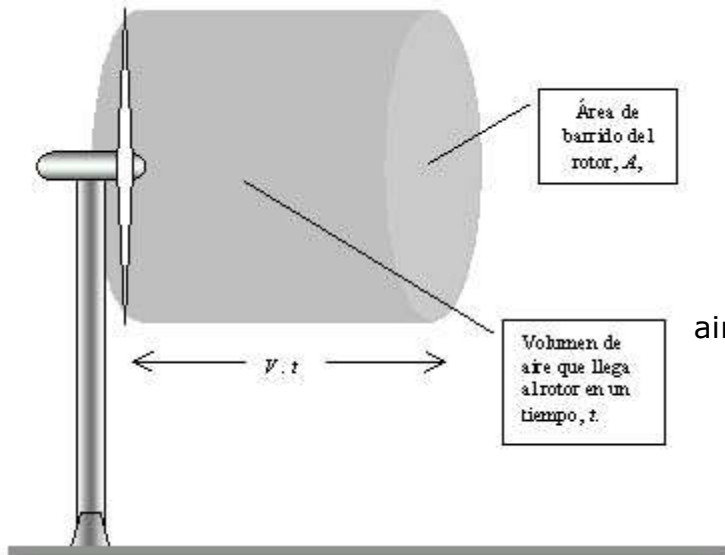
La energía cinética de una masa de aire, " m ", moviéndose a una velocidad, " v ", responde a la expresión:

$$E = 1/2 mv^2$$

Si el volumen de aire que se mueve es " V " y tiene una densidad " d " su masa será; $m = V \cdot d$, con lo que su energía cinética será:

$$E_c = 1/2 dVv^2$$

La cantidad de aire que llegará al rotor de un aerogenerador en un tiempo " t " dependerá de: el área de barrido del rotor " A " y de la velocidad del viento.



El volumen del aire que llega al rotor será:

$$V = Avt$$

La energía cinética que aporta el aire al rotor en un tiempo " t " será:

$$E_c = 1/2 dAvtv^2$$

$$E_c = 1/2 dAtv^3$$

Y la potencia aportada al rotor será:

$$E_c = 1/2 dAv^3$$

Figura 12. Área y volumen de aire.

- Las mediciones de las velocidades del viento se realizan normalmente usando un anemómetro de cubetas. Este, tiene un eje vertical y tres cubetas (cazoletas o copelas) que se unen en el brazo de manera perpendicular, deben estar posicionadas a un ángulo equidistante de 120° en relación al eje, y un rozamiento muy pequeño para evitar pérdidas. Esto provocara un giro sobre el eje y por tanto un número de revoluciones por segundo que se podrán registrar de forma electrónica. A continuación se presentan dos posibles alternativas para la adquisición de la velocidad:

I. **Acoplando un motor** al eje del anemómetro, este motor posee un generador interno de tensión. Esta tensión aumentará a más velocidad del viento. Para linealizar la salida, con la ayuda de un tacómetro digital se medirá las rpm a las que gira el rotor del anemómetro, y con un voltímetro la tensión que genera el motor acoplador, de esta forma se tomarán varios valores y hacer una tabla que promedie la relación revoluciones por minuto, con el voltaje generado.

Una vez realizada esta relación, se obtendrá una recta en la que podremos conocer su pendiente y por tanto hallar la ecuación característica de esta recta. Por lo tanto de acuerdo al voltaje generado por la incidencia del viento sobre las copelas y usando estas ecuaciones podremos conocer la velocidad del viento.

II. **Acoplando un encoder incremental** al eje del anemómetro. El principio de esta alternativa, es conocer el número de vueltas, contarlas y analizarlas en un determinado tiempo.

El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos pueden ser utilizados para controlar desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal. Los encoders rotativos, también se les conoce encoders de ejes o de posición.

Estos dan información del estado del eje cuando se encuentra en movimiento. Se obtiene una salida serie con relación al eje de rotación mientras gira. Se necesita un contador para conocer la posición del eje. Se diferencian dos tipos los unidireccionales, utilizados para obtener valores absolutos, y los bidireccionales, estos presentan dos salidas y pueden determinar el sentido de giro.

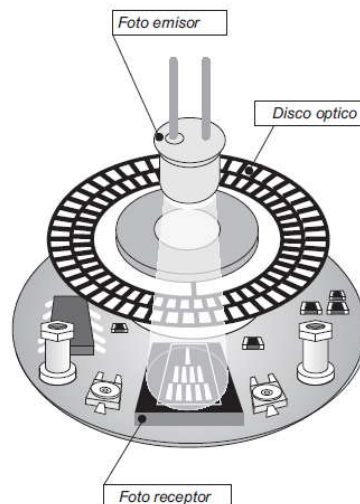


Figura 13. Encoder incremental.

La obtención de los impulsos se puede hacer mediante varias opciones:

a. Optoacopladores

Es un dispositivo de emisión y recepción de luz que funciona como un interruptor excitado mediante la luz. Dicha luz es emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente un fototransistor. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica.

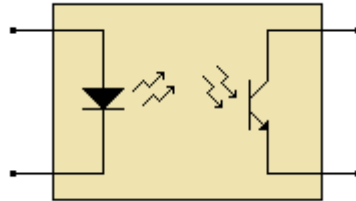


Figura 14. Esquemático optoacoplador.

b. Sensor Hall

Un sensor de efecto Hall es un transductor que varía su voltaje de salida en función a los cambios en el campo magnético. Los sensores Hall se utilizan para la conmutación de proximidad, de posicionamiento, detección de velocidad, y aplicaciones de sensado de corriente.

