UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

INSTRUMENTACIÓN DE VELOCIDAD Y POTENCIA DE UNA TURBINA SKYSTREAM

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

PRESENTA:

ARACELI VILLASEÑOR BUENO

ASESOR:

DOCTOR EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

GILBERTO GONZÁLEZ ÁVALOS

MORELIA, MICHOACÁN NOVIEMBRE DEL 2018

Agradecimientos

"Por lo que no dejo de dar gracias a Dios y de recordarlos en mis oraciones."

Efesios 1:16-17

Agradezco principalmente a Dios, por la vida, por la fortaleza que me dio para terminar esta etapa de mi vida, ya que sin su gracia y bendición no sería posible llegar a este momento.

Agradezco a mi mamá Salud Bueno, ya que ella es la razón por la cual soy la mujer que soy hasta ahora, gracias mamá por ayudarme a cumplir siempre mis sueños, te amo demasiado, este triunfo es también tuyo.

Agradezco a mi hermana Kahory Villaseñor por el apoyo, por el amor y la comprensión.

Agradezco a mi novio Cristian por el apoyo, la comprensión, el amor, pero sobre todo el impulso y motivación para terminar este proyecto. A todos mis amigos, que fueron muchos, gracias por su apoyo incondicional todos los días, algunos desde el comienzo de la universidad y otros tantos que encontré en el camino, gracias infinitas a todos.

Agradezco a mi Asesor el Dr. Gilberto González Ávalos por el apoyo, la paciencia, el conocimiento ofrecido y a todos mis profesores que me regalaron su sabiduría durante toda la carrera.

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico completamente a mi mamá Salud Bueno, ya que es la causa de que haya consumado mis estudios universitarios y siempre me apoyo en cada una de las necesidades, tropiezos y sueños. Esto es por ti mamá.

Índice general

Agradecimientos I
Dedicatoria II
Índice general III
Índice de figuras V
Índice de tablas VIII
Resumen IX
Palabras clave X
Abstract XI
Key words XII
Glosario de Términos XIII
Capítulo 1 Introducción 1
1.1 Las máquinas eólicas. 1
1.2 Objetivo 3
1.3 Justificación 4
1.4 Metodología 4
1.5 Contenido de la Tesis 5
Capítulo 2 Antecedentes de Fuentes Renovables 6
2.1 Introducción 6
2.2 Biomasa 7
2.3 Energía Solar térmica 9
2.4 Energía Solar fotovoltaica 10
2.5 Energía Geotérmica 11
2.6 Energía Hidráulica 13
2.7 Energía Marina o Energía Oceánica 14
2.8 Energía Eólica 16
Capítulo 3 La Turbina Skystream 19
3.1 Introducción a la energía eólica 19

3.2 Antecedentes de las Turbinas Eólicas 20
3.3 Las Turbinas Eólicas modernas 24
3.4 La Turbina Skystream 28
Capítulo 4 Diseño e Implementación de Medición de Velocidad y Potencia 34
4.1 Conceptos básicos 34
4.1.1 Instrumentación electrónica 34
4.1.2 Velocidad 36
4.1.3 Potencia 37
4.1.4 Hardware 37
4.1.5 Software 38
4.1.6 Sensor 38
4.1.7 ARDUINO 38
4.2 Diseño del circuito de instrumentación. 39
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones 63
5.1 Conclusiones. 63
5.2 Recomendaciones. 64
Bibliografía 65
Apéndice A 66
Software desarrollado 66

Índice de figuras

Figura 1.1 Máquina básica eólica……...……..……..2

Figura 2.1 Fuentes de biomasa…….……..…….8

Figura 2.2 Recipiente en forma parabólica……..……...9

Figura 2.3 Panel solar……11

Figura 2.4 Central Geotérmica……..12

Figura 2.5 Presa Hidráulica……...14

Figura 2.6 Turbinas marinas…….15

Figura 2.7 Molino de viento……..16

Figura 2.8 Turbina de viento…….17

Figura 3.1 Primera turbina eólica de la historia (1887)……20

Figura 3.2 Aerogeneradores de prueba (1897)……..21

Figura 3.3. Aerogenerador Smith Putman (1941)…….22

Figura 3.4 Aerogenerador StGW-34 (1957)…….22

Figura 3.5 Aerogenerador para CA (1957)……...23

Figura 3.6 Prototipo de Turbina Eólica SUMR……24

Figura 3.7 Elementos básicos de una turbina eólica ……25

Figura 3.8 Turbina Eólica Skystream 3.6…….29

Figura 3.9 Estadística del mes de diciembre……..…31

Figura 3.10 Estadística del mes de enero……..31

Figura 3.11 Estadística del mes de febrero……...32

Figura 3.12 Estadística del mes de marzo…….……32

Figura 3.13 Estadística del mes de abril, mayo y junio……....33

Figura 4.1 Esquema básico de un sistema de instrumentación…….....35

Figura 4.2 Diagrama de bloques del efecto Hall……...39

Figura 4.3 Sensor de efecto Hall CSLA1CF…….…40

Figura 4.4 Sensor de efecto Hall con salida lineal……41

Figura 4.5 Grafica de transferencia de un sensor Hall lineal……41

Figura 4.6 Dimensiones de Sensor CSLA1CF……..…43

Figura 4.7 Pruebas de corriente / Voltaje……..44

Figura 4.8 Pruebas del funcionamiento correcto del sensor CSLA1CF…….....….….45

Figura 4.9 Arduino Nano…….....46

Figura 4.10. Diseño esquemático del microcontrolador Arduino Nano……..…….47

Figura 4.11 Pantalla 16 caracteres x 2 líneas COB LCD……...……...48

Figura 4.12. Simulación y conexión del arduino con la pantalla LCD…….50

Figura 4.13. Prueba del funcionamiento del arduino y pantalla LCD……...…..50

Figura 4.14 Grafica lineal de Voltaje / Corriente……..52

Figura 4.15 Conexión de las salidas del arduino con los LED´s……...…52

Figura 4.16 Prueba del funcionamiento de las salidas en los LED´s…….…...…53

Figura 4.17 Tira de luces LED……...……..….53

Figura 4.18 Módulo relevador de 5v…….....54

Figura 4.19 Conexión de relevadores……...….55

Figura 4.20 Simulación y Conexión de relevadores a los LED´s…….....…56

Figura 4.21 Implementación y funcionalidad de relevadores con tira de LED´s…….….56

Figura 4.22 Simulación completa del circuito de instrumentación……...57

Figura 4.23 Una tira de LED encendida equivalente de 0-20 amp……...58

Figura 4.24 Dos tiras de LED´s encendidas equivalente de 20-40 amp …….....59

Figura 4.25 Tres tiras de LED encendida equivalente de 40-60 amp…….....…….....60

Figura 4.26 Cuatro tiras de LED encendida equivalente de 60-80 amp.....61

Figura 4.27 Cinco tiras de LED encendida equivalente de >100 amp……..62

Índice de tablas

Tabla 3.1 Especificaciones de la Turbina SkyStream 3.6…….....30

Tabla 4.1 Ficha de datos del Sensor CSLA1CF…….….42

Tabla 4.2. Corriente / Voltaje…….....44

Tabla 4.3 Tabla de datos Arduino Nano……..…….48

Tabla 4.4 Descripción de pines de la interfaz de la pantalla LCD 16x2…….…..49

Tabla 4.5 Valores lineales de Corriente / Voltaje…….....51

Resumen

En la actualidad la energía renovable está siendo de gran importancia a nivel mundial, esto debido a la contaminación en ascenso y la cantidad limitada de combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas natural. En el presente se busca obtener energía de fuentes naturales e inagotables, como energía solar, eólica, geotérmica, entre otras.

En particular, la generación de energía eólica se considera una de las más abundantes, renovables y limpias en términos generales. La energía eólica es utilizada principalmente para la generación de energía eléctrica mediante generadores. La energía por medio del viento se considera relativamente estable ya que no importa estación del año y hora del día.

El trabajo de la presente tesis "Instrumentación de velocidad y potencia de una turbina Skystream" presenta el diseño e implementación de un circuito de medición, tanto como de velocidad y potencia, como corriente y voltaje de la turbina Skystream la cual está ubicada en la Facultad de Ingeniería Eléctrica en la U.M.S.N.H. Para elegir el diseño más adecuado se estudiaron las principales características de la turbina Skystream para así poder elegir los componentes electrónicos más prácticos, existentes y económicos requeridos para este. Toda la instrumentación se eligió paso por paso, desde sensores, relevadores, LED´s hasta el microcontrolador que en este caso se optó un arduino. Se realizó el diseño e implementación tanto en circuito como directamente en la turbina Skystream. Esto con la finalidad de proyección de uso de energía renovable en la U.M.S.N.H.

Palabras clave

Turbina Skystream, Instrumentación, Velocidad, Potencia, Energía Renovable.

Abstract

At present renewable energy it is still of great importance worldwide, this due to rising pollution and the limited amount of fossil fuels like oil, coal and natural gas. In the present one is looking for inexhaustible energy from natural sources such as solar, wind, geotermal, among other.

In particular, wind power generation is considered one of the most abundant, renewable and clean overall. Wind energy is mainly used for generating electricity by generators. Energy by wind is considered relatively stable since no matter season or time of day.

This thesis work called "Instrumentation speed and power of a Skystream turbine" presents the design and implementation of a measuring circuit, as well as speed and power, as voltage and current of Skystream turbine which is located at the Faculty of Electrical Engineering at Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (U.M.S.N.H.) To choose the most suitable design the main features of the Skystream turbine in order to choose the most practical and economical existing electronic components required for this were studied. All instrumentation was selected step by step, from sensors, relays, LEDs to the microcontroller in this case chose arduino. The design and implementation was carried out both on the circuit as directly into the Skystream turbine. This with the purpose of projection of use of renewable energy in the U.M.S.N.H.

Key words

Skystream Turbine, Instrumentation, Speed, Power, Renewable Energy.

Glosario de Términos

Abreviación	Descripción
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
MW · h	Mega voltio Hora
CO_2	Dióxido de carbono
LED	Diodo emisor de luz
U.M.S.N.H	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
°C	Grados Centígrados
IPCC	Órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático.
a.C.	Antes de Cristo
SUMR	Rotores segmentados ultraligeros
DC	Corriente directa
AC	Corriente alterna

Capítulo 1
Introducción

1.1 Las máquinas eólicas.

Las Máquinas Eólicas son cualquier dispositivo accionado por el viento, se origina del movimiento de las masas de aire el cual constituye una fuente de energía renovable. Al igual que la mayoría de la fuente de estas energías, ésta proviene del sol. Estas se clasifican según la posición de su eje de giro, pueden ser en máquinas eólicas de eje horizontal y máquinas eólicas de eje vertical, a su vez, según la velocidad de giro del rotor se dividen en máquinas eólicas lentas y máquinas eólicas rápidas. Las principales aplicaciones son el bombeo de agua y la generación de electricidad, en zonas con vientos más o menos estables presentan la ventaja sobre los sistemas fotovoltaicos de no depender de los ciclos día-noche ni de los ciclos estacionales durante el año.

En este apartado hablaremos acerca de las turbinas eólicas, que no son más que dispositivos que, mediante su rotación, convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. Ya que como se dijo anteriormente son máquinas que suelen clasificarse según el tipo de fuerza aerodinámica que provoca el giro del rotor. Hay turbinas que son impulsadas por la fuerza de arrastre aerodinámico y otras por la fuerza de sustentación aerodinámica. Las primeras se caracterizan por su operación con elevado par aerodinámico y baja velocidad. Esto es, la velocidad tangencial de las palas es menor a la velocidad del viento. Por otro lado, las turbinas de alta velocidad están impulsadas por la fuerza de sustentación aerodinámica, y tienen el mismo principio de funcionamiento que los perfiles alares de los aviones. Las turbinas generadoras de electricidad modernas son de este último tipo, principalmente debido a su mayor eficiencia.

El hombre ha aprovechado para sus fines industriales la energía contenida en el viento desde tiempos memorables. Entre las técnicas más antiguas están los molinos accionados por el viento, eran de eje vertical, con el tiempo fue mejorado y transformado ya en el molino de eje horizontal, la aplicación primordial era facilitar el trabajo animal y humano.

En la actualidad se aprovecha a gran escala la fuerza del viento para el bombeo de agua y también para la generación de electricidad. La energía eólica aprovechada a gran escala produce un fuerte impacto visual, según el caso puede ser agradable a la sociedad, sin embargo el efecto sobre los ecosistemas es despreciable ya que permite seguir las actividades agroganaderas. Gracias al estudio de este tipo de energía se busca perfeccionar un poco más con respecto a la mortalidad de aves y la contaminación sonora debido a las máquinas eólicas. Las máquinas eólicas son sometidas a distintos tipos de fuerzas perturbadoras, las cuales pueden ser de carácter transitorio, constante, periódico o estocástico, en general a estas se les considera de turbinas de eje horizontal.

Como se dijo anteriormente las máquinas eólicas transforman la energía cinética del flujo del viento en energía eléctrica, o bien, son turbinas de viento que accionan un generador eléctrico. Los equipos actuales más empleados están compuestos esencialmente por un rotor de tres aspas, un eje horizontal rotatorio, compartimento que contiene una caja multiplicadora de velocidad, un generador eléctrico, un transformador y líneas de transmisión de la energía eléctrica así generada para llevarla al usuario. El esquema de los principales componentes de una maquina eólica se ilustra en la siguiente figura 1.1.

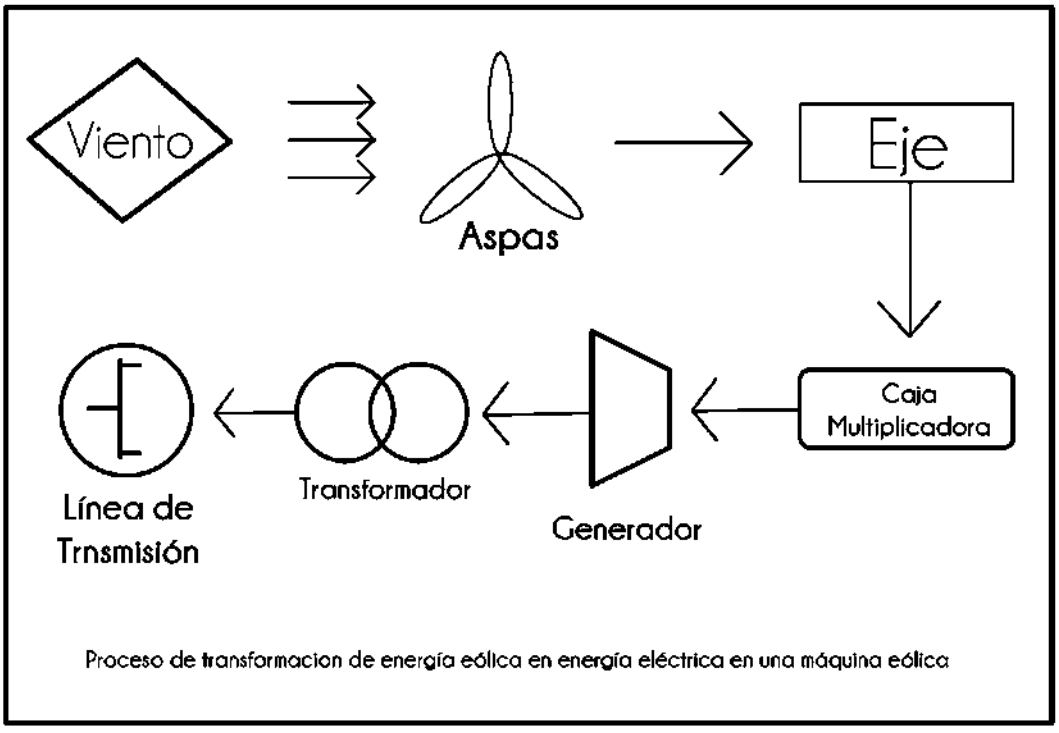

Figura 1.1 Componentes de una máquina eólica

El viento pasa sobre la superficie de las aspas ejerciendo una fuerza de sustentación sobre ellas que hace girar el rotor compuesto por tres aspas. Este movimiento de rotación es transferido al eje principal y en la mayoría de las máquinas eólicas es amplificado mediante una caja multiplicadora que aumenta la velocidad de rotación, con lo que se produce electricidad.

De las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), la energía eólica es la que ha tenido mayor progreso tecnológico en los últimos años en los países desarrollados. La generación de energía eléctrica con energía eólica posee una ventaja significativa con respecto de las energías convencionales pues no genera emisiones de contaminantes atmosféricos, además, es compatible con el uso del terreno junto a otras actividades, tales como la agrícola, y con limitaciones, la ganadera.

En general, los beneficios ambientales de la enrgía eólica se calculan comparándolas con las emisiones de otras fuentes. Estos se calculan comparación de la generación de energía, habitualmente en MW · h. Por cada megavatio·hora generado en una planta termoeléctrica a carbón se desprende más de 800 Kg de CO_2, cantidad que habla por si sola de la maganitud del problema. Aunque también se tiene que reconocer que hay aspectos negativos en la generación de energía eólica y es por ejemplo es impacto visual de las máquinas eólicas, ruido geerado, interación de las aves con las máquinas eólcas, efectos deinterferencia electromagnética de las máquinas eólicas y el impacto en el uso de la tierra.

1.2 Objetivo

Esta tesis tiene como objetivo general realizar un circuito que pueda realizar las mediciones de Velocidad y Potencia que genera la Turbina Skystream que se encuentra ubicada en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Debido a esto se tienen como objetivos específicos los siguientes:

- Evaluar y calcular la forma más factible para realizar el circuito práctico, eligiendo lo más apropiado a las necesidades requeridas y los elementos que se tengan en existencia en el mercado, por ejemplo los elementos electrónicos, sensores, dispositivos programables y la programación adecuada.

- Comprobar el funcionamiento del circuito diseñado, realizando mediciones y pruebas.

- Descifrar a simple vista la energía obtenida por el generador, en este caso por medio de LED´s.

- Proponer el uso de la energía renovable en la U.M.S.N.H. y en la sociedad en general, para futura reducción de la contaminación y la lucha contra el calentamiento global.

1.3 Justificación

En la actualidad la humanidad tiene múltiples necesidades de energía, desde su propia vivienda, alimentos, transporte, salud, comunicación, obras públicas, educación, economía, etc. Hoy en día la mayor parte de las actividades que realizamos diariamente se llevan a cabo utilizando algún tipo de energía, ya que como su definición lo dice -es la capacidad de realizar un trabajo- y esto ha hecho que dichas actividades sean más fáciles de desarrollar. Pero toda esa necesidad de consumir energía ha derivado consecuencias a nivel mundial, como es el calentamiento global, si se revisará un gráfico de las temperaturas en la superficie terrestre, se podría observar un aumento del 0.8 °C y solo en los últimos 30 años, esto dicho por la IPCC, indicando también que la temperatura pretende aumentar durante el siglo XXl entre 1.1 y 2.9°C en un escenario bajo y hasta 2.4 y 6.4°C en el mayor de los casos.

