



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR

Erick Brayan Fino Muñoz

Asesorado por el Ing. Fredy Ademar Ordoñez Alonzo

Guatemala, enero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK BRAYAN FINO MUÑOZ

ASESORADO POR EL ING. FREDY ADEMAR ORDOÑEZ ALONZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, ENERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fredy Ademar Ordoñez Alonzo
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruíz
EXAMINADOR	Ing. José Anibal Silva de Los Angeles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 28 de mayo de 2014.



Erick Brayan Fino Muñoz

Guatemala 17 de octubre de 2014

Ingeniero
Silvio Rodríguez
Coordinador Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Silvio Rodríguez:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que en conformidad con el cumplimiento con lo resuelto por la dirección de Escuela, se procedió a la asesoría y revisión del proyecto de EPS de seis meses cuyo informe es el trabajo de graduación titulado "DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR" , desarrollado por el estudiante universitario Erick Brayan Fino Muñoz, con numero de carné 2000 11809.

Este trabajo a ser presentado por el estudiante, se ha desarrollado cumpliendo con los requisitos, tomando en cuenta las recomendaciones de asesoría, por lo tanto considero que cubre los objetivos del estudio planteado, habiendo proyectado criterios de ingeniería en su desarrollo.

En tal sentido me permito informarle que encuentro satisfactorio el trabajo realizado y lo remito a usted para los tramites respectivos.

Sin otro particular me despido, atentamente,


Ing. Fredy Ademar Ordoñez Alonzo
Ingeniero Electrónico
Colegiado 9902
Asesor
Fredy Ademar Ordoñez Alonzo
Ingeniero Electrónico
Colegiado 9902



Guatemala, 17 de noviembre de 2014.
Ref.EPS.DOC.1136.11.14.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Erick Brayan Fino Muñoz** de la Carrera de Ingeniería Electrónica, con carné No. **200011809**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
KIER/ra



Guatemala 17 de noviembre de 2014.

Ref.EPS.D.677.11.14.

Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Puentes Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Erick Brayan Fino Muñoz**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Fredy Ademar Ordoñez y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruíz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS

SJRS/ra



Ref. EIME 59. 2014

Guatemala, 4 de NOVIEMBRE 2014.

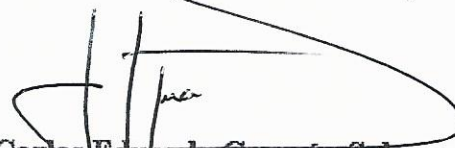
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR, del estudiante, Erick Brayan Fino Muñoz , que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑADA TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



STO



REF. EIME 59. 2014.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ERICK BRAYAN FINO MUÑOZ titulado: DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 26 DE NOVIEMBRE 2,014.



DTG. 015.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN REGISTRADOR DE DATOS ELECTRÓNICO DE LAS VARIABLES A MEDIR, PARA DETERMINAR EL POTENCIAL EÓLICO Y LA PROYECCIÓN DEL COSTO DEL REGISTRADOR DE DATOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR**, presentado por el estudiante universitario **Erick Brayan Fino Muñoz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Récinos
Decano

Guatemala, 23 de enero de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el ser supremo que se manifiesta en todos los órdenes de nuestra vida y permitirme concluir esta carrera.
- Mi madre** Elba Concepción Muñoz, por ser la que me trajo al mundo y que me inculcó principios y valores de la mejor manera, con el ejemplo.
- Mi padre** Mario René Fino (q.e.p.d.), por enseñarme que todo trabajo que se sufre es el que mejor se disfruta.
- Mi esposa** Blanca Estela Morales. Por darme dos de las más grandes razones de importante influencia durante el clímax de la carrera.
- Mis hijos** Bryan Ismael y Brian René Fino. Por ser dos ángeles a mi vida.
- Mis hermanos** David, Jonny (q.e.p.d.), Geovany, Mario y Elizabeth Fino, por haber compartido conmigo tantos años.
- Mis tíos** Amarildo Muñoz y Carlos Fino. Por ser los pioneros en la trascendencia familiar.

Mi familia en general

Tíos, tías, primos, primas y demás familia con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser una importante influencia en mi carrera,
entre otras cosas.

Facultad de Ingeniería

Por permitirme cultivar mis conocimientos y
cosechar los de sus profesionales.