El sensor que gira funciona como un transductor analógico retornando, directamente, una tensión al pasar cerca del imán.

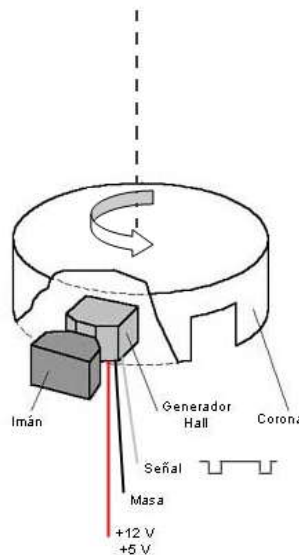


Figura 15. Principio funcionamiento sensor Hall.

III. **Encoders absoluto**, nos ofrecen salida en cualquier momento, muestran una salida paralela indicando la posición angular del eje. Según la salida que presenta, podemos diferenciar los de código BCD, y los de código GRAY.

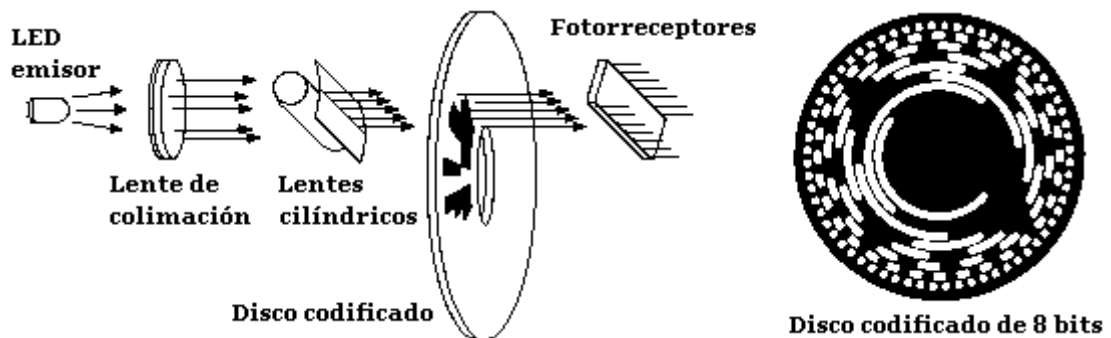


Figura 16. Encoder absoluto.

2.1.4 Dirección del viento

Al igual que conocer la velocidad es importante para este proyecto, lo es conocer la dirección en la que va el viento.

Se le llama dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla. Para distinguir uno de otro se les aplica nombres a los principales rumbos de la brújula, según la conocida rosa de los vientos. Los cuatro puntos principales corresponden a los cardinales, Norte, Sur, Este y Oeste. Se consideran hasta 32 entre estos y los intermedios, aunque los primordiales y más usados son los que se presentan en la siguiente figura:

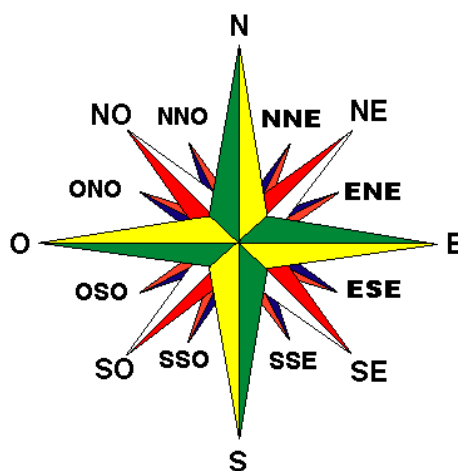


Figura 17. Rosa de los principales vientos.

De igual forma que la adquisición de la variable del viento, existen varios métodos para obtener la posición del viento, algunos de ellos coinciden con los de adquisición de la velocidad, como son los dos tipos de encoders (estos se dan por explicados y se detallarán los que aún no se han mencionado).

I. Acoplado un **potenciómetro**.

Los potenciómetros son unos dispositivos capaces de medir la posición angular y pequeños desplazamientos de posición lineal. Su principio básico de funcionamiento se basa en obtener una relación entre la diferencia de potencial que se crea entre sus bornes de alimentación y la posición angular en la que se encuentra la veleta.

II. **Giroscopios**.

Los giroscopios son dispositivos mecánicos rígidos en rotación alrededor de un eje principal de inercia.



Figura 18. Giroscopio.

2.1.5 Implementación del controlador

Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos.

Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

Los microcontroladores se programan en Assembler y cada microcontrolador varía su conjunto de instrucciones de acuerdo a su fabricante y modelo. De acuerdo al número de instrucciones que el microcontrolador maneja se le denomina de arquitectura RISC (reducido) o CISC (complejo).

Los microcontroladores poseen principalmente una ALU (Unidad Lógica Aritmética), memoria del programa, memoria de registros, y pines I/O (entrada y/O salida). La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten (ADD, OR, AND), mientras que los pines son los que se encargan de comunicar al microcontrolador con el medio externo; la función de los pines puede ser de transmisión de datos, alimentación de corriente para el funcionamiento de este o pines de control específico.