La creciente demanda del uso de energía es el resultado de la alta contaminación mundial, ya que entre las fuentes energía más destacadas esta la combustión de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, dejando en una minoría la energía renovable.

Para ello, es necesario el estudio y la motivación del uso de energía renovable. En la actualidad México es el cuarto país a nivel mundial en la producción de energía geotérmica y se ubica entre los tres países más atractivos para la inversión en energía solar y eólica, así que vale la pena estudiar un poco las energías renovables y sobre todo motivar a la UMSNH al uso completo de esta.

1.4 Metodología

- Se realizará un estudio de la energía renovable y de los tipos que hay, profundizando mayormente en la energía eólica, para conocer el sistema y ver cómo está conformado.

- Se describirá el funcionamiento de la Turbina skystream y se analizaran las características de esta.

- Se diseñará un circuito para la medición de la velocidad y potencia de la Turbina, utilizando sensores, un micro controlador tipo arduino, y los componentes necesarios de acuerdo al diseño y un analizador visible de la energía adquirida en el inmueble.

- Se generarán conclusiones y propuestas óptimas para aprovechar más la Turbina y generar más expectativas de esta.

-

1.5 Contenido de la Tesis

- En el capítulo 1 detalla información acerca de las máquinas eólicas, desde sus inicios, aplicaciones, situación actual, pros y contras de estas, se presentan los objetivos, justificación, metodología y el contenido de la tesis.

- En el capítulo 2 se describe lo que es la energía, se detalla los tipos de energía tanto Renovable, como No Renovable, finalizando con los tipos de energía Renovable.

- En el capítulo 3 se detallan las características de la Turbina Skystream, de igual manera su funcionamiento, pros y contras, estudios y cosas a mejorar.

- En el capítulo 4 se presentan las pruebas, diseño y funcionamiento del circuito de instrumentación de medición de velocidad y potencia propuesto para el estudio de la Turbina skystream.

- Finalmente en el capítulo 5 de muestran las conclusiones, experiencias, observaciones y propuestas respecto al estudio de todos los capítulos anteriores a este, así como los trabajos futuros que se podrían desarrollar derivados de esta investigación.

Capítulo 2
Antecedentes de Fuentes Renovables

2.1 Introducción

Para la Física, la energía es la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio. También lo es el movimiento continuo del agua de un río, o el calor que desprende el carbón cuando se quema. Desde siempre, el hombre ha utilizado las fuentes de energía a su alcance para hacer un trabajo o para obtener calor. Primero su propia fuerza física o la de los animales domésticos. Luego la energía del viento y del agua. Más tarde llegaría la explotación de los combustibles fósiles como carbón, gas natural y petróleo y de la energía nuclear. En el futuro es probable que puedan aparecer nuevas fuentes pero, sea como fuere, la disponibilidad de energía ha sido siempre esencial para la humanidad. Tan esencial como pueda serlo, por ejemplo, el agua potable.

En la actualidad contamos con dos tipos diferentes de energía, una de ellas es la Energía Renovable y la otra la Energía No Renovable.

De entre las distintas fuentes de energía, las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables desde el punto de referencia del periodo de existencia de la humanidad, tengan o no su origen en el sol. Las fuentes de energía renovables son la radiación solar, la atracción gravitacional de la luna y el sol, y el calor interno de la tierra. El concepto de renovable se refiere al consumo no superior a la producción o generación de manera natural, se puede considerar energía renovable a que se pueda evitar el consumo masivo de energía y materia prima si éstas pueden ser producto del reciclaje, aunque habría que decir que, para fuentes como la biomasa, esto es así siempre que se respeten los ciclos naturales. El sol está en el origen de todas las energías renovables porque su calor provoca en la tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer.

Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

La generación, el transporte y el consumo de las energías convencionales tienen, como toda actividad antrópica, un impacto sobre el medio, y puede argumentarse que están en el origen de algunos de los mayores problemas ambientales que sufre el planeta como el cambio climático y la lluvia ácida. El consumo de energía, incluyendo el transporte, es en la actualidad la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes acidificantes.

En la actualidad, la Física sólo reconoce la existencia de la energía mecánica en sus dos formas, la Cinética y la Potencial, lo demás son mecanismos de transporte o transferencia de energía, que fluye de unos cuerpos a otros. Cualquier forma que tome la energía se encuentra regida por las leyes de la Termodinámica, dos de los principios fundamentales de nuestra existencia física, mismos que se vienen a ser los siguientes:

i) La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.
ii) Toda energía es constantemente degradada hacia una forma de energía menos utilizable.

En un concepto histórico, la humanidad se ha visto determinada por el hallazgo y la utilización de la energía. El primer logro que se suscitó lo fue el uso y dominio del fuego, después lo sucedieron los avances en el aprovechamiento agrícola y ganadero como fuente de energía en forma de alimentos, así como la aparición de los transportes con la invención de la rueda. Así bien, aproximadamente para el siglo (XX a.C.), se emplearon las velas para captar la energía del viento para posteriormente surgir la rueda hidráulica y los molinos de viento, que constituyeron ulteriormente en el continente Europeo la principal fuente de energía durante la Edad Media.

Las energías renovables se crean mediante un flujo continuo y se disipan a través de ciclos naturales que se estima son inagotables, ya que su regeneración es incesante, hay diferentes tipos de energías renovables.

2.2 Biomasa

La biomasa es la forma más antigua de energía explotada por la humanidad, básicamente las ramas y troncos de los árboles que al quemarlos producían luz y calor. Desde la prehistoria las personas han utilizado esta energía por medio de combustión directa: quemándola en hogueras a la intemperie, en hornos y cocinas artesanales e incluso

en calderas. Esto se usaba para cocinar alimentos, para protegerse de fríos y desde la revolución industrial para la producción de vapor.

La ventaja de la biomasa frente a otras fuentes renovables es que tiene la capacidad intrínseca de almacenar energía, ya que en realidad la biomasa es energía solar sintetizada y almacenada en forma de enlaces químicos a través de la fotosíntesis, ya que viene a ser el conjunto de materiales biológicos, no utilizables para alimentación y que no han sufrido cambios profundos en su composición tales como los ocurridos en la formación de los combustibles fósiles. Figura 2.1.

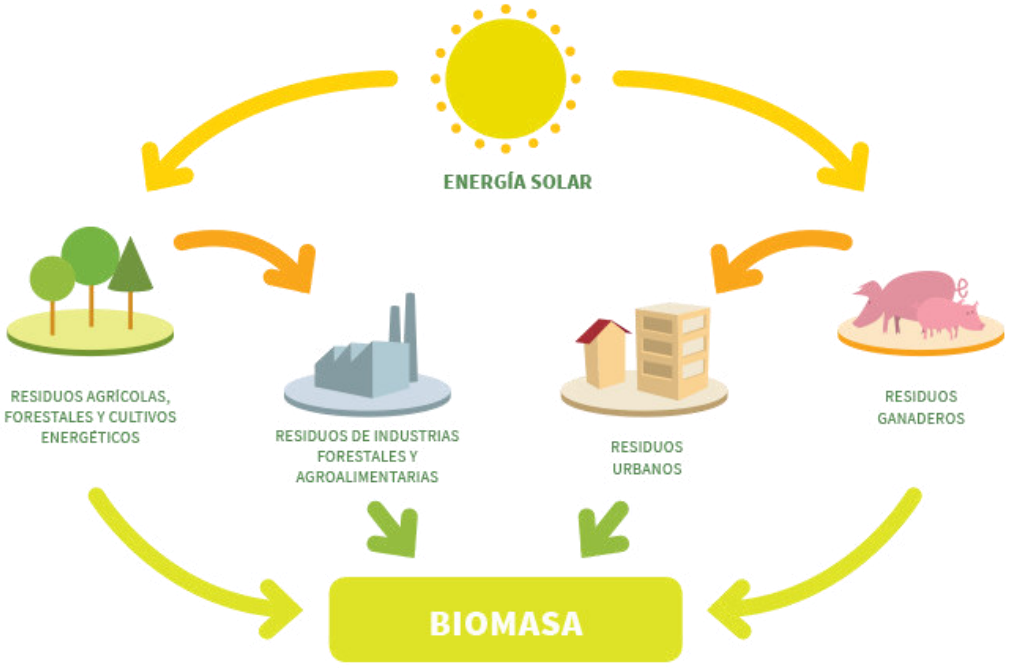

Figura 2.1 Fuentes de biomasa.

Las tecnologías de conversión de la biomasa en energía útil son muy variadas y dependientes del tipo de materia prima utilizada. Podemos citar, sin ánimo de ser exhaustivos, la combustión, gasificación, pirolisis, digestión anaeróbica, hidrólisis, fermentación y transesterificación. La combustión de biomasa, que es la tecnología más utilizada, puede producir emisiones de gases contaminantes que es preciso tener en cuenta a la hora de diseñar las plantas de producción.

2.3 Energía Solar térmica

Desde la antigüedad se inventaron artefactos capaces de hacer un uso útil de la radiación solar y unos de los primeros fueron los Griegos y Romanos ya en el Siglo (III a.C.) fueron capaces de prender las antorchas de los rituales religiosos por medio de unos recipientes en forma parabólica con el interior reflejante. El funcionamiento de este artefacto era sencillo, bastaba con exponerlo los días soleados al sol para que la radiación se concentrará en su foco alcanzando altas temperaturas y en el momento en el que se ponía una antorcha en el foco esta prendía en pocos segundos. Figura 2.2.

Figura 2.2 Recipiente en forma parabólica.

Los sistemas de concentración más desarrollados de energía solar térmica son:

i) Concentrador Cilíndrico Parabólico, que viene a ser un reflector parabólico lineal que concentra la luz sobre un receptor posicionado a lo largo de la línea focal del reflector.

ii) Cilindro Cerrado, que consiste en encapsular el sistema termal solar al interior de un edificio de vidrio con matiz de invernadero.

iii) Reflectores Fresnel, que consisten en tiras de espejos delgados y planos que concentran la luz del sol sobre tubos dentro de los cuales se bombea el líquido de trabajo.

iv) Disco Stirling, consiste en un reflector parabólico único que concentra la luz del sol en un receptor posicionado en el punto focal del reflector, por lo que el reflector sigue al sol en dos ejes.

v) Central Solar de Torre Central, es un conjunto de reflectores con capacidad de seguimiento en dos ejes, que permiten concentrar la luz solar sobre un receptor central instalado en una torre, el receptor contiene un fluido almacenado en un depósito.

Las tecnologías mencionadas requieren configuraciones que se aproximan en mayor o menor grado a la geometría ideal, el paraboloide de revolución.

Los discos parabólicos vienen a ser la tecnología solar de concentración con mayor potencial de aplicación a medio y largo plazo, por su modularidad y por las altas eficiencias alcanzadas en conversión de radiación solar a electricidad, así bien, los sistemas de receptor central tienen la particularidad de poder generar electricidad con altos factores de capacidad, por medio de la incorporación de subsistemas de almacenamiento térmico.

La radiación solar se puede utilizar también para aplicaciones térmicas, tanto en edificios, para agua caliente, calefacción y refrigeración, como en procesos industriales que necesiten el calentamiento de fluidos.

2.4 Energía Solar fotovoltaica

Alexandre Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico a en el año de (1938), mismo que consistente en la transformación directa de la luz en electricidad utilizando un semiconductor, algunos años más tarde, en (1877), el inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio.

A partir de este descubrimiento, otros dos científicos también de Laboratorios Bell, de nombre Daryl Chaplin y Calvin Fuller perfeccionaron este invento y produjeron células solares de silicio capaces de proporcionar suficiente energía eléctrica como para que pudiesen obtener aplicaciones prácticas de ellas. De esta manera empezaba la carrera de las placas fotovoltaicas como proveedoras de energía.

A partir de ese momento la eficiencia de las células no ha dejado de crecer y su campo de aplicaciones se ha extendido enormemente, desde los pequeños electrodomésticos, sistemas de iluminación, sensores remotos, sistemas de bombeo y

desalación de agua, hasta las centrales de producción de energía eléctrica. La modularidad de los paneles fotovoltaicos es una característica esencial para la versatilidad de este tipo de energía, muy apropiada para los países con bajo nivel de renta que no disponen de redes de transporte de electricidad.

Este tipo de energía es una tecnología que genera corriente continua, que viene a ser medida en vatios o kilovatios, por medio de semiconductores cuando éstos son iluminados por un haz de fotones. Mientras la luz incide sobre una célula solar, que es el nombre dado al elemento fotovoltaico individual, se genera potencia eléctrica; cuando la luz se extingue, la electricidad desaparece. Figura 2.3

Figura 2.3 Panel solar.

2.5 Energía Geotérmica

Es la energía proveniente del calor que existe en el interior de la Tierra. El origen de la palabra es griego, de las raíces geos (la Tierra) y thermos (calor), otorgando el significado compuesto del Calor de la Tierra. Actualmente, este término se utiliza para describir los fenómenos térmicos internos de la Tierra como también el conjunto de todos los procesos que se utilizan para extraer esta energía para el uso humano.

El calor que se encuentra en el interior del planeta es una energía duradera, diferencia de las energías eólica y solar, es constante e independiente de las estaciones del

año y las condiciones climatológicas. Se le considera energía renovable puesto que el calor del planeta es ilimitado comparado con la estancia de los humanos en la Tierra, la temperatura subterránea del planeta se disminuye (130° C) cada mil millones de años, es por ello que la energía geotérmica estará disponible por muchas generaciones. Es una energía limpia y sustentable, ya que las instalaciones para extraerla no queman combustibles y por lo tanto no contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero.

En el siglo XIX este tipo de energía se empezó a aprovechar industrialmente con los avances tecnológicos de esta época. El fundador de la industria geotérmica fue el francés Francois Larderel; él fue quien utilizó los líquidos en un proceso de evaporación en lugar de quemar la madera y de esta forma dio inicio a lo que hoy conocemos como la energía geotérmica. Figura 2.4

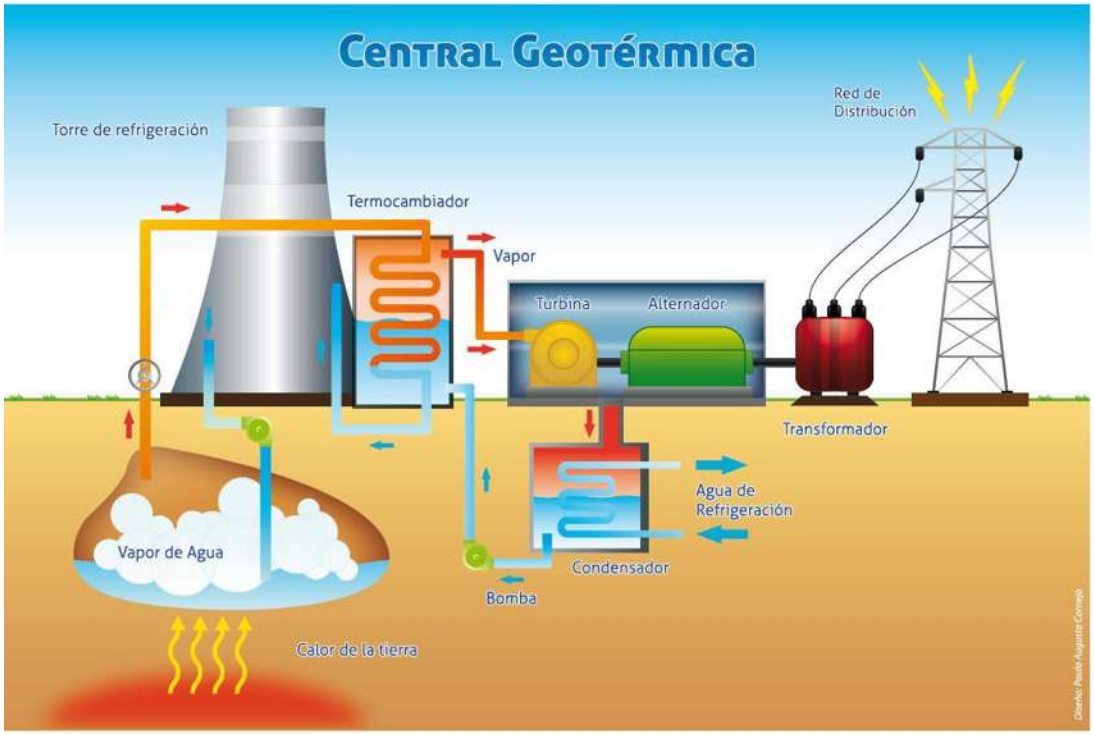

Figura 2.4 Central Geotérmica.

Las aplicaciones que actualmente tiene son las siguientes:

i) Como energía eléctrica, las plantas geotérmicas canalizan el vapor de alta temperatura y presión para producir electricidad; actualmente varios países se encuentran aprovechando esta energía limpia para reducir la dependencia al petróleo y otros combustibles fósiles que contribuyen al calentamiento global.

ii) Baños y albercas: Los spas y resorts utilizan las fuentes naturales de agua caliente para llenar los balnearios, y en algunos el agua está fluyendo continuamente para mantenerlos calientes.

iii) Calefacción directa: Al construir arriba de una fumarola, se puede entubar el vapor para que se caliente el edificio sin llenar el espacio de vapor. Esta técnica se utiliza en lugares donde hay muchas fuentes de energía geotérmica, como Islandia.

iv) Calefacción por medio de circuitos: Por medio de tuberías en forma de circuitos, normalmente dentro de los pisos o paredes, se pasa un líquido por la fuente del calor subterránea. Al correr por la construcción, el calor se transfiere al ambiente y se va enfriando el líquido hasta que pase de nuevo por la fuente de calor. Este tipo de calefacción se utiliza también en los invernaderos, pasando los tubos enterrados cerca de la raíz de las plantas.

v) Acuicultura y crianza de animales: El agua a diferentes temperaturas se utiliza para criar algunas especies de peces, plantas y reptiles acuáticos que necesitan determinada temperatura en el agua, como salmones, camarones, cangrejos, robalos, carpas, musgos, hongos marinos, tortugas y cocodrilos.

vi) Secado de alimentos y maderas: El agua caliente se utiliza para calentar hojas grandes de metal para que posteriormente pase el aire y se caliente. Este aire se usa para deshidratar y secar alimentos y maderas.