Mis amigos

Aquellos que se quitaron la camisa por mí y que
me apoyaron.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Información general del ITUGS	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Misión	3
1.1.3. Visión.....	4
1.2. Descripción general del proyecto	4
1.2.1. Definición	4
1.2.2. Áreas de posible aplicación dentro del ITUGS	6
2. FUNDAMENTOS DE EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA SELECCIONADA	9
2.1. Origen del viento	9
2.1.1. Razones globales	10
2.1.2. Razones locales	11
2.1.2.1. Viento local del mar y tierra	12
2.1.2.2. Viento local de ladera de montaña	13
2.1.2.3. Viento local orográfico (Efecto Fôhen)	13
2.2. Evaluación del recurso eólico	14

2.2.1.	Variables relacionadas	15
2.2.1.1.	Velocidad y dirección del viento	15
2.2.1.1.1.	Cálculo de la velocidad	17
2.2.1.1.2.	Cálculo de la dirección del viento	21
2.2.1.2.	Temperatura.....	23
2.2.1.3.	Humedad.....	24
2.2.1.4.	Presión	26
2.2.1.4.1.	Cálculo de la presión.....	27
2.3.	Tratamiento de los datos eólicos.....	29
2.3.1.	Potencia del viento	29
2.3.2.	Densidad del viento	32
2.3.3.	Distribución estadística del viento	35
2.3.4.	Rosa del viento.....	38
2.3.5.	Cálculo de la variación del viento con la altura.....	39
2.3.6.	Procesamiento de datos con PROCSED.....	40
2.3.6.1.	Generalidades de PROCSED.....	41
2.3.6.1.1.	Perfil vertical de viento	46
2.3.6.1.2.	Rosa de los vientos.....	50
2.3.6.1.3.	Frecuencia y duración de la velocidad del viento	51
2.3.6.1.4.	Potencial eólico en función de la altura.....	54
2.4.	Criterios generales del viento para la selección del emplazamiento.....	57

3.	CARACTERIZACIÓN DE LOS SENSORES UTILIZADOS PARA LA LECTURA DE LAS VARIABLES DE LA EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO.....	61
3.1.	Sensor de efecto Hall	61
3.2.	Sensor de humedad y temperatura digital DHT22.....	62
3.3.	Sensor de altitud y presión MPL3115A2	64
3.4.	Estación meteorológica (Weather Meters) de Sparkfun	66
4.	DISEÑO DEL REGISTRADOR DE DATOS	73
4.1.	Aplicaciones	74
4.2.	Funcionamiento general	74
4.3.	Conceptos básicos	75
4.3.1.	Estandarización	75
4.3.2.	Tecnología propuesta para implementar el registrador de datos.....	76
4.4.	Criterios de construcción	78
4.4.1.	Materiales utilizados	79
4.4.2.	Características de tamaño y energía	80
4.4.3.	Circuito impreso.....	81
4.5.	Diagrama a bloques	82
4.6.	Configuración general.....	83
4.7.	Software de programación y diseño	89
4.7.1.	Software de desarrollo.....	90
4.7.2.	Software del grabado del código fuente del registrador de datos.....	93
4.7.3.	Código fuente del registrador de datos.....	95
4.7.3.1.	Declaración de librerías	95
4.7.3.2.	Declaración de variables y asignación de puertos.....	96

4.7.3.3.	Configuraciones previo a ejecutar el programa principal.....	101
4.7.3.4.	Definición de funciones	103
4.7.3.5.	Programa principal	109
4.8.	Software para el acceso a datos almacenados en el registrador de datos	110
4.8.1.	Lenguaje de programación Delphy.....	110
4.8.2.	Código fuente del programa de comunicación	116
5.	COSTE DEL REGISTRADOR DE DATOS	133
5.1.	Costos de construcción	133
5.1.1.	Dispositivos y materiales	133
5.1.2.	Equipo y herramientas	134
5.1.3.	Mano de obra de la construcción e instalación.....	135
5.2.	Costos de mantenimiento.....	136
5.3.	Costo total de proyecto	136
	CONCLUSIONES.....	137
	RECOMENDACIONES	139
	BIBLIOGRAFÍA.....	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Arduino Mega 2560	5
2.	Atlas de radiación solar	10
3.	Movimiento global del viento	11
4.	Viento entre mar y tierra.....	12
5.	Viento ladera montaña	13
6.	Anemómetro de cazoletas hemisféricas.....	16
7.	Anemómetro de cazoletas semicónicas.....	16
8.	Veleta de dirección del viento	17
9.	Diagrama de fuerzas del anemómetro	18
10.	Conexión de los interruptores magnéticos de posición	22
11.	Símbolo de termistores	24
12.	Higrómetro capacitivo.....	25
13.	Barómetro meteorológico	27
14.	Esquema del sensor piezorresistivo.....	28
15.	Conexión de resistencias piezorresistivas.....	28
16.	Gráfica de velocidad contra potencia	32
17.	Densidad espectral de la velocidad del viento	36
18.	Rosa de viento	38
19.	Variación vertical del viento.....	40
20.	Pantalla de inicio de PROC SHED V 1.0.....	42
21.	Pantalla principal de PROC SHED V 1.0.	43
22.	Pantalla de ayuda de PROC SHED V1.0.....	44
23.	Ayuda de configuración PROC SHED V1.0	44