En este proyecto se utiliza el PIC 16F877. Este microcontrolador es fabricado por Microchip familia a la cual se le denomina PIC. El modelo 16F877 posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en la aplicación.

- Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable: la memoria en este PIC es la que se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).
- Set de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

Características:

Memoria de Programa tipo Flash 8Kx14

Memoria Datos 368 bytes

EEPROM 256 bytes

33 pines de Entrada/Salida

Encapsulado: 40 pines DIP, 44 pines PLCC y 44 pines TQFP

Soporta Xtal 20MHz

Voltaje de Operación: 2.0 hasta 5.5VDC

Periféricos:

1 Conversor A/D de 10-bits (8 canales)

2 Módulos CCP (Captura, Comparador, PWM)

1 Modulo I²C

1 USART (Puerto Serie)

2 Timers de 8 bits

1 Timer 16 bits

Descripción de los puertos:

Puerto A:

- Puerto de e/s de 6 pines
- RA0 y RA0 y AN0
- RA1 y RA1 y AN1
- RA2 y RA2, AN2 y Vref-
- RA3 y RA3, AN3 y Vref+
- RA4 y RA4 (Salida en colector abierto) y T0CKI(Entrada de reloj del modulo Timer0)
- RA5 y RA5, AN4 y SS (Selección esclavo para el puerto serie síncrono)

Puerto B:

- Puerto e/s 8 pines
- Resistencias pull-up programables
- RB0 e Interrupción externa
- RB4-7 Interrupción por cambio de flanco
- RB5-RB7 y RB3

Puerto C:

- Puerto e/s de 8 pines
- RC0 y RC0, T1OSO (Timer1 salida oscilador) y T1CKI (Entrada de reloj del modulo Timer1).
- RC1-RC2 y PWM/COMP/CAPT

- RC1 y T1OSI (entrada osc timer1)
- RC3-4 y IIC
- RC3-5 y SPI
- RC6-7 y USART

Puerto D:

- Puerto e/s de 8 pines
- Bus de datos en PPS (Puerto paralelo esclavo)
- Puerto E:
- Puerto de e/s de 3 pines
- RE0 y RE0 y AN5 y Read de PPS
- RE1 y RE1 y AN6 y Write de PPS
- RE2 y RE2 y AN7 y CS de PPS

Dispositivos periféricos:

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescaler que puede incrementarse en modo sleep de forma externa por un cristal/clock.
- Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler y postescaler.
- Dos módulos de captura, comparación, PWM (Modulación de Anchura de Impulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I2C (Master/Slave).
- USART/SCI (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bit.
- Puerta Paralela Esclava (PSP) solo en encapsulados con 40 pines

2.1.6 Alternativa escogida

2.1.6.1 Adquisición de la velocidad

Anemómetro rotativo de cubeta.

Para la adquisición de la velocidad, no he utilizado un anemómetro industrial y tampoco un encoder industrial, con lo que se hace una simulación imprimiendo la rueda con las divisiones impresas sobre ella.

La idea es acoplar este encoder al eje de la cubeta, y mediante un optoacoplador enviar los impulsos al microcontrolador.

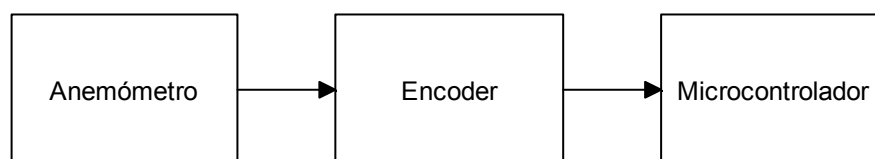


Figura 19. Esquema adquisición velocidad.

I. Encoder

El encoder para una primera simulación y ensayo en laboratorio, se basa en una rueda con una determinadas divisiones. A más divisiones mayor sera la precisión de la variable a medir.

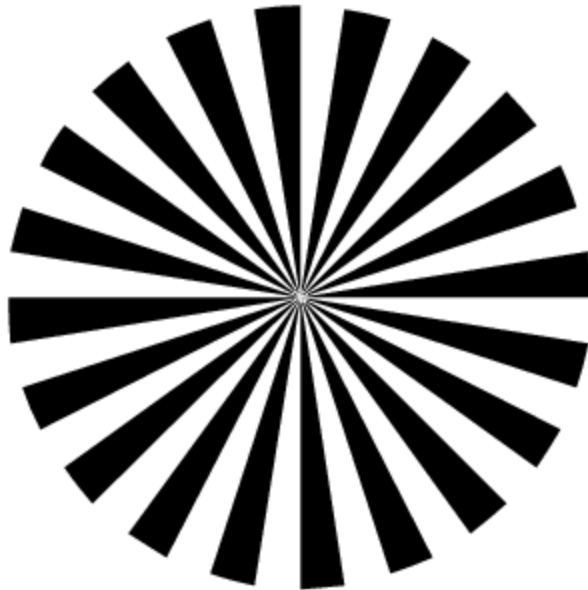


Figura 20. Encoder de pruebas, 40 divisiones.

II. Optoacoplador. H21A1

El optoacoplador a utilizar es un fototransistor o interruptor óptico.