2.6 Energía Hidráulica

La fuerza del agua fue aprovechada para diversos usos, como moler grano o triturar materiales con alto contenido en celulosa para la producción de papel, hecho que atestiguan los numerosos molinos de agua conservados en diferentes partes del mundo.

Pero no sería hasta los inicios de la Revolución Industrial cuando se aprovechó la energía del agua para la producción de energía eléctrica. La creciente industrialización del norte de Europa provocó una gran demanda de energía que vino a ser suplida en buena parte, gracias a la hidroelectricidad, ya que la extracción de carbón todavía no era lo suficientemente fuerte como para cubrir las necesidades industriales. Figura 2.5.

Figura 2.5 Presa Hidráulica.

Esta fuente de energía tuvo un rápido crecimiento debido al desarrollo técnico experimentado a finales del siglo (XIX) y principios del (XX), especialmente en lo que se refiere a la invención del generador eléctrico y al perfeccionamiento de las turbinas hidráulicas. A pesar de que las tecnologías de producción no han experimentado grandes revoluciones desde principios del siglo (XX), sí se han desarrollado nuevos mecanismos para optimizar el rendimiento, existiendo, hoy en día, diferentes tipo de turbinas que son utilizadas de acuerdo a la altura del salto de agua.

2.7 Energía Marina o Energía Oceánica

Se denomina a toda aquella que es transportada por las olas, mareas, corrientes, salinidad o diferencias de temperatura y que puede aprovecharse a partir de tales recursos. Cualquier movimiento que procede del mar es energía cinética y potencial que se aplica en la vida actual. El mar es poseedor de una gran cantidad de energía y puede proporcionar cantidades significativas de energía renovable para la población mundial.

Los océanos o mares producen dos tipos básicos de energía: mecánica y térmica. La energía mecánica se produce de acuerdo con la rotación de la Tierra y la gravedad de la

Luna, ya que ambas crean fuerzas mecánicas: mientras la primera crea viento en la superficie del océano y en consecuencia se forman las olas, la atracción gravitatoria lunar genera mareas y corrientes costeras. La energía térmica, por su parte, se obtiene cuando el Sol calienta la superficie marina a la vez que las profundidades permanecen frías. Esta diferencia de temperatura permite que la energía se convierta en otro tipo de energía. Figura 2.6.

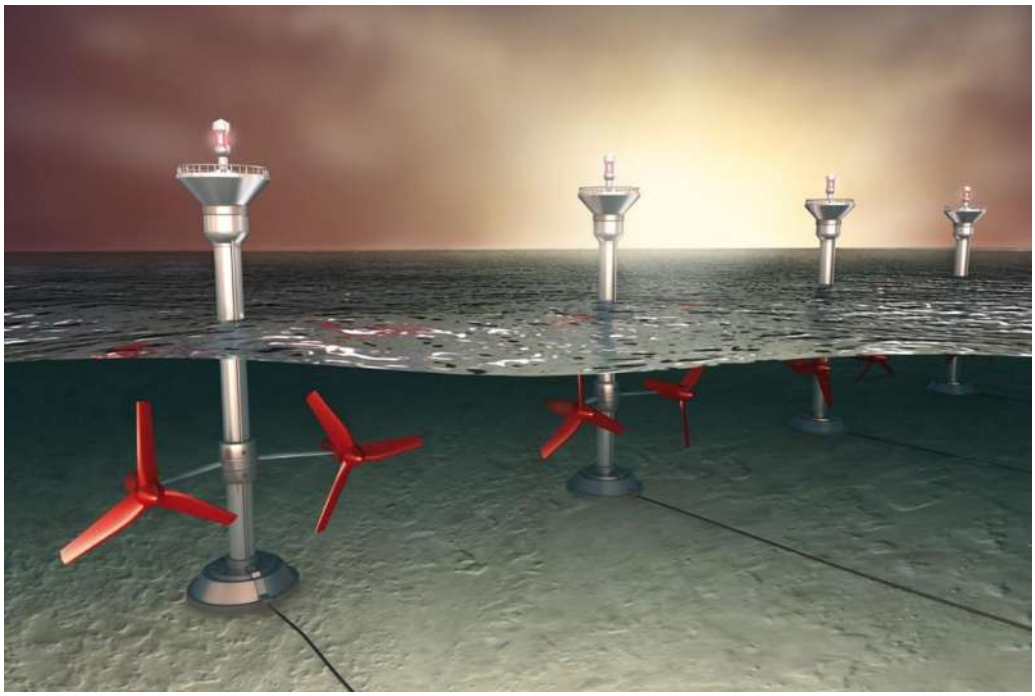

Figura 2.6 Turbinas marinas.

Otra manera de clasificar la energía marina se relaciona con los métodos de conversión, y es una forma de desglosar la primera tipología. Por consiguiente, existen 5 diferentes tipos de energía marina:

i) Energía de las corrientes. Se aprovecha la energía cinética de las corrientes para, principalmente, generar electricidad.

ii) Energía osmótica. Se obtiene a partir de las diferencias de salinidad entre los flujos de agua dulce en el agua de mar.

iii) Energía térmica. Utiliza las diferencias de temperatura entre la superficie y las profundidades para obtener energía.

iv) Energía de las olas. Captura el transporte de energía de las olas mediante dispositivos que flotan o están sujetos al fondo marino.

v) Energía de las mareas o mareomotriz. Usa la energía potencial de la diferencia de altura entre la marea baja y la marea alta.

2.8 Energía Eólica

Este tipo de energía, es una de las más antiguas usadas por la humanidad. Desde el siglo (II a.C.), en China los hombres utilizaban los molinos de viento para moler granos o bombear agua. Con la llegada de la electricidad, a finales del siglo XIX los primeros aerogeneradores se basaron en la forma y el funcionamiento de los molinos de viento (Figura 2.7), sin embargo, hasta hace poco tiempo no la generación de electricidad a través de aerogeneradores no ha jugado un papel importante.

La primera persona que utilizó el viento para generar electricidad fue Charles F. Brush, en el año de (1888), quien construyó el molino de poste Brush, en Cleveland, Ohio. Parecía un ventilador gigante con una cola que podía hacer girar el rotor con el viento.

El molino de poste producía alrededor de (12 KV), cantidad que cargaba las baterías en el sótano de la casa de Brush. Éstas suministraban energía a las lámparas y a pequeños motores eléctricos.

Figura 2.7 Molino de viento.

Con la primera crisis del petróleo, sobre todo a partir de los movimientos contra la energía nuclear en el continente Europeo, se despertó el interés en energías renovables, por lo que se buscaron nuevos caminos para explotar los recursos del planeta, tanto ecológicamente como rentables económicamente. Los aerogeneradores de aquella época eran demasiado caros, y el elevado precio de la energía que se obtenía a través de los mismos era un argumento para estar en contra de su construcción.

Debido a esto, los gobiernos internacionales promovieron la energía eólica en forma de programas de investigación y de subvenciones, la mayoría de las mismas aportadas por los gobiernos regionales. Fue así como se crearon institutos de investigación que han llevado a cabo una estandarización de las instalaciones y de los métodos de seguridad que han alcanzado un mejor rendimiento económico de las instalaciones. Los altos costos de generación de electricidad a partir del viento se redujeron considerablemente en el año de (1981) al (50%) con el desarrollo de un aerogenerador de (55 KW).

El uso más reciente del viento es la generación de electricidad. La energía eólica tiene como gran ventaja que no produce emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y evidentemente no es finita, es decir, no se acaba.

Los molinos de viento tradicionales, como los que tienen aletas aerodinámicas de madera en los países bajos, velas de tela en España, o los solitarios ventiladores de metal al oeste de los Estados Unidos, no atrapan la cantidad de viento suficiente como para generar electricidad. En cambio, una turbina de viento, que es más alta que un molino de viento tradicional, sí lo hace (Figura 2.8). Una turbina de viento gigantesca, con un altísimo poste y enormes aletas propulsoras ajustadas en la parte superior, son tan altas, toda vez que el viento es más fuerte más arriba en la atmósfera. En lugares remotos del mundo, hileras de turbinas de viento que generan electricidad salpican el paisaje.

Figura 2.8 Turbina de viento.

Un dato interesante que deviene viable traer a este estudio, es que la proliferación de parques eólicos está provocando reacciones sociales muy encontradas en algunas partes del mundo y como casi siempre ocurre, muchas de ellas están justificadas. Comenzando por lo quizá más anecdótico, el viento es un buen transmisor del ruido y en algunas poblaciones cercanas a los parques eólicos se han recogido quejas por el aumento de la contaminación acústica, aunque hay quien señala que el ruido procede más del propio viento que de los molinos.

En todo estudio previo a la instalación de un parque eólico, se ha de reflejar la presencia y el paso de aves, acompañado por un inventario de especies. La muerte de las aves se produce cuando chocan contra las aspas del molino y por electrocución con las líneas de alta tensión. En defensa de los molinos de viento, cabe señalar que, según algunas opiniones, las aves se acostumbran a la existencia de las palas y las evitan en su trayectoria, como hacen con los árboles y otros obstáculos naturales. Con las líneas de alta tensión el problema es más complicado, ya que las aves chocan contra los cables porque no los ven en pleno vuelo, lo que se intenta evitar con elementos que destaquen las líneas, como cintas, balones o espirales, y en caso necesario, se puede obligar a los promotores de los parques eólicos a enterrar los cables.

Capítulo 3
La Turbina Skystream

3.1 Introducción a la energía eólica

El viento es la fuente de energía eólica. El viento es originado por el calentamiento de origen solar de la superficie de la Tierra y origina movimientos de la masa atmosférica.

La tierra recibe gran cantidad de energía solar. De ella, 2% se transforma en energía eólica, capaz de dar potencia suficiente para accionar generadores eólicos y generar electricidad. En la antigüedad se desconocían estos datos. Sim embargo, se conocía intuitivamente el enorme potencial de esta energía. La primera referencia histórica al aprovechamiento del viento para accionar maquinas eólicas son los molinos de eje vertical que aparecen en el siglo V a.C.

En tiempos antiguos los chinos y los persas construyeron molinos de viento sencillos para aprovechar la energía eólica y ayudarse a moler sus granos. Con el transcurso de los años y conforme fueron mejorando los inventos y la tecnología, la energía eólica se usó en aplicaciones tan diversas como el bombeo de agua, el impulso a los barcos de vela y el drenado de agua.

No fue hasta finales del siglo XIX que la experimentación con el uso de energía eólica para generar electricidad comenzó. El desarrollo de la tecnología fue rápido y durante la primera mitad de este siglo las aeroturbinas se usaron ampliamente para la producción de electricidad. Se calcula que entre 1850 y 1970 más de 6 millones de pequeñas máquinas de viento con producción eléctrica y mecánica se instalaron en Estados Unidos. La industria de la energía eólica ha vencido muchos obstáculos tecnológicos, políticos y sociales para llegar al lugar donde se encuentra hoy. A principios de los 80 los malos diseños dieron un mal nombre a la industria durante un tiempo, sin embargo los diseños actuales han probado que la calidad de las turbinas eólicas han mejorado en todos los aspectos.

Aunque hay diversos tipos de turbinas en operación en todo el mundo, se pueden dividir en dos categorías generales, con base en la orientación del eje del rotor, eje horizontal y eje vertical. Ambos tipos pueden transformar la energía eólica en movimiento mecánico o electricidad.

3.2 Antecedentes de las Turbinas Eólicas

Una turbina eólica es un dispositivo mecánico que convierte la energía del viento en electricidad.

La primera turbina eólica de funcionamiento automático para generación de electricidad de la historia fue inventada en 1887 por el ingeniero Charles Francis Brush, que nació en Euclid Township, Ohio, y quien fuera uno de los pioneros en la industria eléctrica americana. Esta turbina eólica tenía como características un diámetro de rotor de 17 metros y contaba con 144 palas fabricadas en madera. Funcionó durante 20 años y cargaba las baterías que el Ingeniero Charles tenía en el sótano de su residencia. Generaba una potencia para su época de 12Kw que era muchísima para el tiempo. La primera turbina se muestra en la figura 3.1.

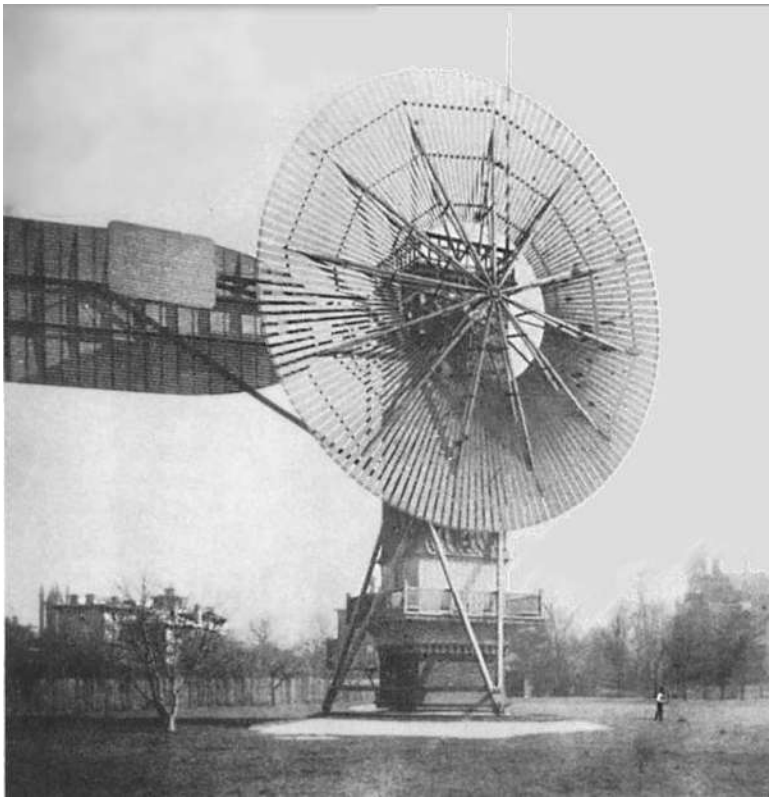

Figura 3.1 Primera turbina eólica de la historia (1887).

En 1897 Poul la Cour construyó sus dos aerogeneradores como consecuencia de la escasez de combustibles. Fundó la primera academia de energía eólica, de donde salieron los primeros ingenieros especializados. Court también fue el pionero de las modernas turbinas eólicas generadoras de electricidad. Se muestran sus primeros aerogeneradores en la figura 3.2.

Figura 3.2 Aerogeneradores de prueba (1897).

En 1920 el físico alemán Albert Betz formuló la ley Betz, que establecía el máximo valor que se puede aprovechar de la energía cinética del viento, 59,3%. Su teoría sobre la formación de las alas todavía sirve de fundamento para la construcción de aerogeneradores. Betz fue también un pionero de la energía eólica y es recordado por su papel crucial en el desarrollo teórico de las turbinas eólicas.

En 1941 Palmer Cosslett Putnam ingeniero americano, desarrolló en 1941 el aerogenerador Smith Putman que generaba 1.25 Mw. Éste aerogenerador trabajó hasta 1945 sin interrupciones, hasta que falló debido a que en ese tiempo no había materiales aptos para este objeto. A continuación de muestra la imagen de dicho aerogenerador. Figura 3.3.

Figura 3.3. Aerogenerador Smith Putman (1941).

En 1957 el ingeniero alemán Ulrich W Hüttner ingenió su propio aerogenerador StGW-34, el cual es considerado como la primera piedra de la tecnología eólica moderna. Figura 3.4.

Figura 3.4 Aerogenerador StGW-34 (1957).

En 1957 el ingeniero danés y estudiante de Poul la Cour Johannes Juul Construyó el primer aerogenerador para corriente alterna de 200 kW, se le considera como el predecesor de los aerogeneradores actuales. En la Figura 3.5 se muestra dicho generador.

Figura 3.5 Aerogenerador para CA (1957).

Entre 1970 y 1980 La crisis del petróleo llevó a un cambio en la manera de pensar de las políticas energéticas. El interés en las energías alternativas creció y llevó a la creación de programas de investigación. La turbina eólica moderna, es el resultado de años de desarrollo e investigación científica. Hoy en día, la mayoría de las turbinas modernas provienen de la familia de las turbinas con ejes horizontales y tienen 3 aspas. Las aspas o palas de las turbinas eólicas, tienen un diseño similar a las alas de los aviones y utilizan el apoyo aerodinámico del viento para girar.

Se presume que en el futuro las turbinas eólicas serán de 200 metros de altura, con aspas de 50 metros y una potencia de hasta 50 MW, por supuesto de bajo costo, ya que en la actualidad se presentan entre los 8 MW de potencia.

Se pretende diseñar el aerogenerador más grande del mundo con un nuevo concepto en las aspas inspiradas con forma de palmeras llamadas SUMR (rotores segmentados ultraligeros) que se recogen cuando este alcanza velocidades que pueden suponer un riesgo. Figura 3.6.

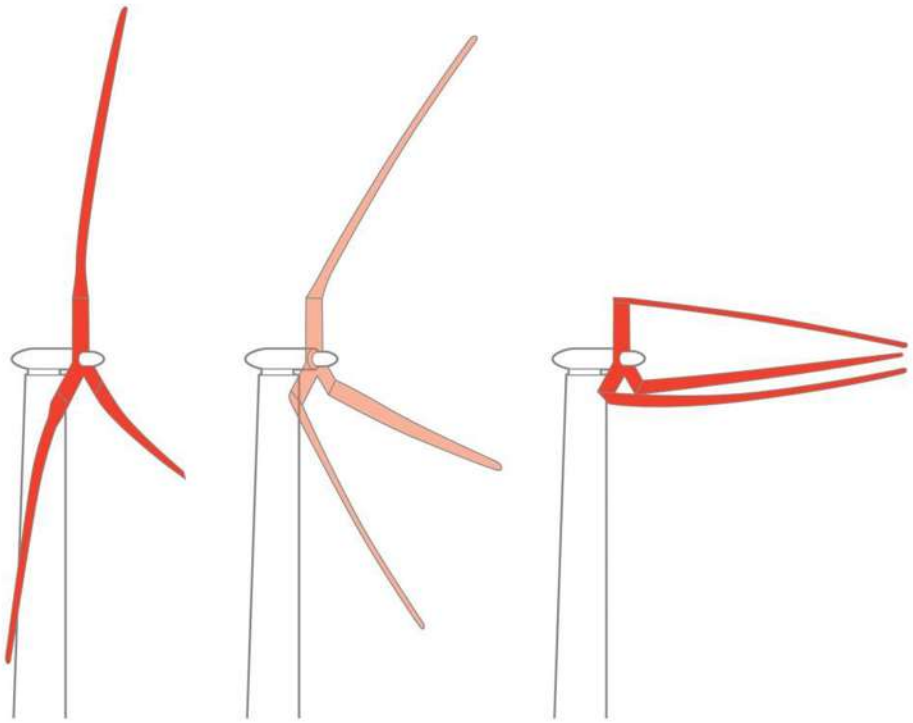

Figura 3.6 Prototipo de Turbina Eólica SUMR.