24.	Ayuda de base de datos PROCSHED V1.0.....	45
25.	Módulo PERVEVI.....	46
26.	Pantalla de ingreso de datos del Módulo PERVEVI.	47
27.	Pantalla del Módulo PERVEVI.....	48
28.	Gráfico del Módulo PERVEVI.	49
29.	Módulo ROVI	50
30.	Tabla de resultados y gráficos del Módulo ROVI.....	51
31.	Módulo FREDUVI	52
32.	Tabla de resultados del Módulo FREDUVI	53
33.	Gráfico del Módulo FREDUVI	54
34.	Pantalla de ingreso del Módulo PEFUAL.....	55
35.	Gráfico del potencial eólico del Módulo PEFUAL	56
36.	Esquema interno del UGN3119	62
37.	Sensor de humedad digital DHT22	63
38.	Barómetro	65
39.	Estación meteorológica de Sparkfun	66
40.	Pluviómetro de la estación Sparkfun.....	67
41.	Anemómetro de copas de las estación Sparkfun.....	68
42.	Veleta de dirección de la estación Sparkfun	69
43.	Posiciones que puede tomar la veleta	70
44.	Divisor de tensión el sensor de la dirección.....	71
45.	Dispositivos discretos	77
46.	Placas de desarrollo con microcontrolador	78
47.	Dimensiones de placa y alimentación.....	81
48.	PCB de Arduino MEGA 2560.....	82
49.	Esquema de conexión del registrador de datos.....	83
50.	Selección del puerto de comunicación.....	84
51.	Configuración de la velocidad de transmisión.....	85
52.	Formato de la trama de transmisión	86

53.	Habilitación del control por software	87
54.	Habilitación del control por hardware	88
55.	Archivo de registro de actividades del software	89
56.	Presentación del IDE Arduino	90
57.	Selección de la tarjeta Arduino.....	91
58.	Selección del puerto de comunicación al Arduino.....	92
59.	Botón de verificación del programa.....	93
60.	Botón de descarga del software al Arduino.....	94
61.	Entorno de programación Delphy.....	111
62.	Menú principal.....	111
63.	Barra de herramientas.....	112
64.	Formulario	113
65.	Inspector de objetos.....	114
66.	Eventos	115
67.	Estructura del Form1 del programa.....	118

TABLAS

I.	Temperaturas relacionadas con el automóvil.....	7
II.	Posiciones posibles de la veleta de la estación Sparkfun	23
III.	Constantes para ecuación de compresibilidad.....	35
IV.	Clases y longitudes de rugosidad	40
V.	Posiciones posibles de la veleta	72
VI.	Costo de dispositivos y materiales	134
VII.	Costo de equipo y herramienta	135
VIII.	Costo total del proyecto.....	136

GLOSARIO

ADC	Conversión analógica-digital (CAD) o digitalización consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales.
Anabático	Viento que sopla ascendentemente por una pendiente montañosa.
Barlovento	Ladera de un relieve o región, orientada hacia el lugar dónde procede el viento.
Catabático	Viento que cae en el seno de una atmósfera estable, sea cual sea la causa que lo hace partir de un nivel más elevado.
DAC	Conversor de señal digital a analógica o conversor digital analógico.
Efecto Hall	Se conoce como efecto Hall a la aparición en el interior de un conductor de un campo eléctrico por separación de cargas que también es perpendicular al movimiento de las cargas y al campo magnético aplicado.