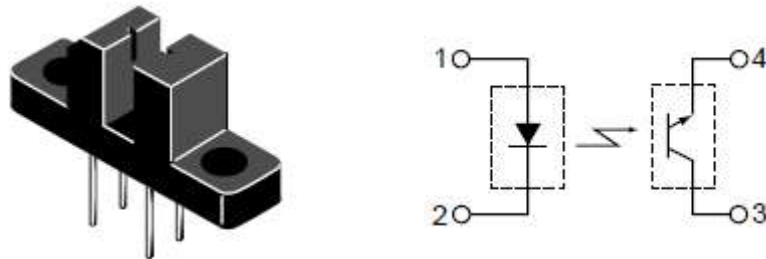


Figura 21. Optoacoplador H21A1. Esquemático.

Este interruptor debe estar situado, de tal forma que la rueda con las divisiones pase entre medio de sus dos "paredes".



Figura 22. Disposición del optoacoplador y el encoder.

Con esta disposición, el led emisor envía un haz de luz que incide sobre el fototransistor, si entre estos dos componentes aparece un elemento opaco, provocará un cero a la salida entre terminales del optoacoplador. Esta salida es conectada a un inversor TTL, el cual nos proporcionara los impulsos para la entrada del contador del microcontrolador.

III. Inversor

La función del inversor es enviar los impulsos al microcontrolador. Se utiliza este integrado, debido a que sin su utilización los voltajes de salida del optoacoplador no se adaptan a los "1" y "0" Lógicos del microcontrolador. De esta forma nos aseguramos que siempre aya un +5V para un "1", lógico y 0V para el "0".

2.1.6.2 Adquisición posición del viento

Al igual que el caso anterior, de las distintas alternativas propuestas se ha escogido una para su primera implementación en pruebas. En este caso se escoge una veleta con paletas típicas, a la que se le acopla a su eje un potenciómetro.

Al igual que en el caso anterior esta no será la alternativa propuesta final, pero si una primera aproximación.

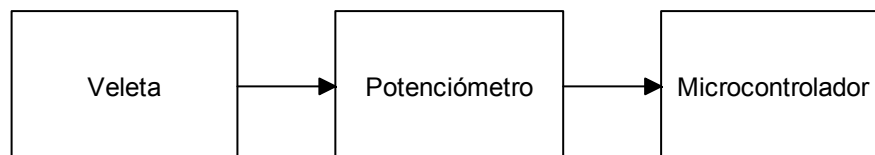


Figura 23. Esquema adquisición posición.

I. Potenciómetro lineal rotativo.

Una primera implementación se ha realizado con un potenciómetro metálico de eje vertical. Este potenciómetro tiene un inconveniente ya que solo permite 270° de vuelta, a la hora de su implementación debería pensar en la adquisición de uno que permita más de una vuelta, ya que durante un periodo de tiempo puede estar dando vueltas la veleta en una misma dirección.

A efectos prácticos he ilustrativos, nos sirve para obtener una primera adquisición de datos.



Figura 24. Potenciómetro lineal rotativo.

Este potenciómetro crea una diferencia de potencial entre sus bornes, a los que se le puede referenciar a la dirección del viento.

2.1.6.3 Microcontrolador utilizado. **16F877A.**

Para el control y análisis de las distintas variables a medir se cree conveniente utilizar un pic16F877A.

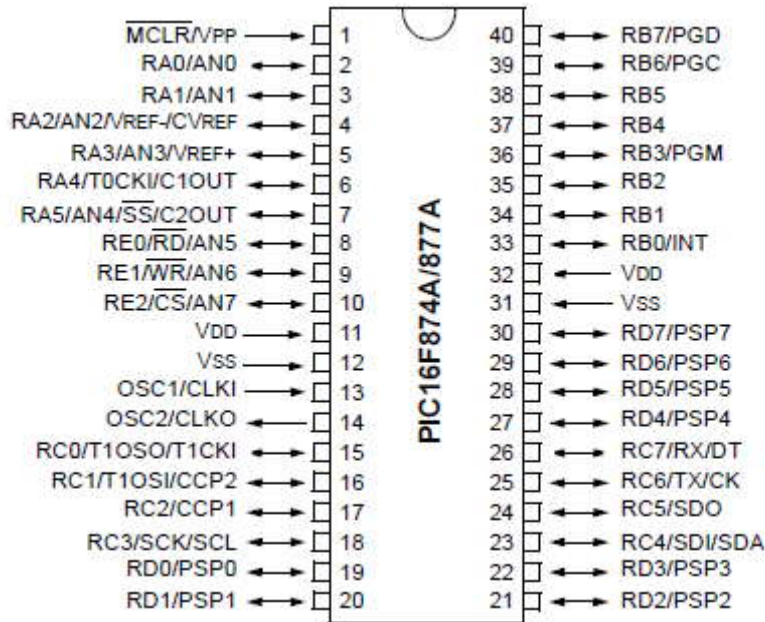


Figura 25. Diagrama de pines del PIC.

Los principales argumentos para utilizar un PIC se basan en cuatro pilares:

I. Estructura RISC.

Esta estructura permite una mayor velocidad de proceso a igual velocidad de oscilador. Por ejemplo un Motorola o un intel utilizan 12 ciclos de reloj para cada instrucción mientras que un PIC utiliza 4.

II. Facilidad de migración entre dispositivos de la familia Microchip.

Esto permite una fácil reubicación del software entre diferentes modelos de PIC, por lo que trasladar el mismo programa a un dispositivo más potente, en el caso de que se de una necesidad.