3.3 Las Turbinas Eólicas modernas

Las turbinas eólicas se diseñan para convertir la energía del movimiento del viento (energía cinética) en la energía mecánica, movimiento de un eje. Luego en los generadores de la turbina, ésta energía mecánica se convierte en electricidad. La electricidad generada se puede almacenar en baterías, o utilizar directamente.

Hay tres leyes físicas básicas que gobiernan la cantidad de energía aprovechable del viento.

- La primera ley indica que la energía generada por la turbina es proporcional a la velocidad del viento al cuadrado.

- La segunda ley indica que la energía disponible es directamente proporcional al área barrida de las paletas. La energía es proporcional al cuadrado de la longitud de las paletas.

- La tercera ley indica que existe una eficacia teórica máxima de los generadores eólicos del 59%. En la práctica, la mayoría de las turbinas de viento son mucho menos eficientes que esto, y se diseñan diversos tipos para obtener la máxima eficacia posible a diversas velocidades del viento. Los mejores generadores eólicos tienen eficacias del 35% al 40%.

Los elementos principales de cualquier turbina eólica son el rotor, una caja de engranajes, un generador, equipo del control y monitoreo, la torre, los cimientos y el armazón como se muestra en la figura 3.7.

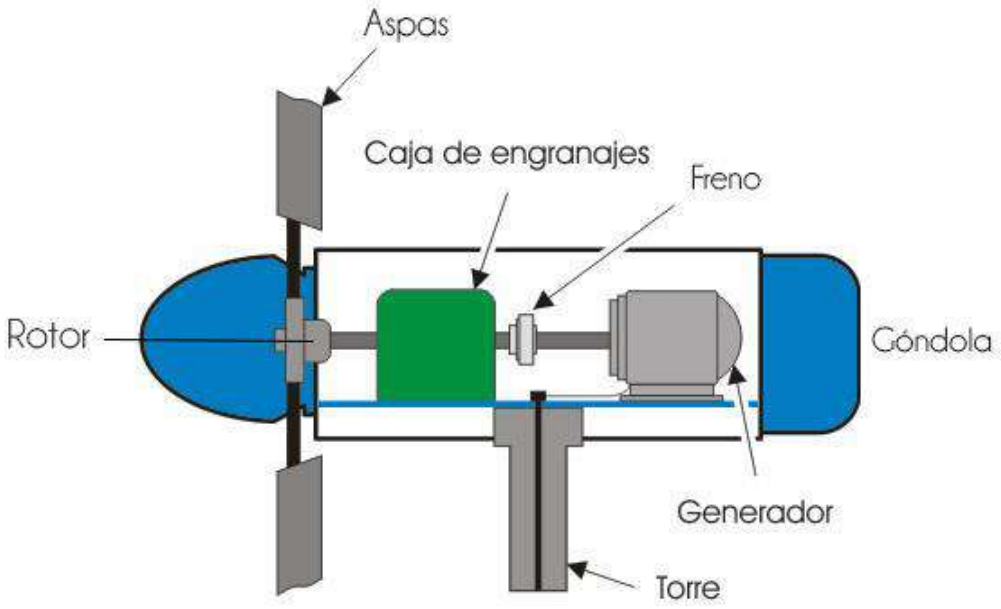

Figura 3.7 Elementos básicos de una turbina eólica

Rotor. El rotor es el componente que gira en una máquina eléctrica, sea ésta un motor o un generador eléctrico. El rotor está formado por un eje que soporta un juego de bobinas enrolladas sobre un núcleo magnético que gira dentro de un campo magnético creado por un imán o por otro juego de bobinas enrolladas sobre unas piezas polares, que permanecen estáticas y que constituyen lo que se denomina estator de una corriente continua o alterna, dependiendo del tipo de máquina de que se trate. Las palas del rotor se diseñan para que giren con en el viento, moviendo el generador de la turbina.

Caja de engranajes. En una caja de engranajes hay distintos tipos de eje: eje central, eje planetario, eje hueco, y también ejes de baja y alta velocidad. Todos tienen en común que son componentes de acero de gran resistencia y dureza. Los engranajes se utilizan para aumentar la frecuencia para la producción eléctrica.

Góndola. Es una especie de caja que se conecta al rotor y dentro de ella está la caja de engranes y generador. En algunos modelos de turbinas eólicas de grandes dimensiones incluso puede aterrizar un helicóptero.

Generador. Un generador es una máquina eléctrica que transforma energía mecánica en energía eléctrica, lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen que son el rotor y el estator, en palabras más claras el generador es quien genera la electricidad cuando hay suficiente viento como para rotar las paletas.

El Armazón. Es el soporte donde están el generador, el sistema de frenado, el sistema de orientación, el equipo auxiliar hidráulico, la ceja de cambios, etc. Su función principal es proteger a estos equipos del ambiente y sirve de aislante acústico.

Torre. La torre eleva el montaje de las turbinas sobre las corrientes de aire turbulentas cerca de la tierra y permite capturar un viento de mayor velocidad. El diseño de torre es particularmente crítico, ya que deben ser tan altas como sea económicamente posible, también deben ser robustas, permitir el acceso a la turbina para su mantenimiento, pero no agregar costo innecesario al sistema. Un aspecto particularmente importante del diseño de torres es la eliminación de la resonancia entre la gama de frecuencias de las paletas que rotan y la frecuencia de resonancia de la torre.

Las aspas. Estas absorben la energía del viento para transmitirla hacia la góndola. Se fabrican con acero, fibra de vidrio y fibra de carbón. Para la realización de las aspas se buscan materiales resistentes y de poco peso relativo.

Cimientos. Generalmente constituidos de concreto reforzado sobre los cuales se atornilla la torre de la turbina eólica.

El funcionamiento de las turbinas generalmente es la misma en casi todas, a continuación de describe un poco del funcionamiento de esta. *En el tope de cada turbina eólica hay una caja conocida como góndola, adjuntas a ella hay 3 aspas que se conectan a un rotor, también hay un anemómetro para medir la velocidad del viento y su dirección. La dirección del viento rota a la góndola para ver hacia el viento, la energía del viento, llamada energía cinética hace girar las aspas alrededor del rotor, creando energía mecánica.*

El rotor está conectado al eje principal que gira dentro de la góndola, ahí, un rotor magnético gira dentro de bucles de alambre de cobre, esto hace que los electrones dentro del cobre fluyan, creando energía eléctrica. Para turbina eólica, el transformador que se

encuentra dentro de la góndola incrementa la generación de electricidad de alrededor de 690 v a 3400 v. la electricidad generada baja por los cables de la góndola, a través de la torre y cables bajo la base. Los cables toman la electricidad generada de la turbina eólica a una subestación compacta, ahí un transformador incrementa de nuevo la energía eléctrica de salida, después una línea de trasmisión conecta la electricidad de salida dela subestación compacta, a la red eléctrica sirviendo de electricidad al usuario

Las turbinas eléctricas pueden dividirse también en subsistemas, que son:

- *Orientación:* Este mantiene el rotor de frente al viento y minimiza los cambios de dirección del rotor con los cambios de dirección del viento. Estos cambios de dirección causan pérdidas de rendimiento y generan grandes esfuerzos con los cambios de velocidad.

- *Regulación:* Este controla la velocidad del rotor y el par motor en el eje del rotor, lo que evita oscilaciones producidas por la velocidad del viento.

- *Transmisión:* Es utilizado para aumentar la velocidad de giro del rotor y así accionar un generador de corriente eléctrica, con un multiplicador, colocado entre el reloj y el generador.

- *Generación:* Sirve para producir corriente continua (DC), dínamo y corriente alterna (AC), alternador, este puede ser síncrono y asíncrono.

Por su aplicación, las turbinas eléctricas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- ***Turbinas eólicas aisladas.*** Son máquinas pequeñas que se utilizan para alimentar cargas alejadas de las redes eléctricas convencionales. Usualmente, se combinan con bancos de baterías para almacenar la electricidad que generan y poder suministrar energía en cualquier momento. Con frecuencia, este tipo de turbinas eólicas se pueden combinar con generadores de diésel para proveer respaldo de energía y se pueden combinar también con sistemas fotovoltaicos, mini turbinas hidráulicas, entre otros, creando así los "sistemas híbridos".

- ***Turbinas eólicas en centrales.*** Son máquinas de tamaño considerable que por lo general se conectan a la res eléctrica convencional para contribuir a la alimentación de la misma y satisfacer la demanda de electricidad, ya sea total o parcialmente. Los grupos de estas máquinas constituyen las centrales eoloeléctricas, también llamadas granjas eólicas.

3.4 La Turbina Skystream

No se puede negar que la energía renovable está revolucionando el mundo, innovando para un futuro limpio y sustentable. Es ahí donde entran las empresas dedicadas a la creación de proyectos e instrumentos dedicados a aprovechar los recursos naturales y proveer por el futuro ecológico mundial.

En este caso nos enfocaremos en la SkyStream, esta industria dedicada específicamente en proveer energía renovable, en este tema será directamente con su turbina eólica SkyStream 3.6.

La turbina eólica SkyStream 3.6 es el primer generador eléctrico para hogares pequeños que es impulsado totalmente por el viento para producir energía eléctrica, diseñada especialmente para generar energía limpia con poco viento. Es además de mantenimiento de bajo costo. Existen dos tipos que son: el Terrestre y el Marino. También hay dos versiones a 120V o a 220V.

La turbina eólica Skystream 3.6 ofrece una solución para el aprovechamiento de la energía eólica en una escala residencial, la turbina Skystream 3.6 es el primer generador de viento con los controles y el inversor construido en su interior. Esta turbina eólica puede comenzar la producción de energía con viento con apenas 3,5 m/s (13 km/h).

Igualmente fue diseñada para combinar con el medio ambiente, ya que puede estar acoplada en torres que van desde 10.6 m - 18.3 m de altura, y tienen poco impacto sobre el entorno en el que se encuentren. Cuenta también con torres de hasta 33.5 m de altura.

Gracias a su regulador e inversor integrados permite la inyección directa a red de 220V/50Hz o a la carga de baterías. Su bajísimo nivel de ruido permite instalarlo en zonas residenciales y el diseño de su cuerpo y aspas hacen que su impacto visual sea mínimo.

Cuenta también con una capacidad nominal de 2.4 kW, con lo cual puede suministrar en cualquier lugar desde un 40% - 90% de las necesidades energéticas de un hogar o pequeño negocio, esto dependiendo del lugar y del consumo energético. Así mismo, cuenta con un kit de monitorización y control por medio de WIFI. Figura 3.8.

Figura 3.8 Turbina Eólica Skystream 3.6

En la tabla 3.1 se muestran más de especificaciones de la Turbina Skystream 3.6.

Tabla 3.1 Especificaciones de la Turbina SkyStream 3.6

Modelo	Skystream 3.6
Tipo	Sotavento, conexión a red pública y carga de batería
Potencia Nominal	2400 Vatios a 13 m/s de velocidad del viento
Potencia Máxima	2600 Vatios
Peso	93 kg
Dimensiones de embalaje	Caja 1: 1016 x 533 x 696 mm / 89 kg Caja 2: 1905 x 381 x 279 mm / 21 kg
Diámetro del Rotor	3.7 m
RPM	50 - 325
Número de aspas	3
Tensión de salida	240 VAC
Área de barrido	10.87 m^2
Mástil	Aluminio fundido (Versión en aluminio marino disponible)
Palas	Compuesto de fibra de vidrio triplemente reforzada
Montaje	Torre Skystream
Ruido	45 decibelios a 12 m
Velocidad de arranque (Inicio de producción de energía)	3.5 m/s
Velocidad de supervivencia del viento	63 m/s
Alternador	Imán permanente sin ranuras sin escobillas
Control de guiñada	Pasivo
Alimentación	Inversor Southwest Windpower 230 voltios, 50Hz, 1 fase
Carga de batería	Controlador de carga de batería disponible para sistemas de carga de batería
Sistema de freno	Regulación de pérdida electrónica con control de interruptor de relé redundante
Control de usuario	Sistema remoto inalámbrico con interfaz de 2 vías
Garantía	Garantía limitada a 5 años
Cumple la normativa	IEC 61400-12-1 IEC 61400-2 A-DA (Pendiente) IEC 61400-2 B-DA (2007) DAB-GL-003-2007, Rev 1 IEC 61400-11 (Pendiente) EN 61000-6-3 (2007) EN 61000-6-2 (2005) EN 61000-3-2 (1995) EN 61000-3-3 (2000)

Mediante un estudio de alrededor de seis meses de la turbina Skystream se logró observar y comprobar un poco más del comportamiento y trabajo de esta misma. Esto mediante una interfaz que muestra todo el trabajo del generador, en esta se puede observar si está en funcionamiento o está en pausa, con esta interfaz se puede lograr un estudio más profundo de esta. A continuación de muestra las imágenes del funcionamiento de la turbina del mes de diciembre del 2017 al mes de junio del 2018.