Fuerza de Coriolis	La fuerza de Coriolis es una fuerza ficticia que aparece cuando un cuerpo está en movimiento con respecto a un sistema en rotación y se describe su movimiento en ese referencial.
I²C	Bus de comunicaciones en serie. Su nombre viene de Inter-Integratedcircuit (Inter-Circuitos Integrados)
MEMS	Tecnología electromecánica, micrométrica y sus productos, y a escalas relativamente más pequeñas (escala manométrica)
OPT	Coefficiente de calibración.
Orografía	Refiere tanto a las elevaciones que puedan existir en una zona en particular (región, país y otros).
Piezorresistivo	Propiedad de algunos materiales conductores y semiconductores, cuya resistencia eléctrica cambia cuando se los somete a un esfuerzo o estrés mecánico (tracción o compresión) que los deforma.
Polímetro	Instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y potenciales (tensiones) o pasivas como resistencias, capacidades y otras, también llamado multímetro.

Pulverulentos	Dicho de un tallo, una hoja que tiene un aspecto como de estar cubierto de polvillo fino, que a menudo corresponde a secreciones c�reas, papilas y otras.
Rayleigh	En la teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de Rayleigh es una función de distribución continua.
Sotavento	En mont�a, ladera de un relieve o región, al resguardo del lugar de procedencia del viento.
Weibull	En teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua.

RESUMEN

En el Instituto Tecnológico Guatemala Sur, se cuenta actualmente con equipo para la adquisición de datos pero que no son adaptables a las necesidades de los laboratorios del Tecnológico, por lo tanto tomando en cuenta que este centro de educación superior, debe estar a la vanguardia con respecto a la investigación y aplicación de las tecnologías, se hicieron los estudios necesarios para el diseño de un dispositivo electrónico capaz de realizar lecturas de la velocidad y dirección del viento, temperatura, presión y humedad del ambiente, para que a futuro estos datos sean decisivos en el cálculo del potencial eólico del área.

Es urgente contar con el diseño del registrador para para el centro tecnológico, debido a que actualmente no cuentan con dicho sistema que les permita realizar análisis de los fenómenos antes mencionados.

El estudio para la realización de este proyecto se enmarca dentro de lo que el programa de EPS y la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica persiguen, para poder aplicar los conocimientos técnicos y de ingeniería que se requieren.

El diseño contempla la construcción de un sistema registrador de datos para la evaluación del potencial eólico y el costo del mismo, como primera etapa contemplada aquí y señalamiento de aplicaciones dentro de los laboratorios del tecnológico.

OBJETIVOS

General

Diseñar un registrador de datos electrónico al Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, para establecer una estadística de las condiciones climáticas del área dónde se encuentra ubicado.

Específicos

1. Mostrar los antecedentes de la institución y del proyecto.
2. Definir los fundamentos teóricos para la evaluación del potencial eólico en el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.
3. Caracterizar los dispositivos sensores utilizados en el diseño.
4. Proponer el diseño del registrador de datos electrónico.
5. Calcular los costos generales del sistema electrónico.

INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno la tecnificación de los medios productivos de energía renovable, es parte importante para cubrir la necesidad de energía en áreas rurales, con dificultades para poder instalar la energía de generación comercial y por ser principalmente de menor impacto ambiental.

Con la necesidad de optimizar los recursos en Guatemala deben existir entidades que se dediquen al estudio de la generación de dicho recurso, pero, hay algunos lineamientos que se deben cumplir para poder contar con la inversión económica necesaria, para la construcción de la infraestructura de las granjas de generación eólicas.

Los lineamientos o requisitos son aquellos que permitan obtener las condiciones apropiadas de viento y condiciones ambientales; en este caso específico evaluar si los mínimos y máximos, turbulencias del viento y la humedad del ambiente son apropiadas para la generación y para las selección de los aerogeneradores.

Establecer un valor actual del proyecto para tener un parámetro de referencia, para el costo beneficio de tener un sistema registrador de datos adaptable o modificable a las necesidades del tecnológico.

1. ANTECEDENTES

1.1. Información general del ITUGS

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS) busca mantener una calidad, reflejada en su visión y misión, por lo que hacerla permite hacer coincidir el proyecto con las cualidades de la institución, además presenta una breve reseña que llevaron a la creación del instituto.