III. Cuestión económica.

Actualmente el precio de los PIC es muy competitivo frente al de otro tipo de microprocesadores, y la amplísima gama de productos permitirá ajustar perfectamente las prestaciones del microcontrolador escogido a las necesidades del sistema.

IV. Herramientas de desarrollo.

Microchip dispone de un simulador (MPLAB) muy potente que se adquiere desde su web, o bien comprando el programador en el que se incluye el simulador.

Para la compilación utilizo el famoso software, también de libre distribución PIC C COMPILER.

2.1.6.4 Visualización.

Para poder mostrar las variables adquiridas, se dispone de una visualización mediante LCD, es útil el uso de este componente ya que permite muchas alternativas a la hora de mostrar sus caracteres. Toda su información se hace mediante programación.



Figura 26. LCD 16x2.

CAPÍTULO 3: ESTADO DE DESARROLLO

- En el siguiente capítulo, se presentan el estado actual del proyecyo, mediante fotos, esquemas y código de programa.

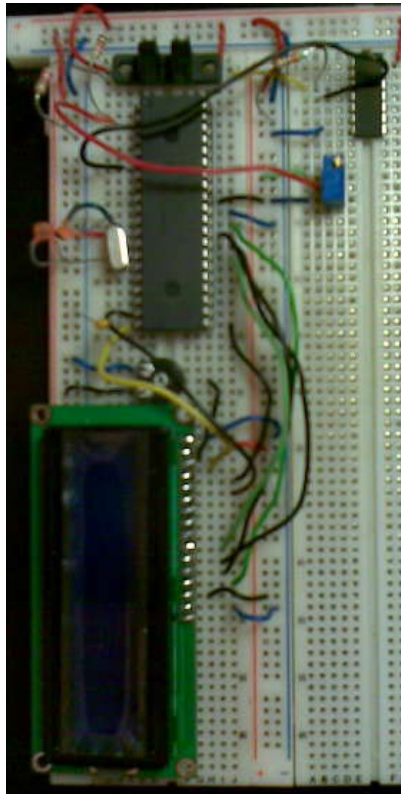


Figura 27. Montaje actual.

3.1 Adquisición velocidad.

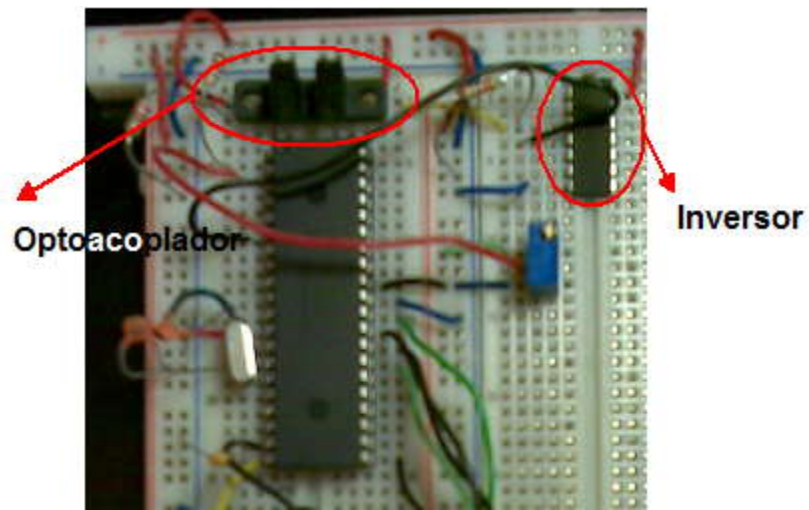


Figura 28. Ilustración con elementos a tener en cuenta.



Figura 29. Encoder 40 divisiones.