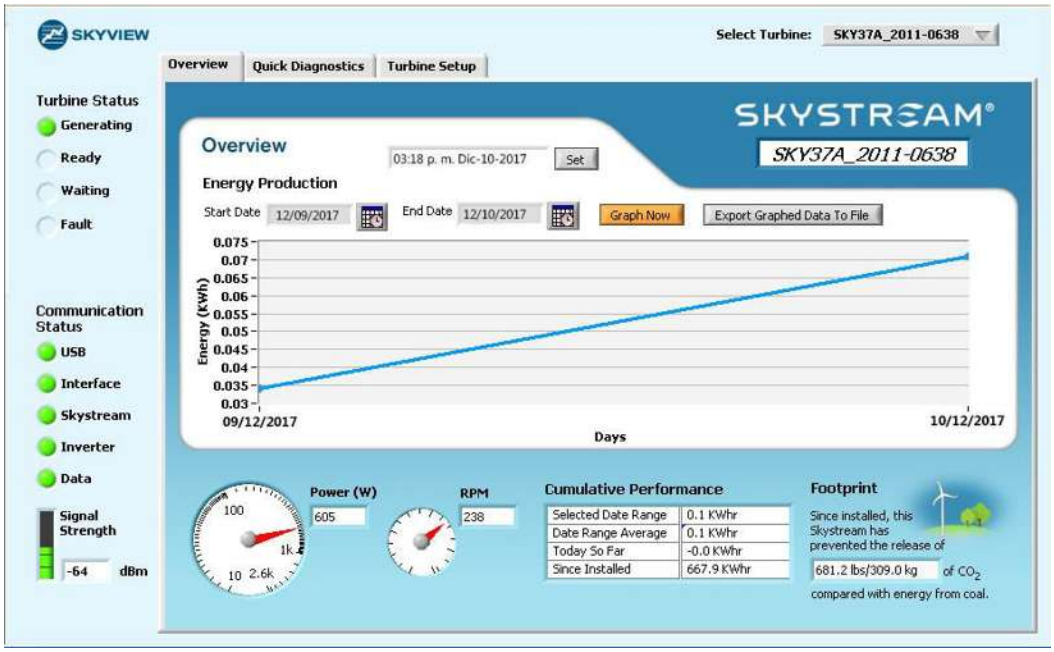

Figura 3.9 Estadística del mes de diciembre

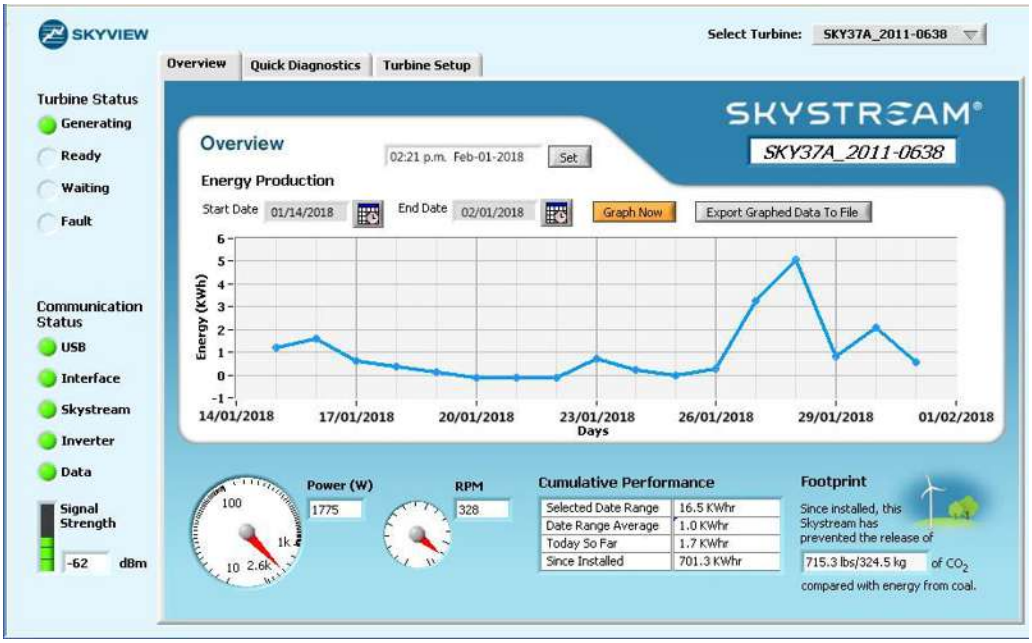

Figura 3.10 Estadística del mes de enero

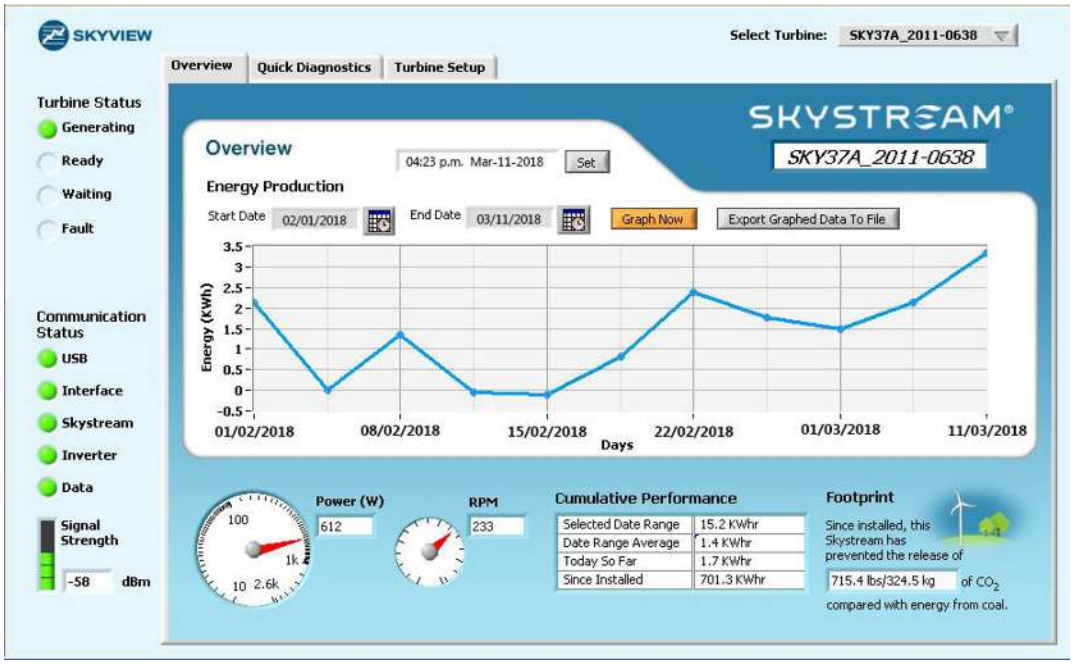

Figura 3.11 Estadística del mes de febrero

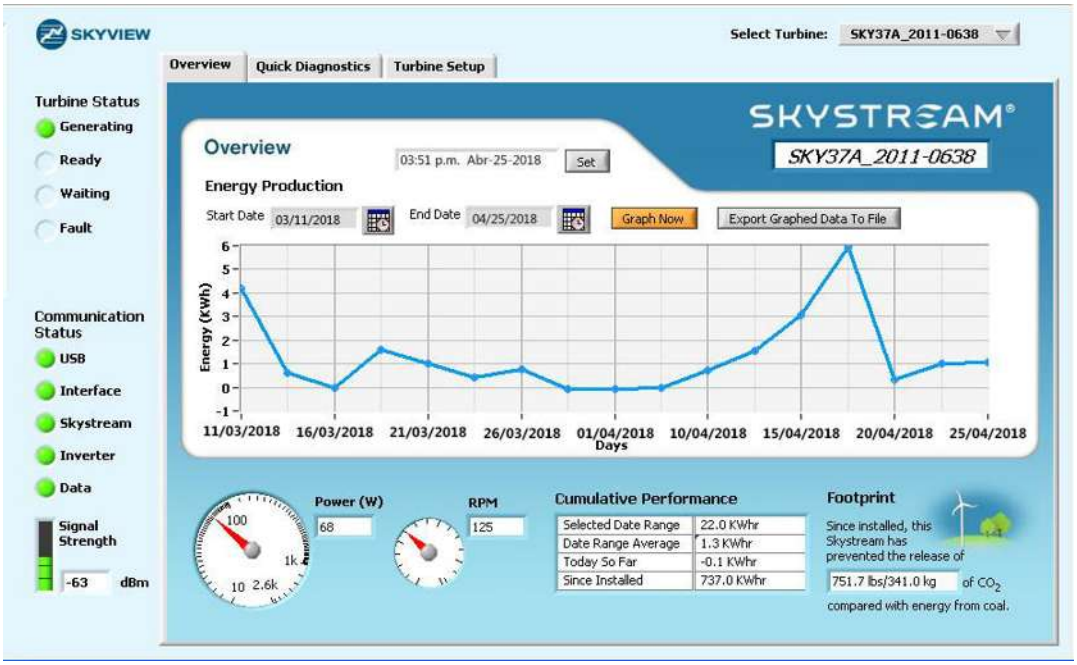

Figura 3.12 Estadística del mes de marzo

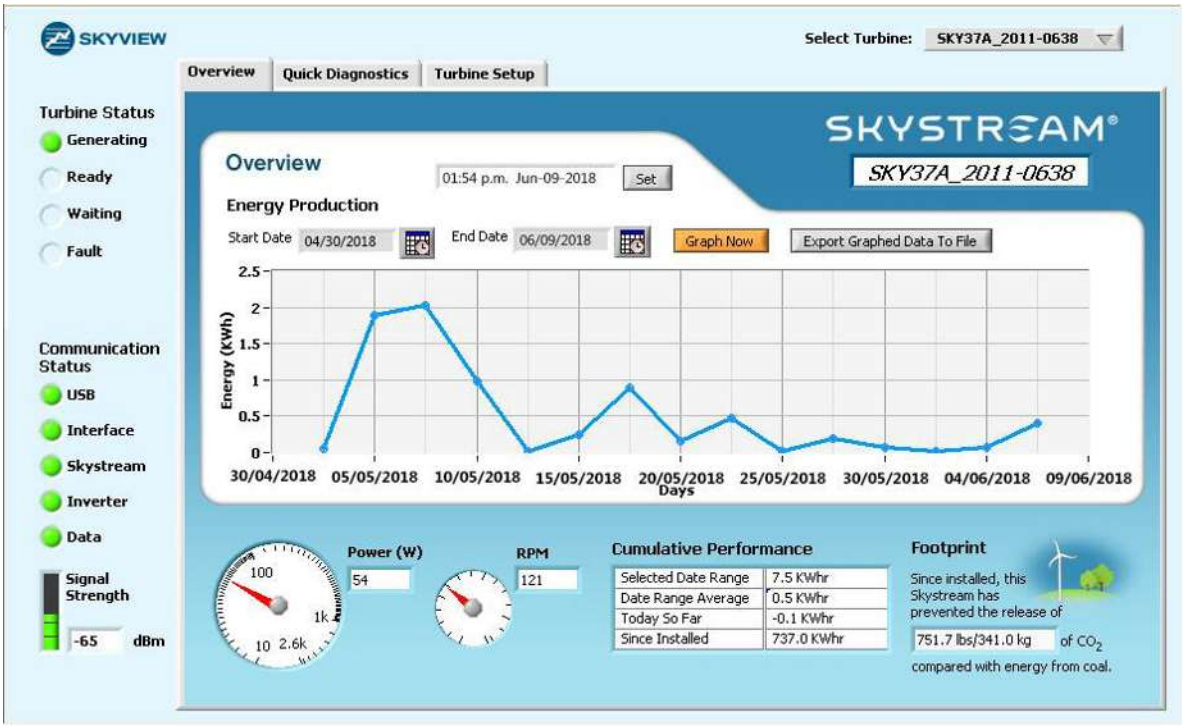

Figura 3.13 Estadística del mes de abril, mayo y junio

En las figuras anteriores se comprueba que no importa época del año o si es de día o noche, claro que en algunos días es más potente la velocidad del viento pero muy difícilmente el generador deja de producir energía.

Capítulo 4
Diseño e Implementación de Medición de Velocidad y Potencia

4.1 Conceptos básicos

4.1.1 Instrumentación electrónica

La instrumentación electrónica es la técnica que se ocupa de la medición de cualquier tipo de magnitud física, de su conversión a magnitudes eléctricas y de su tratamiento para proporcionar información para un sistema de control o una persona. La Instrumentación electrónica es la parte de la electrónica, principalmente analógica, que se encarga del diseño y manejo de los aparatos electrónicos y eléctricos, sobre todo para su uso en mediciones.

Las características por las que la tecnología electrónica es la más utilizada por los sistemas de instrumentación, son:

- Las señales eléctricas permiten manejar señales en un rango dinámico de tiempos muy amplio, desde los picosegundos hasta horas.

- Las señales eléctricas pueden ser transmitidas muy fácilmente a través de cables metálicos, sistemas radiados, o fibra óptica.

- Las señales eléctricas pueden ser amplificadas por circuitos electrónicos de forma muy eficientes, y pueden manejarse rangos de señal muy amplios, desde los nanos voltios hasta los kilovoltios.

- Los sistemas electrónicos permiten complejas transformaciones funcionales de las señales eléctricas.

- Las señales eléctricas son las más apropiada para ser introducidas en los computadores, los cuales representan el medio más potente de registro, transformación y presentación de la información.

- La instrumentación electrónica actual es la que presenta mejor relación prestación /costo.

Así mismo, la instrumentación electrónica presenta ciertas desventajas:

- Presenta un rango de temperaturas limitado desde -50 ºC hasta 175 ºC.

- Son equipos sensibles a la radiación de alta energía.

- Requiere una fuente de potencia para su operación.

- Los componentes electrónicos activos suelen presentar deriva por envejecimiento.

El esquema básico de cualquier sistema de instrumentación se muestra en la figura 4.1.

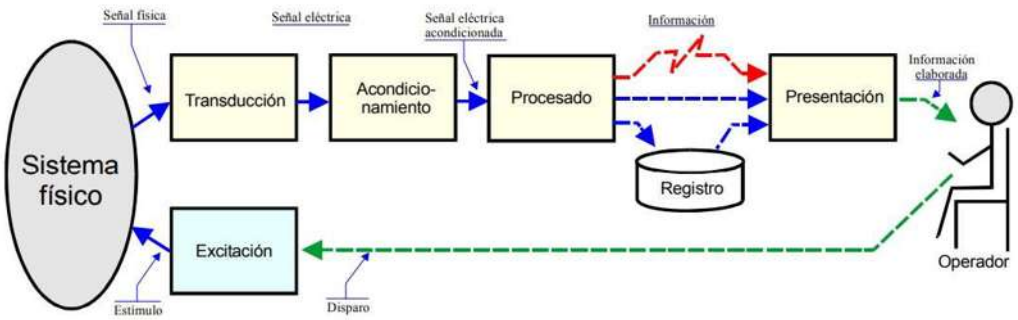

Figura 4.1 Esquema básico de un sistema de instrumentación.

a) *Transductor:* El transductor es el componente que convierte la magnitud física a medir, en una señal eléctrica.

b) *Acondicionamiento de la señal:* Este bloque incluye todas aquellas transformaciones que deben realizarse sobre señales eléctricas que resultan en la salida del transductor, y que son previas al procesado para extraer la información que se mide o evalúa.

c) *Procesamiento de la señal:* Incluye el conjunto de transformaciones a que debe ser sometida la señal eléctrica a fin de extraer de ella, la información que se busca.

d) *Registro de la señal:* Consiste en el almacenamiento permanente o temporal de las señales para su posterior análisis o supervisión. Esta operación es necesaria si el flujo de información que se adquieren supera la capacidad de procesamiento de que se dispone.

e) *Telemetría:* A veces, las señales son adquiridas en puntos remotos, de difícil acceso o con condiciones ambientales hostiles, y es necesario aislar los componentes de captación, de los equipos de procesamiento y presentación. En estos casos, es necesario transmitir las señales entre la captación y el procesamiento mediante un 5 canal de comunicación. Para adaptar las señales a las características de canal de comunicación es necesario introducir procesos de modulación, demodulación o codificación apropiados.

f) *Presentación de la información:* La información resultante del proceso de medida debe ser presentada de forma comprensible al operador, o elaborada e integrada para que pueda ser interpretada por un sistema supervisor automático.

g) *Generador de estímulo:* En muchos casos los sistemas no son activos sino reactivos, y para medir cualquier magnitud, se tiene que estimular el sistema físico mediante señales generadas por la propia instrumentación de medida.

4.1.2 Velocidad

Del latín velocĭtas, la velocidad es la prontitud en el movimiento. El concepto de velocidad está asociado al cambio de posición de un cuerpo a lo largo del tiempo. La velocidad es una magnitud vectorial y, como tal, se representa mediante flechas que indican la dirección y sentido del movimiento que sigue un cuerpo y cuya longitud representa el valor numérico o módulo de la misma. Depende del desplazamiento, es decir, de los puntos inicial y final del movimiento, y no como la rapidez, que depende directamente de la trayectoria. El metro por segundo (m/s) es su unidad en el Sistema Internacional, su símbolo es V. La velocidad viene dada por,

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0}$$

Donde x_0 es la posición inicial en el instante inicial t_0 y x_1 es la posición final en el instante final t_1.

4.1.3 Potencia

Del latín, potentĭa, la potencia es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. Puede asociarse a la velocidad de un cambio de energía dentro de un sistema, o al tiempo que demora la concreción de un trabajo. Su unidad en el sistema internacional (SI) es

el vatio, su símbolo es P. Por su parte la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo viene dada por la expresión,

$$P(t) = I(t)V(t)$$

Donde, *P (t)* es la potencia instantánea, medida en vatios (julios/segundo).
I (t) es la corriente que circula por él, medida en amperios.
V (t) es la diferencia de potencial o caída de voltaje a través del componente, medido en voltios.

La Potencia eléctrica es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia eléctrica se representa con la letra P y la unidad de medida es el Vatio (Watt).

4.1.4 Hardware

El término hardware (pronunciación AFI: /ˈhɑːdˌwɛə/ ó /ˈhɑɹdˌwɛəɹ/) corresponde a todas las partes físicas y tangibles de una computadora, sus componentes eléctricos, electromecánicos y mecánicos; sus cables, gabinetes o cajas, periféricos de todo tipo y cualquier otro elemento físico involucrado. El Término es propio del idioma inglés, su traducción al español no tiene un significado acorde, por tal motivo se la ha adoptado tal cual es y suena; la Real Academia Española lo define como Conjunto de los componentes que integran la parte material de una computadora. Aunque no solamente se aplica a las computadoras; del mismo modo, también a un robot, un teléfono móvil, una cámara fotográfica, una TV digital o un reproductor multimedia poseen hardware.

4.1.5 Software

El término Software se refiere al equipamiento o soporte lógico de una Computadora digital, y se entiende como el conjunto de los componentes lógicos necesarios para hacer posible la realización de tareas específicas; es también la contraposición a los componentes físicos del sistema, llamados Hardware. Estos componentes lógicos incluyen, entre muchos otros, programas informáticos como Procesador de textos, que permite al usuario realizar todas las tareas concernientes a edición de textos; software de sistema, tal como un sistema operativo, que, básicamente, permite al resto de los programas funcionar adecuadamente, facilitando la interacción con los componentes físicos y el resto de las aplicaciones, también provee una interfaz para el usuario.

4.1.6 Sensor

Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y así responder en consecuencia. Estos aparatos pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas. Un sensor tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida.

4.1.7 ARDUINO

El arduino es una placa electrónica donde viene montado un microcontrolador AVR este cuenta con todo lo necesario para realizar su programación, es decir, no necesita un programador, este ya viene incluido en la placa, en resumen se debe realizar un programa y cargarlo al arduino para que este a trabajar.

Este microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de realizar operaciones matemáticas complejas a gran velocidad. La alimentación de una placa de Arduino es mediante el puerto USB mientras se está programando. Una vez programado podemos desconectarlo del ordenador y que trabaje de forma autónoma.

4.2 Diseño del circuito de instrumentación.

Para el diseño de instrumentación de velocidad y potencia que se realizará, se tomará en cuenta que el generador es trifásico, dado que la conexión a la red eléctrica debe ser trifásica. De este se tomará solo una fase para realizar la medición de velocidad y potencia.

Para el hardware que se desarrollará, se diseñará en diferentes etapas.

La primera etapa se realizará utilizando un sensor de tipo hall, el cual consiste en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo. Para esto es necesario que la dirección del campo magnético sea perpendicular a la dirección de flujo de la corriente. Figura 4.2

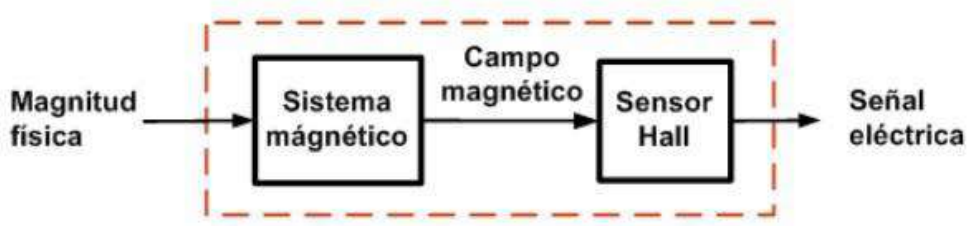

Figura 4.2 Diagrama de bloques del efecto Hall.

El campo magnético transversal ejerce una fuerza desviadora a la que se le llama Fuerza de Lorentz, sobre el conductor o semiconductor. Esta fuerza causa la desviación de los portadores de carga que se mueven a través del material. Como resultado, aparece una diferencia de potencial Vxy (denominada voltaje de Hall) entre los extremos del conductor. Este voltaje es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado y su polaridad depende del signo de los portadores de carga. El efecto Hall se presenta en conductores y en semiconductores. Las diferencias de potencial producidas en tiras metálicas son muy pequeñas, siendo a menudo enmascaradas por el ruido.

Por esto, los dispositivos comerciales usan materiales semiconductores especiales, donde el efecto Hall es más notable. En estos casos, el elemento básico es generalmente una tira de arseniuro de galio (GaAs) o de indio (InAs) la cual, cuando se polariza mediante una corriente constante y se sumerge en un campo magnético transversal a su superficie, genera un voltaje proporcional a la intensidad del campo. Este voltaje es reforzado por un

amplificador operacional incorporado en el dispositivo y se procesa para proporcionar una señal de salida útil.

Esta etapa es fundamental para el diseño de instrumentación del circuito que se realizará, por tal caso se utilizará el Sensor de efecto Hall CSLA1CF (Figura 4.3) el cual es de salida lineal, esto es debido a que la tensión Hall es muy pequeña (aproximadamente 30uV/G), es necesaria una etapa de amplificación, esto se hace a través de un amplificador diferencial. Posee además una compensación en temperatura y un regulador de voltaje. La salida posee un transistor en emisor abierto para realizar la interfaz con cualquier dispositivo. Figura 4.4.

Figura 4.3 Sensor de efecto Hall CSLA1CF.

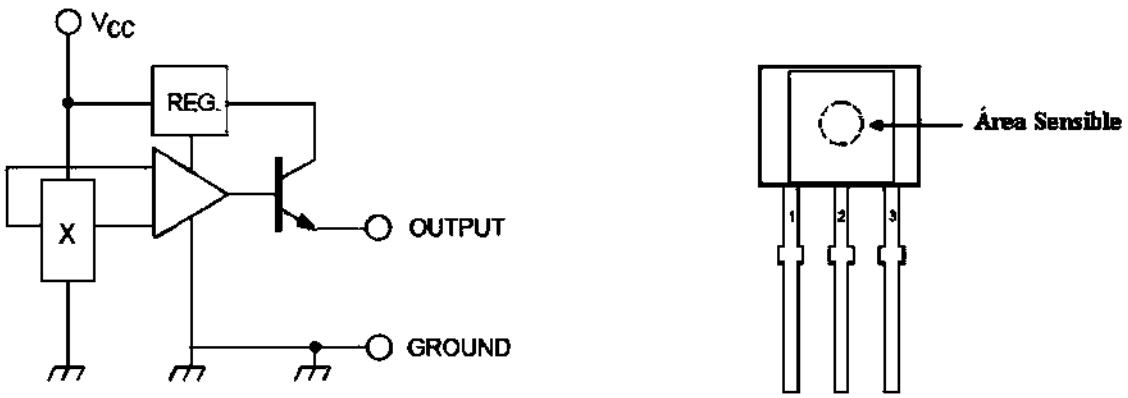

Figura 4.4 Sensor de efecto Hall con salida lineal.

Según la polaridad del campo magnético que se le aplique al sensor, la tensión de salida será positiva o negativa, lo cual nos indicaría que necesitaríamos fuentes positivas y negativas. Pero el amplificador diferencial incorpora una tensión de polarización, de modo que con un campo magnético nulo tengamos en la salida una tensión positiva.

En la Figura 4.5 vemos la característica de transferencia de un sensor Hall lineal. Podemos ver en dicha gráfica el null offset, la sensibilidad en mV/G y el alcance.

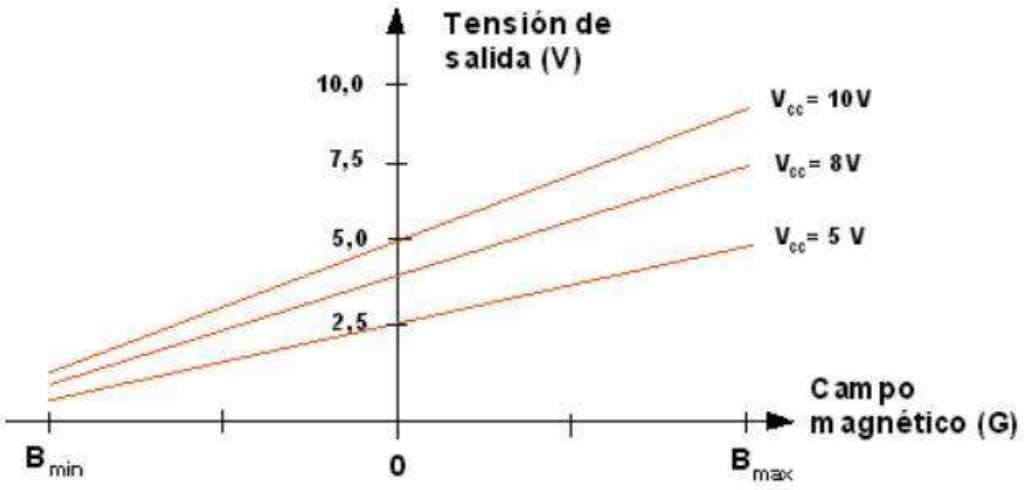

Figura 4.5 Grafica de transferencia de un sensor Hall lineal.

Las características más importantes del sensor seleccionado CSLA1CF son:

- Salida lineal.
- Detección de corriente CA o CD.
- Diseño de orificio pasante.
- Tiempo de respuesta rápido.
- Aislamiento del voltaje de salida de la entrada.
- Disipación de energía mínima.
- Corriente máxima limitada solo por tamaño del conductor.
- Rendimiento ajustable e incorporado a la compensación de temperatura segura.
- Operación confiable.
- Detección precisa y de bajo costo.
- Rango de temperatura de funcionamiento -25 °C a 85 °C.
- Material de poliéster PET.

La ficha de datos se muestra en la siguiente tabla subrayado en color rojo, Tabla 4.1

Tabla 4.1 Ficha de datos del Sensor CSLA1CF.

Catalog Listing	Mtg. Dim. Fig.	Supply Volt. (Volts DC)	Supply Current (mA Max.)	Sensed Current (Amps Peak)	Offset Volt. (Volts ±10%)	Sensitivity mV•N* At 12 VDC		Offset Shift (%/°C)	Response Time (μ Sec.)
						Nominal	± TOL		
CSLA1CD	1	8 to 16	19	57	Vcc/2	49.6	5.8	±.05	3
CSLA1CE	1	8 to 16	19	75	Vcc/2	39.4	4.4	±.05	3
CSLA1DE	2	8 to 16	19	75	Vcc/2	39.1	4.8	±.05	3
CSLA1CF	1	8 to 16	19	100	Vcc/2	29.7	2.7	±.05	3
CSLA1DG	2	8 to 16	19	120	Vcc/2	24.6	2.1	±.05	3
CSLA1CH	1	8 to 16	19	150	Vcc/2	19.6	1.8	±.05	3
CSLA1DJ	2	8 to 16	19	225	Vcc/2	13.2	1.2	±.05	3
CSLA1EJ	1a	8 to 16	19	225	Vcc/2	13.2	1.5	±.05	3
CSLA1DK	2	8 to 16	19	325	Vcc/2	9.1	1.7	±.05	3
CSLA1EK	1a	8 to 16	19	325	Vcc/2	9.4	1.3	±.05	3
CSLA1EL	1a	8 to 16	19	625	Vcc/2	5.6	1.3	±.05	3

*Donde N es el número de vueltas.

Como se puede observar en la Tabla 4.1 se eligió el sensor CSLA1CF ya que cumple con muchas de las necesidades que se requieren para el diseño del circuito, cuenta con una gran sensibilidad a los cambios, la corriente tolerada es relativamente suficiente

para la necesidad requerida, tamaño pretendido y nos da como resultado en la salida una señal de voltaje, esto facilita mucho más el diseño.

A continuación se muestra la arquitectura del sensor CSLA1CF para conocer las dimensiones requeridas para el montaje. Figura 4.6

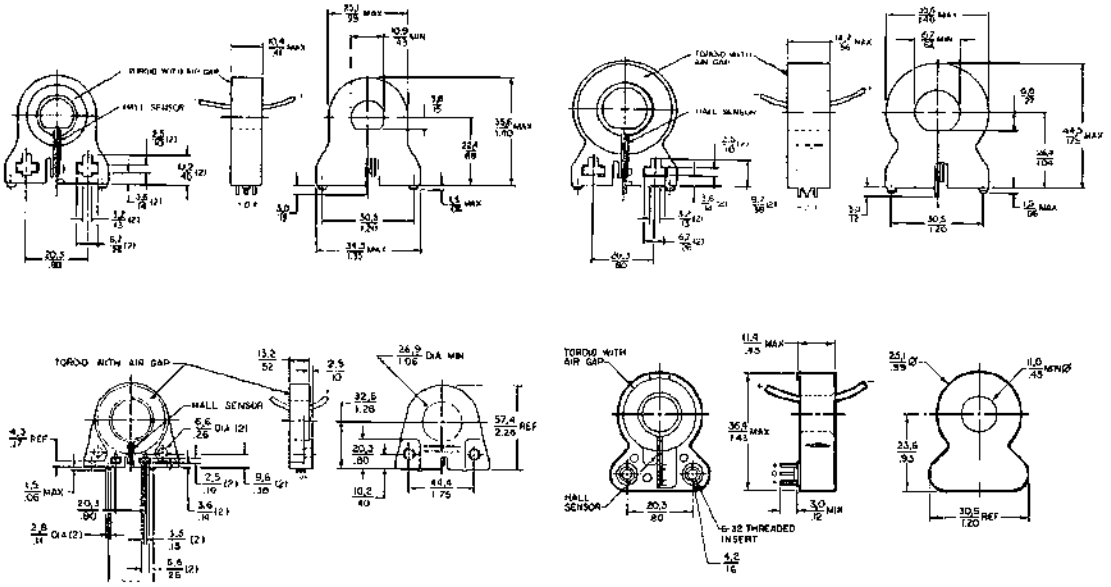

Figura 4.6 Dimensiones de Sensor CSLA1CF

Para saber el funcionamiento del sensor de efecto hall seleccionado se realizaron algunas pruebas con un motor de CD, de donde se tomaron varias medidas de voltaje Figura 4.7.

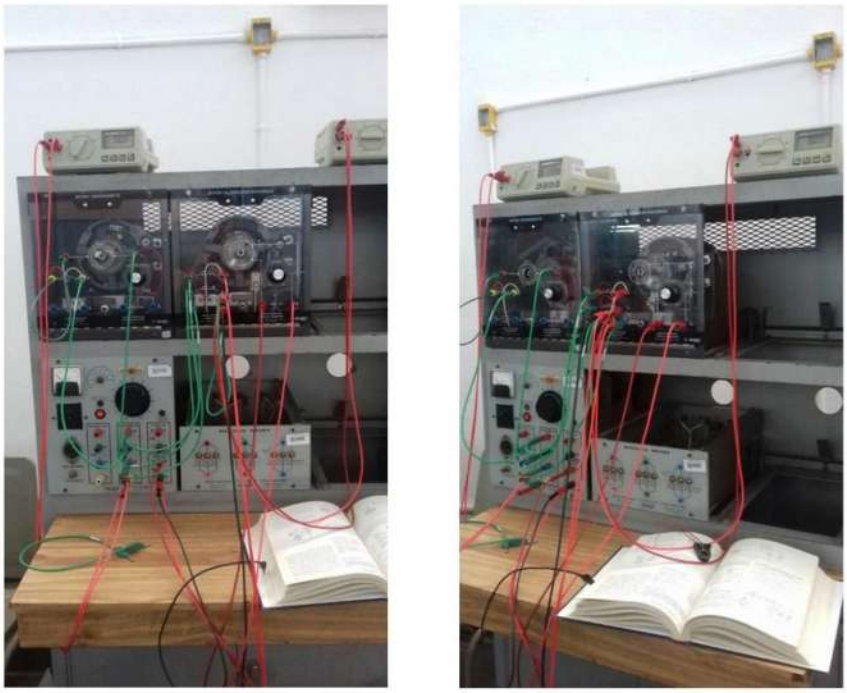

Figura 4.7 Pruebas de Corriente / Voltaje

A continuación de muestran los resultados de Voltaje / Corriente del motor de CD Tabla 4.2.2

Tabla 4.2. Corriente / Voltaje

Voltaje inducido en Motor CD	**Corriente de Salida**
30 V	6.8 mA
53.9 V	7.7 mA
60 V	7.7 mA
90 V	9.2 mA
100 V	4.9 mA
120 V	1.3 mA

*Como se puede notar, la corriente de salida es tolerable al sensor CSLA1CF.

Por lo tanto, dada la respuesta que tenemos con el sensor, se comprueba que la opción de la elección es la adecuada para las necesidades del circuito. El sensor de efecto hall CSLA1CF como resultado de la medición de la corriente, dicho sensor nos da como

consecuencia una señal de la corriente en forma de voltaje, pero no el voltaje total del motor, solo una señal para nosotros poder leerla y determinar así lo deseado.

Posteriormente se realizaron las pruebas del sensor con respecto al voltaje de salida de este, como se ha mencionado anteriormente, el voltaje de salida es directamente proporcional a la corriente que circula por la fase seleccionada. Figura 4.8.

Figura 4.8 Pruebas del funcionamiento correcto del sensor CSLA1CF

Se comprobó lo que nos dice la ficha de datos del sensor CSLA1CF (Tabla 4.2.1) donde nos dice que por cada 1Amp que circula por la fase, el sensor nos arrojara un aproximado de 29.7 mV en forma ideal. Aunque en el trabajo real nos dio el resultado de 31.7 mV por cada 1 Amp.

Consecutivamente se comenzó por dar forma al proyecto de instrumentación, en este caso se eligió un Arduino Nano Figura 4.9 El cual se prefirió por su bajo costo, la facilidad a la hora de programar, esto hace más fácil la realización del programa y cuenta con todo lo esencial para las necesidades que se tienen.

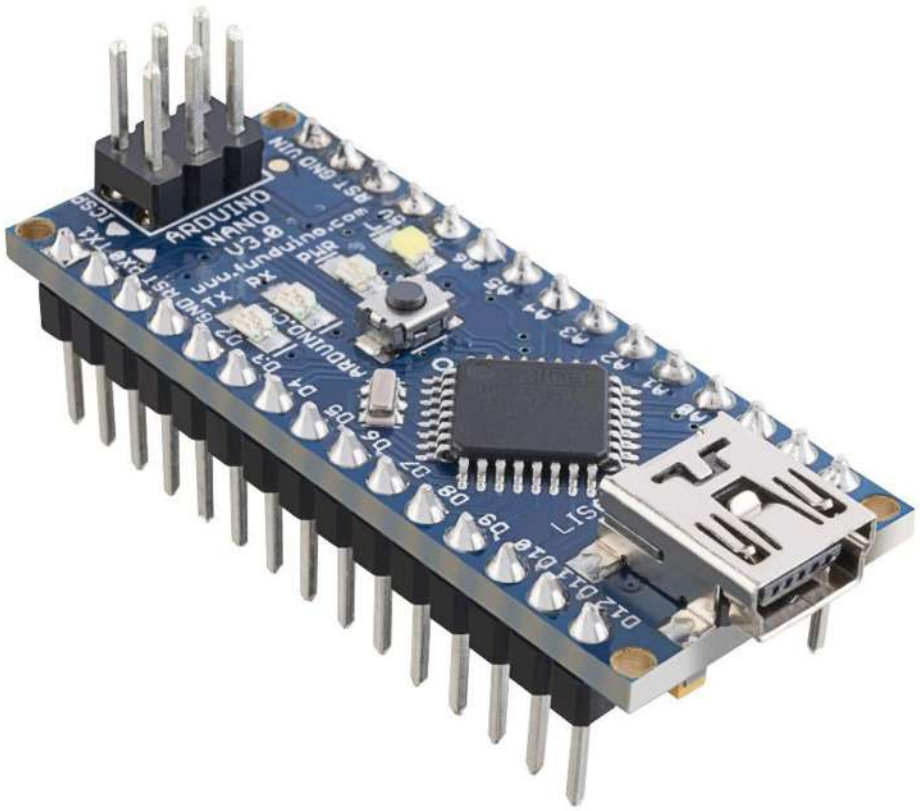

Figura 4.9 Arduino Nano

Las características más importantes del microcontrolador Arduino seleccionado son:

- Tamaño pequeño.
- Entrada mini-usb
- 14 puertos digitales entrada/salida.
- 8 puertos análogos.
- Memoria de 16 kB.
- Memoria Ram de 1kB.
- 512 bytes de EPROM.
- ClockSpeed es 16 MHz.
- Funcional en voltaje de enter 7- 12 v.
- Corriente entregada de 40 mA.
- Codigos perfectamente compatibles con cualquier placa.

A continuación se muestra el diseño esquemático del arduino nano. Figura 4.10.

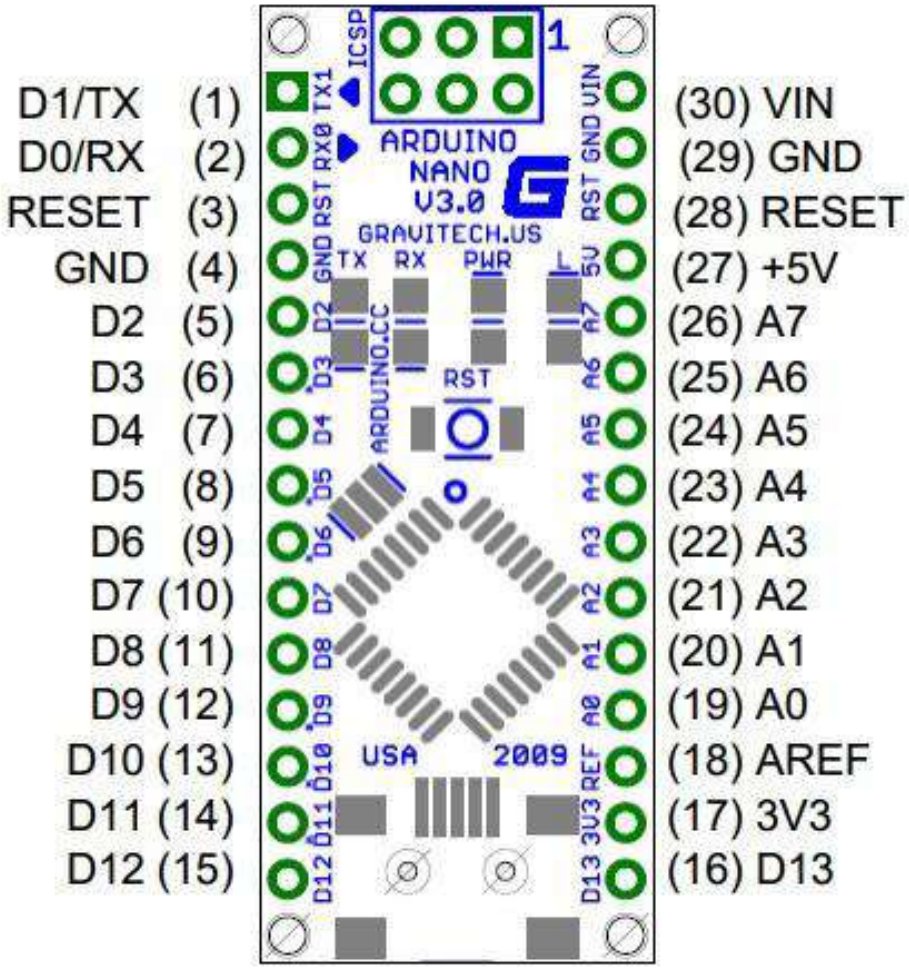

Figura 4.10. Diseño esquemático del microcontrolador Arduino Nano.

En la siguiente tabla 4.3 se muestra la tabla de datos del Arduino Nano.

Tabla 4.3 Tabla de datos Arduino Nano.

Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A0-A7	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Comprobando que el microcontrolador arduino nano cuenta con las necesidades requeridas se prosiguió por la realización del código para el funcionamiento de nuestro circuito. (Código que se presenta en apéndice A)

Para poder visualizar los resultados del código desarrollado se utilizó una pantalla 16 caracteres x 2 líneas COB LCD que se muestra en la figura 4.11.