3.1.1 Esquema

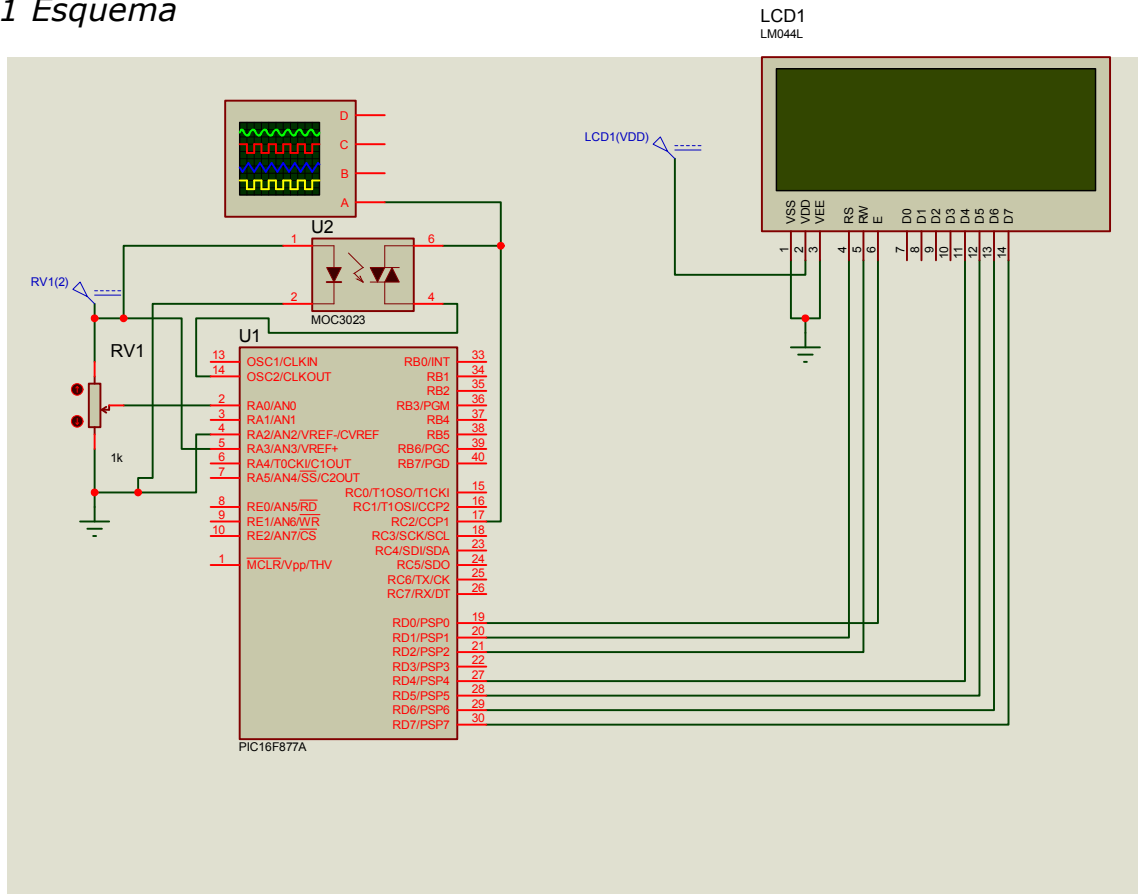


Figura 30. Esquemático velocidad.

3.2 Adquisición posición.

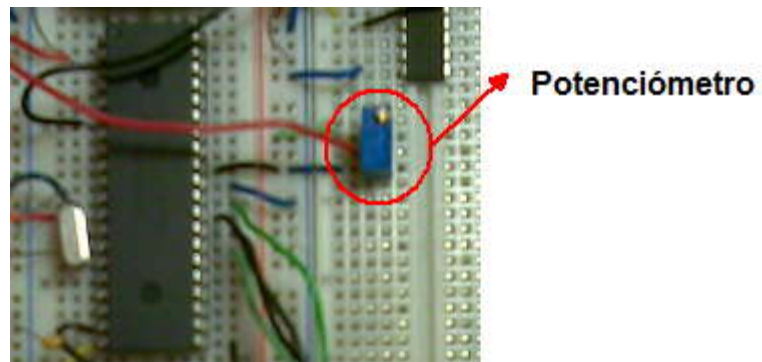


Figura 31. Ilustración que intervienen en esta adquisición.

3.2.1 Esquema

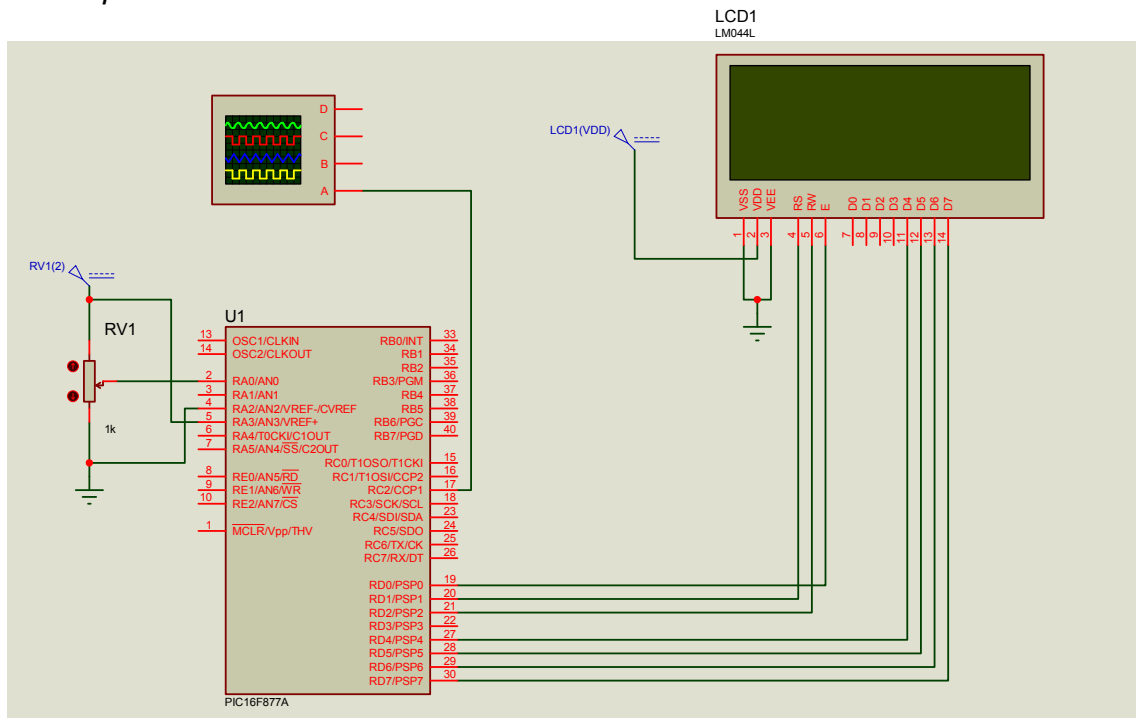


Figura 32. Esquemático posición.