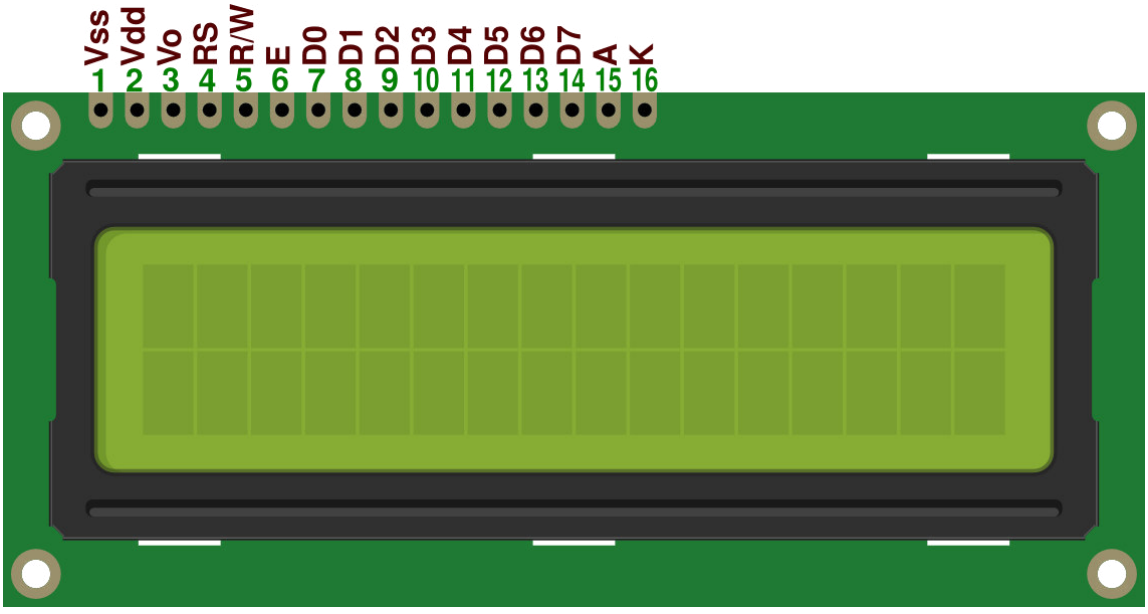

Figura 4.11 Pantalla 16 caracteres x 2 líneas COB LCD

La pantalla LCD (pantalla de cristal líquido) es un módulo de pantalla electrónica. Una pantalla LCD de 16x2 es un módulo muy básico y se usa muy comúnmente en varios dispositivos y circuitos. Estos módulos son preferidos en siete segmentos y otros LED de segmentos múltiples. Las razones son: las pantallas LCD son económicas; fácilmente programable; no tienen ninguna limitación para mostrar caracteres especiales e incluso personalizados.

Una pantalla LCD de 16x2 representa que puede mostrar 16 caracteres por línea y hay 2 de esas líneas. En esta pantalla LCD, cada caracter se muestra en una matriz de 5x7 píxeles. Esta pantalla LCD tiene dos registros, que son, comando y datos.

El registro de comando almacena las instrucciones de comando dadas a la pantalla. Un comando es una instrucción dada a la LCD para realizar una tarea predefinida, como inicializarla, borrar su pantalla, establecer la posición del cursor, controlar la visualización, etc. El registro de datos almacena los datos que se mostrarán en la pantalla. Los datos son el valor ASCII del carácter que se mostrará en la pantalla.

Se eligió esta pantalla ya que solo se prende comprobar la funcionalidad del código y mostrar tres resultados que son, la potencia, la corriente y el voltaje de salida de una de las fases de la turbina, así que es muy práctica para las necesidades que se tienen. En la siguiente tabla se muestra la descripción de cada uno de los pines de la LCD.

Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	V_{SS}	Power supply	Signal ground for LCM
2	V_{DD}		Power supply for logic for LCM
3	V_0		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL
16	LED-		Power supply for BKL

Tabla 4.2.4. Tabla 4.4 Descripción de pines de la interfaz de la pantalla LCD 16x2.

Previo a las pruebas físicas, se realizó la simulación para comprobar el funcionamiento, del arduino con la pantalla y así comprobar las conexiones y el

funcionamiento de los dos componentes, se muestra la simulación a continuación. Figura 4.12.

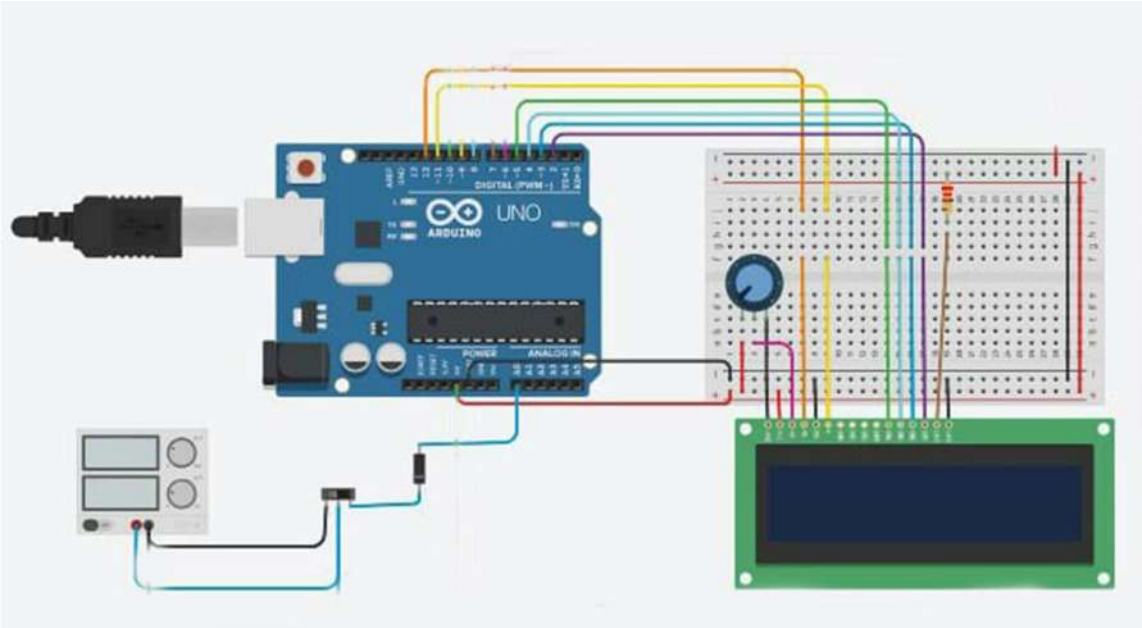

Figura 4.12. Simulación y conexión del arduino con la pantalla LCD.

Posterior a la simulación se realizó la prueba física de la conexión del arduino con la pantala LCD, se comprobó el funcionamiento de tales componentes, con el código anteriormente desarrollado, a continuación se muestra la imagen de la prueba en la pantalla LCD. Figura 4.13.

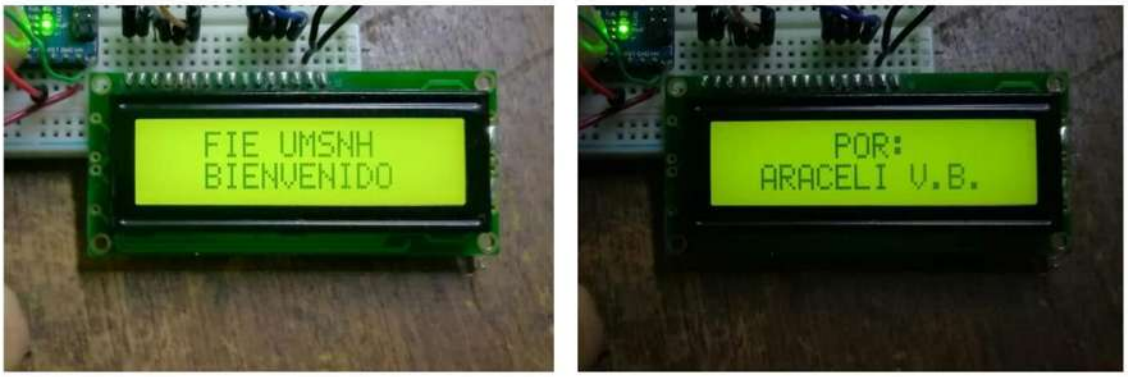

Figura 4.13. Prueba del funcionamiento del arduino y pantalla LCD.

De acuerdo a nuestro código se comprueba que efectivamente el arduino y la pantalla se encuentran conectados de manera correcta y funcionan de la misma forma y el código marcha como se ha programado.

De acuerdo al código realizado se tomaron cinco salidas que representaran el valor de la medición del voltaje de nuestro sensor de efecto hall, esto se llevará a cabo con respecto a la corriente Tabla 4.5, esto quiere decir que por cada salida representara un valor de la corriente como se muestra en la Figura 4.14, esto se llevó a cabo por medio de LED´s, Figura 4.15, solo para comprobar la funcionalidad.

Como se comentó anteriormente los LED´s dependerán de la corriente, en este caso se eligió que se activara cada salida por cada 20 amperes que lea nuestro sensor, como sabemos por cada 1 ampere en la salida nuestro sensor lee una señal de voltaje de 31.7 mV, por lo tanto se activará cada salida alrededor de 0.634 V que detecte el sensor Tabla 4.5, es decir que alrededor de 3.17 V estarán activadas las cinco salidas. Ya que nuestro microcontrolador arduino funciona con 5V de entrada se tiene que tener cuidado de no sobrepasar el voltaje máximo.

Tabla 4.5 Valores lineales de Corriente / Voltaje

Corriente (Amp)	Voltaje (V)
0- 20 Amp	0.634 v
20 – 40 Amps	1.268 v
40 – 60 Amps	1.902 v
60 – 80 Amps	2.536 v
80 - ≥ 100 Amp	3.170 v

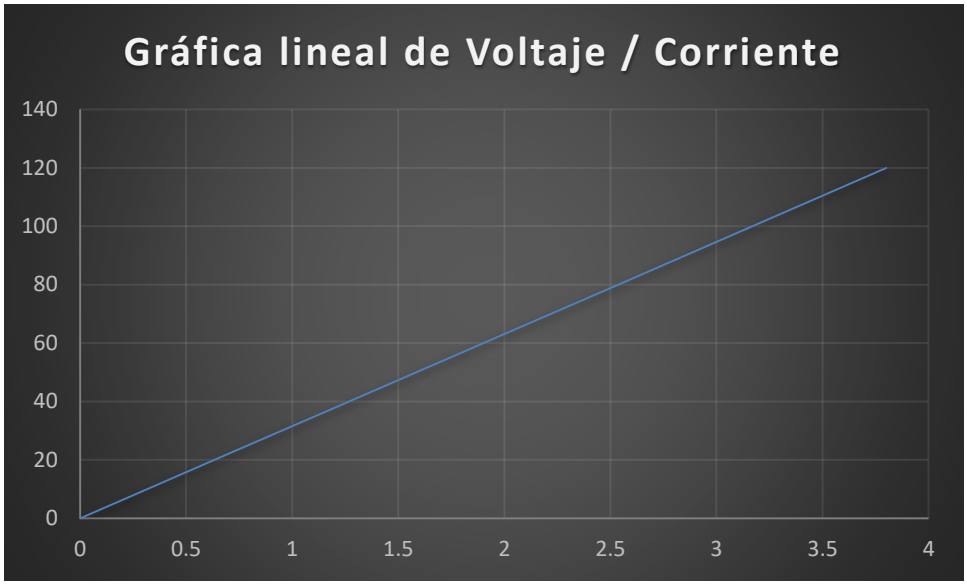

Figura 4.14 Grafica lineal de Voltaje / Corriente

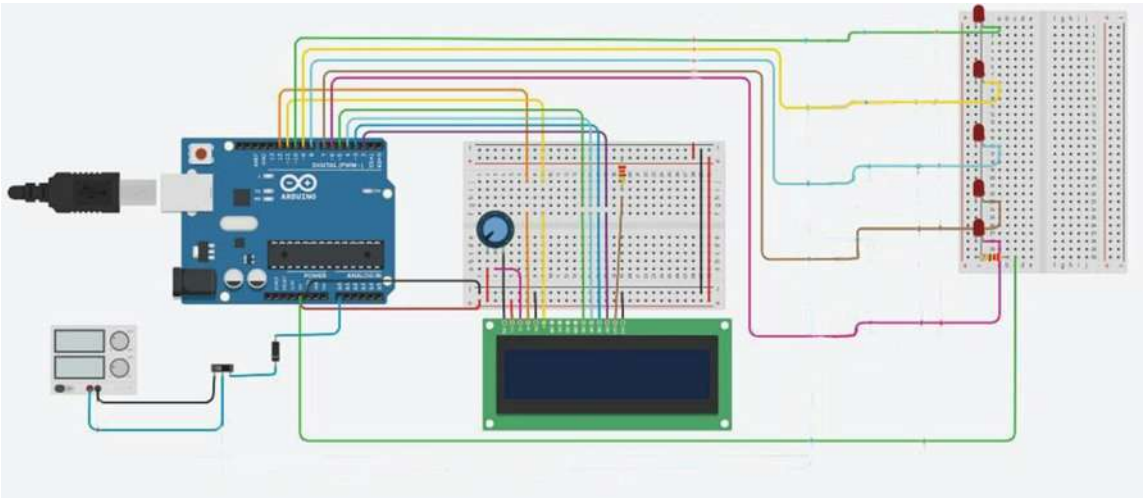

Figura 4.15 Conexión de las salidas del arduino con los LED´s.

Al realizarse las pruebas se pudo comprobar el funcionamiento de las salidas del arduino, se logra ver cómo van encendiendo cada LED con respecto a los 20 amperes que pasan por nuestro sensor, o sea que a los 40 amperes estarán encendidos 2 de nuestros LED´s y así sucesivamente hasta llegar a los 100 amperes o más; el código está diseñado para que cuando supere los 100 amperes estén encendidos los 5 LED´s seleccionados. Figura 4.16 y así se puede cuidar la eficacia del arduino.

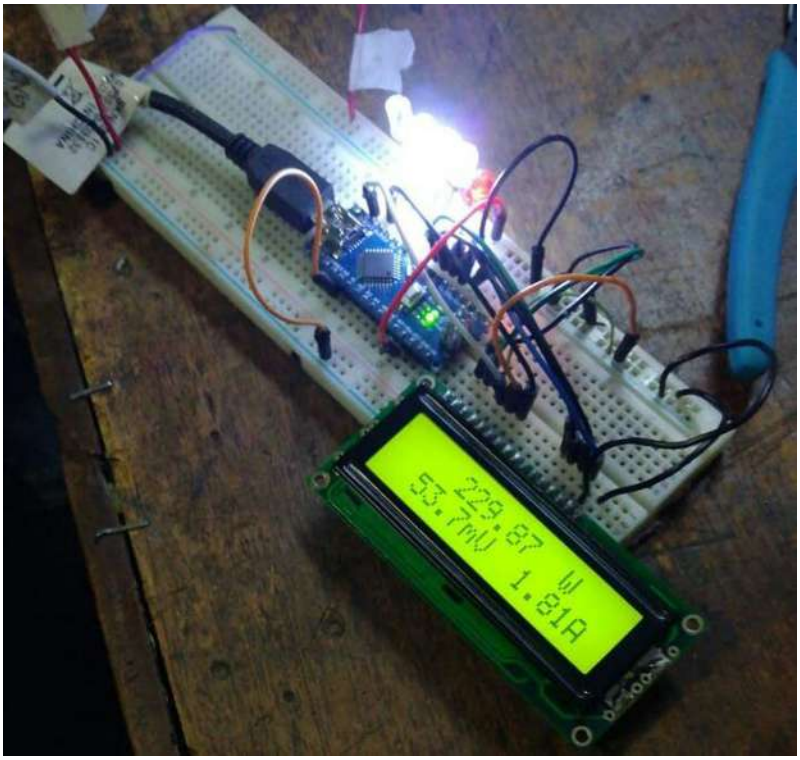

Figura 4.16 Prueba del funcionamiento de las salidas en los LED´s.

Seguido de las pruebas anteriores, se comenzó a planear como se podría instalar el circuito realizado directamente en la turbina. Ya que la velocidad de la turbina Skystream se mediará con respecto a la cantidad de corriente que genera la turbina se optó por la opción de utilizar la tira de luces LED, estas son tiras de iluminación pueden colocarse prácticamente en cualquier lugar ya que tienen la flexibilidad adecuada, practicidad de corte, unión, fácil colocación y un mínimo consumo. Figura 4.17.

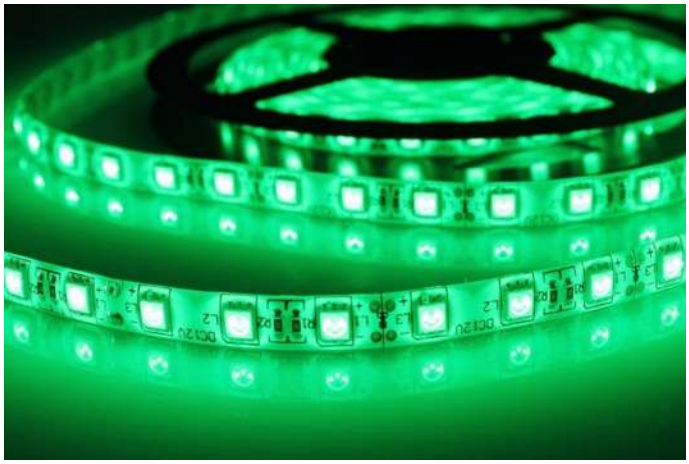

Figura 4.17 Tira de luces LED

Esta tira de LED´s está hecha con LED smd (dispositivos montados en superficie) los cuales contienen de 5 a 6 lúmenes por LED lo cual hace que la iluminación sea relativamente intensa, lo cual permitirá tener un impacto visual a larga distancia de la turbina. La tira cuenta con autoadhesiva lo cual permite que se pueda pegar en casi cualquier lugar, en este caso podrá ayudar para la instalación directa en la turbina. También cuenta con una protección especial de resina para que se pueda proteger del agua y de altas temperaturas. Se utilizará una tira de alrededor de 5 m de largo, la cual tendrá alrededor de 300 LED´s en total, lo que la hace ideal para la necesidad que se tiene.

Para el uso de esta tira es necesario contar con una fuente de 12 volts, esta tira consume alrededor de 24 W ya en los 5 m de tira. Como la salida de arduino no cuenta con la suficiente corriente de salida es necesario colocar algún dispositivo para aumentar la potencia requerida para hacer funcional la tira de LED´s.

En este caso se seleccionó por utilizar relevadores los cuales son dispositivos electromecánicos, Figura 4.18. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes y con diferentes valores de potencia.