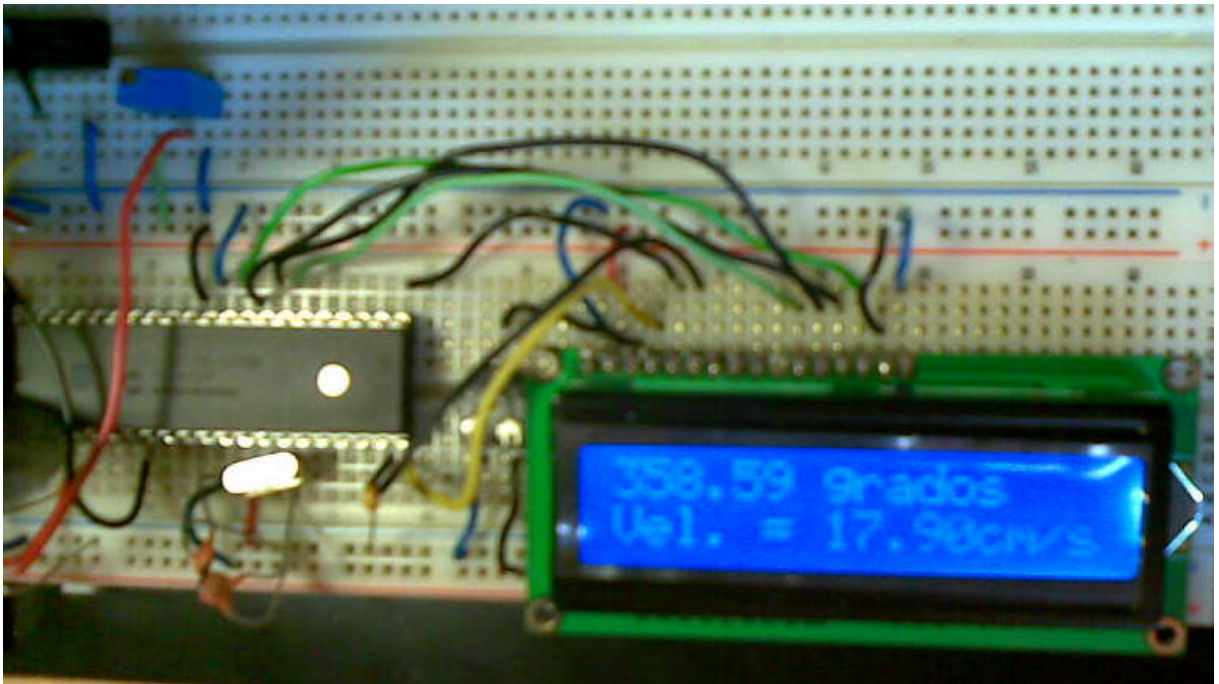


Figura 33. Montaje en funcionamiento.

3.3 Código.

```
#include <16f877A.h>
#device adc= 8
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=4000000)
#use STANDARD_IO(a)
#include <LCD.C>
#BYTE TRISB = 0x86
int16 pos, counter=0;
float aux, posi=0, count;
//*****INT TIMER1*****
#int_TIMER1
void TIMER1_fsr(void){
counter=get_timer0(); //lectura contador TMR0
//counter=div(counter,168);
count=counter*2*3.141592654*38/40;
//2*3.141592654*0.038/40= 0.005969026042 r=38cm P=2*pi*r
//V=distan/1s
set_timer0(0); //reinicia cuenta
set_timer1(-59464); //recarga a 0.5 s 3036
}
//*****
void main()
{
delay_ms(1000);
lcd_init();
TRISB = 0xFE; // 0 = salidas y 1 = entradas
setup_timer_0(rtcc_ext_l_to_h|RTCC_DIV_2); //configuración TMR0
setup_timer_1(T1_internal|T1_DIV_BY_8); //configuración TMR1
set_timer0(0); //borrado contador
set_timer1(-59464); //carga a 1 s
enable_interrupts(int_timer1);
enable_interrupts(global); //habilitacion interrupciones
setup_adc_ports(AN0);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
```



```
WHILE (1){  
    delay_ms(100);  
    set_adc_channel(0);  
    pos = read_adc();  
    aux = pos;  
    posi=aux*360/256;  
    printf(lcd_putc, " \f%f grados ", posi);  
    printf(lcd_putc, "\nVel. = %fcm/s", count);  
}  
  
}
```

PRESUPUESTO

- Presupuesto de diseño

Proceso	Horas	€/Hora	€/Proceso
Estudio inicial	10	25	250
Recopilación información	14	25	350
Estudio alternativas	34	25	850
Selección alternativa	9	25	225
Diseño e implementación	34	25	850
Redactado memoria	19	25	475
SUBTOTAL	120	25	3000
		16% I.V.A	480
		TOTAL	3480

Tabla 1. Presupuesto diseño.

- Presupuesto materiales

Materiales	Cantidad	€/Unidad	€/Total
Programador PICkit 2	1	35	35
Microcontrolador 16F877A	1	7	7
LCD 16x2	1	8	8
XTAL	1	0.20	0.20
Condensadores	3	0.10	0.30
Resistencia	3	0.10	0.30
Potenciómetro	2	1	2
Optoacoplador H21A1	1	2	2
Inversor	1	0.40	0.40
		TOTAL	55.2

Tabla 2. Presupuesto materiales.

Gantt

Se indican por semanas. Los columnas en azul pertenecen a días festivos. Se realizan un total de 72 días, repartidas en 120h.

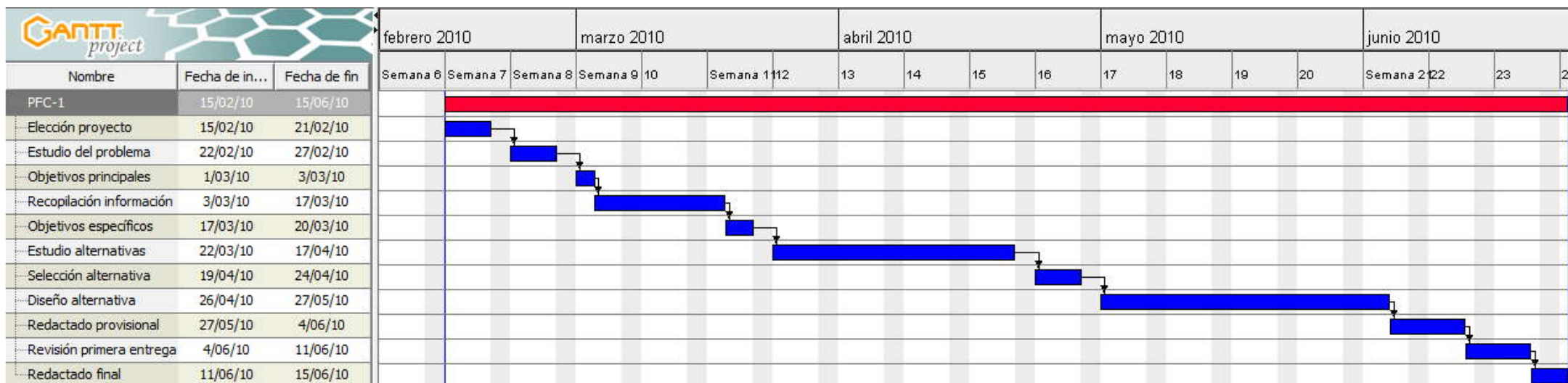


Figura 33. GANTT PFC-1.

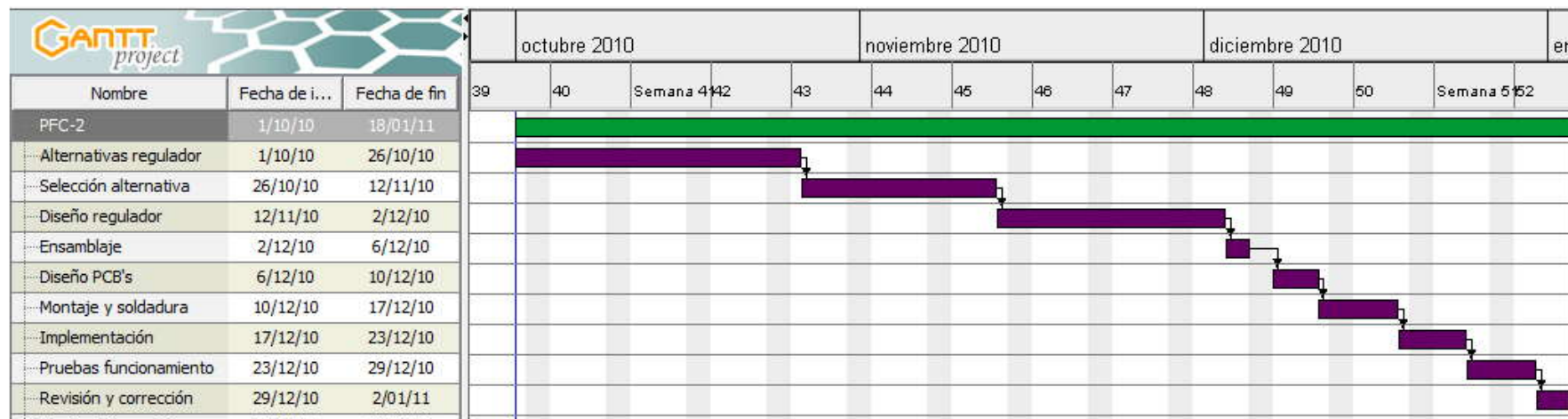


Figura 33. GANTT PFC-2.

Bibliografía de Consulta

- Libros
 - J.L. Rodríguez e.a., Sistemas eólicos de producción de energía eléctrica, Madrid: Editorial Rueda, 2003, ISBN 84-7207-139-1.
 - IEC 61400-1 Wind turbines – Part 1: Design requirements, ed.3 Aug-2005
 - M.O.L. Hansen; (2000). Aerodynamics of Wind Turbines. James & James (Science Publishers) London
- Internet
 - <http://www.infoeolica.com/pequenos.html>
 - <http://www.bornay.com/>
 - <http://www.gamesacorp.com/es/productos/aerogeneradores/catalogo-de-aerogeneradores>
 - http://www.triz.net/downloads/Orientacion_Martija.pdf
 - <http://www.talentfactory.dk/es/tour/wtrb/powerreg.htm>
 -