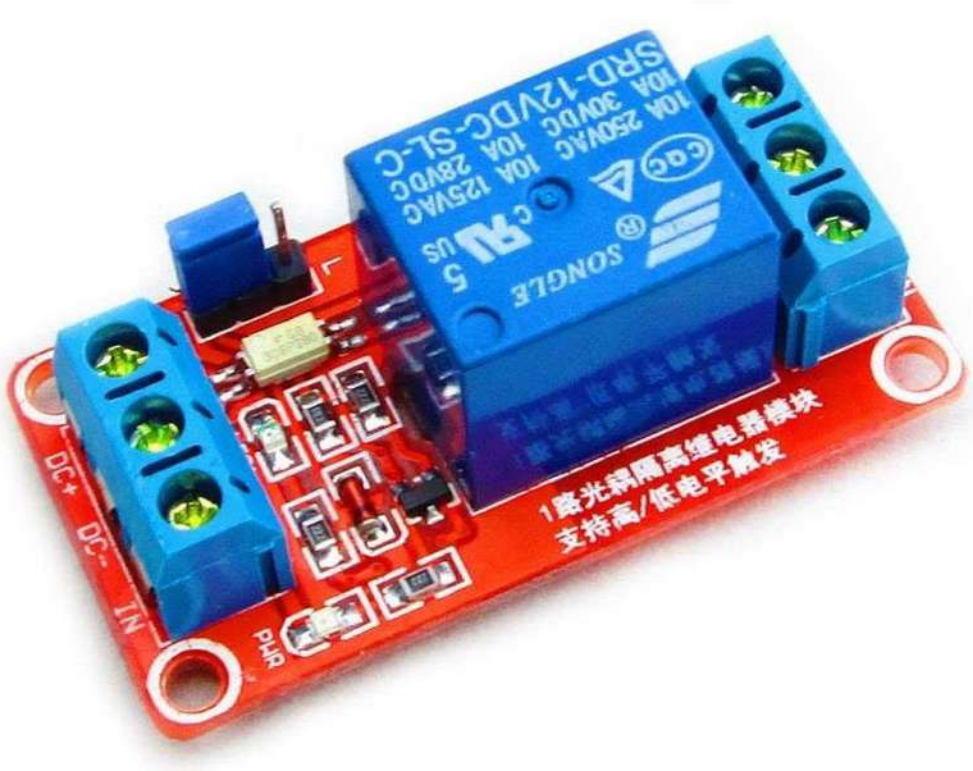

Figura 4.18 Módulo relevador de 5v

Dado que el relevador es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Además de ser un elemento que separa a la etapa de control y a la etapa de potencia para así poder proteger ambos circuitos por si ocurre una falla de corto circuito o sobrecarga en alguno de los dos.

El módulo relevador seleccionado cuenta con las características necesarias para la instrumentación del circuito implementado, el voltaje de funcionamiento del módulo es de 5V, admite disparos de nivel alto y bajo, en CA la carga máxima es de 250 V/10Amp y en CD la carga máxima es de 30V/10Amp, cuenta con una gran capacidad de accionamiento, el rendimiento es estable, la corriente de disparo es de 5mA, tamaño compacto ideal para la instrumentación.

Continuando con la implementación de circuito, contamos con cinco salidas del arduino a las cuales se conectaron directamente los relevadores, uno en cada una de las salidas Figura 2.19, recordando que esto se llevó a cabo para aumenta la potencia en la salida y así poder conectar continuamente la tira de LED´s. Figura 4.20.

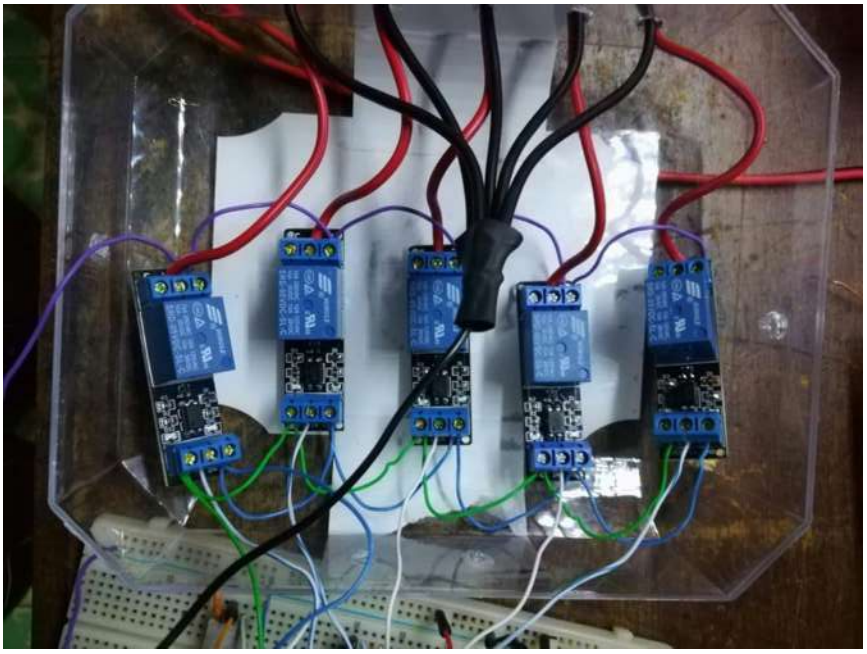

Figura 4.19 Conexión de relevadores

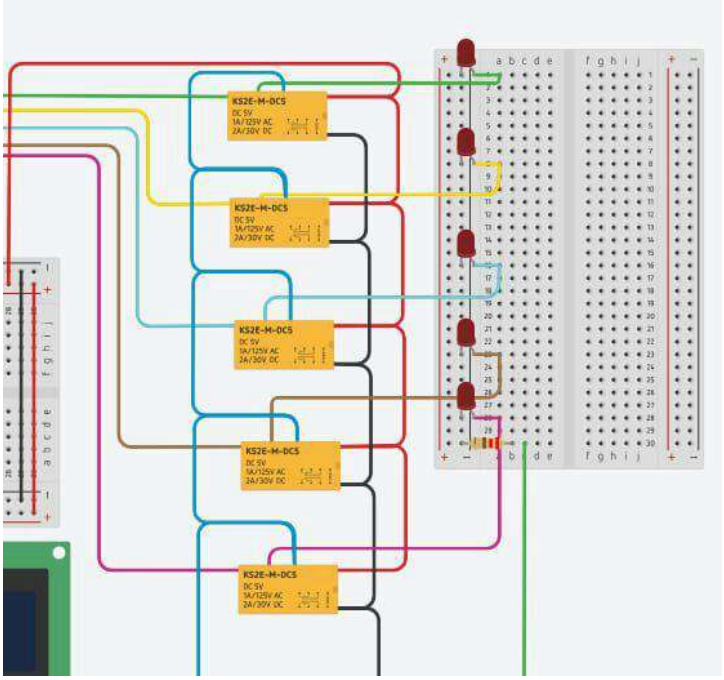

Figura 4.20 Simulación y Conexión de relevadores a los LED´s

Anteponiendo los relevadores se pudo comprobar que efectivamente la funcionalidad de la tira de LED´s funciona perfectamente Figura 4.21

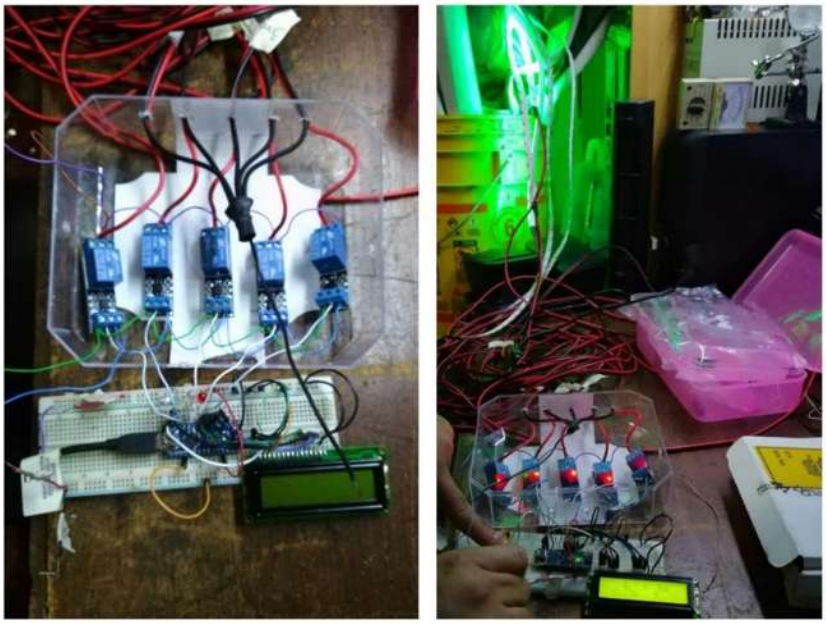

Figura 4.21 Implementación y funcionalidad de relevadores con tira de LED´s

En la Figura 4.22 se muestra la simulación completa del circuito de instrumentación.

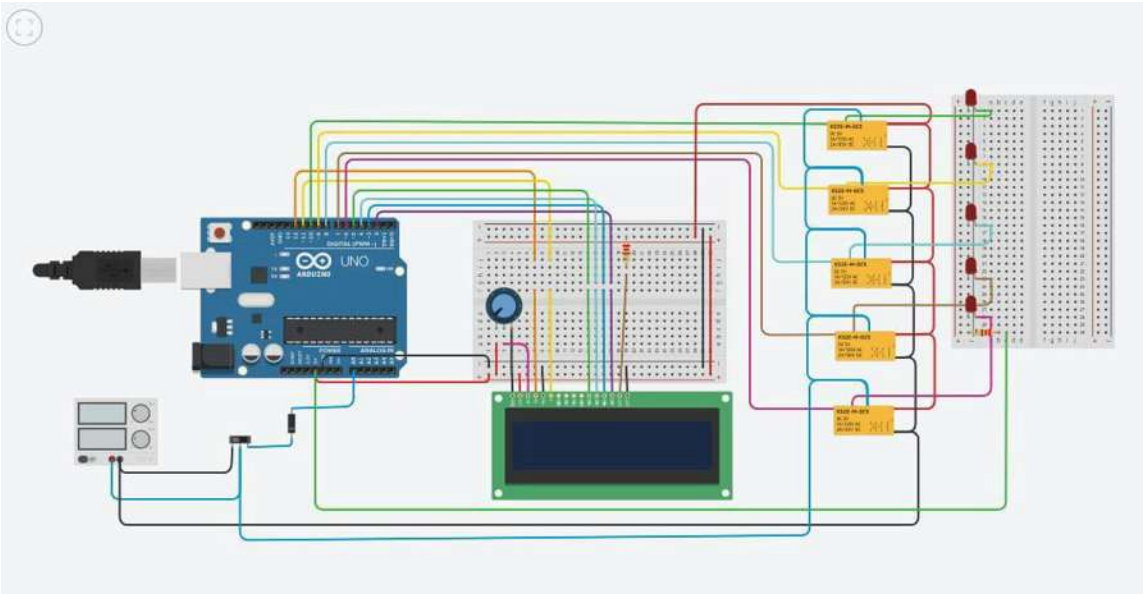

Figura 4.22 Simulación completa del circuito de instrumentación

Posteriormente al terminar con todas las pruebas de funcionamiento de nuestra instrumentación, se prosiguió con la instalación en la turbina Skystream.

A continuación se muestran las pruebas de instalación en la Turbina. Cada una expresa cada uno de las salidas, una tira de LED por cada 10 Amp que pasan por nuestro sensor.

Figura 4.23 Una tira de LED encendida equivalente de 0-20 amp

Figura 4.24 Dos tiras de LED´s encendidas equivalente de 20-40 amp

Figura 4.25 Tres tiras de LED encendida equivalente de 40-60 amp

Figura 4.26 Cuatro tiras de LED encendida equivalente de 60-80 amp

Figura 4.27 Cinco tiras de LED encendida equivalente de >100 amp

Capítulo 5
Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.

Esta tesis se eligió por la necesidad de energía renovable no solo en la Universidad Michoacana, sino en la sociedad en general, esto debido a la falta de proyectos para poder obtener energía limpia por medio del viento, ya que en comparación de algunas ciudades no se logra ver con frecuencia el uso de energía eólica.

En el presente trabajo, designado "Instrumentación de velocidad y potencia de una turbina Skystream" con la evidencia anterior se puede concluir que se cumplieron todos los objetivos planteados en un principio, debido a todo el contenido antepuesto se muestra el proceso completo que se realizó para lograr el diseño e implementación de la instrumentación.

El proyecto se comenzó desde cero, primeramente se realizó un estudio de alrededor de seis meses de la turbina Skystream, esto para lograr ver un poco más del comportamiento de la misma y así poder elegir correctamente cada uno de los elementos electrónicos que se necesitaban para implementar la instrumentación.

Se tuvieron algunos inconvenientes al momento de elegir que elementos, ya que hay demasiados en el mercado, pero se optó por los más adecuados con respecto a calidad y precio, pero también con los que cumplieran las necesidades requeridas. Se eligió un sensor efecto hall para la medición de la corriente, un microcontrolador arduino para realizar la programación, la pantalla LCD para visualizar las mediciones obtenidas, relevadores para elevar la potencia y la tira de LED´s para poder visualizar la velocidad de la turbina.

Otra de las limitaciones que se tuvieron fue la instalación del circuito de instrumentación de velocidad y potencia, esto debido a la complicación que implica subir al último piso de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, ya que se puede decir que es relativamente complicado subir al pie de la turbina Skystream para poder instalar la tira de LED´s, esto debido a el movimiento de la turbina, a los inesperadas ráfagas.

Con los datos y observaciones presentadas se determina que el proyecto de tesis fue exitoso, ya que efectivamente se cumplieron cada uno de los objetivos planteados.

5.2 Recomendaciones.

Para los trabajos futuros se recomienda,

- Mejorar la instrumentación y el equipo de instalación.
- Pedir apoyo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica para poder realizar proyectos con mayor proyección.
- Realizar un estudio a fondo de todas las necesidades de la U.M.S.N.H. para así poder realzar propuestas de energía renovable.

Bibliografía

[1] Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez.

[2] Control de la calidad de potencia en sistemas de conversión de energía eólica

[3] Fuentes de energía, renovable y no renovable, Aplicaciones. Juan Carlos Vega de Kuyper, Santiago Ramírez Morales.

[4] https://www.ipcc.ch/report/ar5/index_es.shtml

[5] Energías Renovables, Luis Merino.

[6]https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos.pdf

[7] http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10(1)1-18.pdf

[8] Energías Renovables una perspectiva ingenieril, Omar Guillen Solís.

[9] Energía Renovable, tecnología de punta para utilizar otras fuentes de energía, Jennifer Carless.

[10] https://www.skystreamenergy.com/about

[11] https://www. SOUTHWEST-WINDPOWER-SKYSTREAM-3.6-ficha-ES.pdf

[12] https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_1.pdf

[13] https://www.ecured.cu/

[14] https://definicion.de/

[15] https://es.wikipedia.org

[16] http://arduino.cl/que-es-arduino/

[17] http://www0.unsl.edu.ar/~interfases/labs/lab09.pdf

[18] https://www.engineersgarage.com/electronic-components/16x2-lcd-module-datasheet

[19] https://www.dirind.com/dae/

Apéndice A

Software desarrollado

```
// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>

// initialize the library by associating any needed LCD interface pin
// with the arduino pin number it is connected to
const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

int sensorPin = A0;    // sensor de corriente
int sensorValue = 0;
float voltaje,corriente,potencia,PhaseVoltage;
int x;

int sensorPin2 = A1;    // sensor de voltaje
int sensorvoltage = 0;


const int ledPin0 =  10;      // the number of the LED pin
const int ledPin1 =  9;      // the number of the LED pin
const int ledPin2 =  8;      // the number of the LED pin
const int ledPin3 =  7;      // the number of the LED pin
const int ledPin4 =  6;      // the number of the LED pin
```

```
void setup() {
pinMode(ledPin0, OUTPUT);
pinMode(ledPin1, OUTPUT);
pinMode(ledPin2, OUTPUT);
pinMode(ledPin3, OUTPUT);
pinMode(ledPin4, OUTPUT);

  voltaje=0;
  corriente=0;
  potencia=0;
  x=0;



  lcd.begin(16, 2);               //inicializa display

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("   FIE UMSNH    ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("   BIENVENIDO   ");
  delay(3000);                    //espera 3 segundos

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("      POR:      ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("  ARACELI V.B.  ");
  delay(3000);

  lcd_clear();
}


void lcd_clear(){
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("                ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("                ");
  }


void loop() {
```

```
/*************************************
 MUESTRA TODO EN UNA SOLA PANTALLA
*************************************/
sensorvoltage=analogRead(sensorPin2);
PhaseVoltage=sensorvoltage*0.03937;  //considerando el max val como 127v  (5/val_max)
sensorValue = analogRead(sensorPin);
voltaje=sensorValue*0.004887;       //convierte valor digital a voltaje de entrada (5/1023)
corriente=voltaje/0.0297;           //convierte voltaje del sensor a corriente que circula
potencia=PhaseVoltage*corriente;

if (potencia<1000){
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print(potencia);
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print(" W");
}



else{
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print(potencia/1000);
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print("KW");
}



if (voltaje<1){
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(voltaje*1000);
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print("mV");
}
else{
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(voltaje);
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print("V ");
  }

lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(corriente);
lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print("A ");
```

```
/**********************************
          Enciende LEDs
 **********************************/

 if(corriente>0 && corriente<20){
  digitalWrite(ledPin0, LOW);
  digitalWrite(ledPin1, HIGH);
  digitalWrite(ledPin2, HIGH);
  digitalWrite(ledPin3, HIGH);
  digitalWrite(ledPin4, HIGH);
  }

   if(corriente>20 && corriente<40){
  digitalWrite(ledPin0, LOW);
  digitalWrite(ledPin1, LOW);
  digitalWrite(ledPin2, HIGH);
  digitalWrite(ledPin3, HIGH);
  digitalWrite(ledPin4, HIGH);
  }




   if(corriente>60 && corriente<80){
  digitalWrite(ledPin0, LOW);
  digitalWrite(ledPin1, LOW);
  digitalWrite(ledPin2, LOW);
  digitalWrite(ledPin3, HIGH);
  digitalWrite(ledPin4, HIGH);
  }

   if(corriente>80 && corriente<100){
  digitalWrite(ledPin0, LOW);
  digitalWrite(ledPin1, LOW);
  digitalWrite(ledPin2, LOW);
  digitalWrite(ledPin3, LOW);
  digitalWrite(ledPin4, HIGH);
  }

   if(corriente>=100){
 digitalWrite(ledPin0, LOW);
  digitalWrite(ledPin1, LOW);
  digitalWrite(ledPin2, LOW);
  digitalWrite(ledPin3, LOW);
  digitalWrite(ledPin4, LOW);
  }

}
```