1.1.1. Historia

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur surgió por iniciativa del Gobierno de la República de Guatemala en el período 2000-2004, contó con el apoyo del Gobierno de Taiwán a través de un crédito para iniciar la construcción de las edificaciones y la compra del equipo de laboratorio. La inversión en instalaciones y equipamiento de este centro educativo en el 2003 fue de Q 80 millones; Q 64 millones provenientes del préstamo de la república de China en Taiwán y un aporte de Q16 millones del Fondo Nacional para la Paz (FONAPAZ) mediante Acuerdo Gubernativo 43-2003. Con fecha 14 de febrero del 2003, se llevó a cabo con aprobación del congreso de la república de Guatemala, la creación del marco legal del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, se localiza en el kilómetro 45 antigua ruta a Escuintla, en el municipio de Palín, departamento de Escuintla, en una porción de la finca Jurún Marinalá, donada por el Instituto

Nacional de Electrificación (INDE), por medio de Acuerdo Gubernativo 538-2003, con fecha 7 de octubre de 2003.

Resultado de las gestiones realizadas por el Dr. Carlos Estuardo Gálvez Barrios, rector magnífico de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el presidente de la República, Ing. Álvaro Colom Caballeros, acordó el traslado del Instituto Tecnológico Guatemala Sur a la Universidad de San Carlos de Guatemala, mediante el convenio de cooperación interinstitucional número (CCI 7-2009) celebrado entre el Fondo Nacional para la Paz (FONAPAZ) y la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) para uso del bien inmueble, sus instalaciones, equipo y demás muebles de referido Instituto, con el propósito de abrir una nueva vía de formación que permita a los estudiantes egresados del citado Instituto, en un tiempo menor integrarse a diversas actividades productivas, sin perder de vista en todo momento, la necesidad de una permanente reflexión para lograr la capacidad de adaptarse a un ambiente tecnológico en constante cambio, sea por su propia evolución o por la transformación del mismo.

Por medio de Acuerdos de Rectoría Núms. 0718 y 0936-2008 de fechas 24 de abril y 21 de mayo, respectivamente, por medio de los cuales el señor rector Carlos Estuardo Gálvez Barrios, nombró la comisión que tuvo a su cargo sistematizar y ejecutar el traslado de la infraestructura, bienes y equipo del Instituto Tecnológico Guatemala Sur a la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como realizar el análisis, evaluación y diseño del currículo de estudios de las carreras que se impartirán en dicha unidad académica.

Mediante Acuerdo Gubernativo 343-2009, con fecha 22 de diciembre del 2009, se acordó transferir la propiedad sin pago a favor de la Universidad de San Carlos de Guatemala, de las fincas rústicas inscritas en el registro general

de la propiedad de la zona central, ubicadas en la aldea San Cristóbal, municipio de Palín, departamento de Escuintla, cuya extensión es de 17 hectáreas.

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur otorgará los títulos inicialmente a nivel Técnico Universitario, aprobados por el Consejo Superior Universitario en el acta 26-2008 de fecha 22 de octubre de 2008, con posibilidades de elevar esta formación a nivel de grado y posgrado.

El Instituto desarrolla seis carreras técnicas universitarias, siendo estas: Técnico Universitario en Procesos de Manufactura, Técnico Universitario en Metal Mecánica, Técnico Universitario en Electrónica, Técnico Universitario en Refrigeración y Aire Acondicionado, Técnico en Producción Alimentaria y Técnico Universitario en Mecánica Automotriz.

Cuenta para cumplir con sus objetivos con un campus que contempla seis módulos en donde se ubican los distintos laboratorios, talleres, aulas y área administrativa. La capacidad instalada de atención para estudiantes es de 720 alumnos por jornada, distribuidos en las diferentes carreras.

1.1.2. Misión

“Somos responsables de la formación teórica-práctica y la educación profesional en las áreas tecnológicas, con una perspectiva integral que requiera de una eficiente educación superior técnica, de alto rendimiento y competitividad, en concordancia con el desarrollo humanístico y ético que le permite complementar su formación ciudadana y competitiva con la construcción de un país democrático y abierto a las diferencias culturales.”

1.1.3. Visión

“Ser el instituto de mayor desarrollo y reconocimiento en la región centroamericana por los técnicos-profesionales que egresan en la diferentes áreas, por su valor estratégico en el desarrollo social y económico de las diferentes comunidades, empresas y sector público, en el marco de un perspectiva del desarrollo humano, ambiente sostenible y del mandato de la excelencia académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.”

1.2. Descripción general del proyecto

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur por ser una institución orientada a la educación e investigación de tecnologías y sus aplicaciones pretende realizar aportaciones en el área de las energías renovables, específicamente en el de energía eólica, por lo que es de suma importancia la adquisición de un equipo que permita realizar la recolección y registro de los datos, para la futura evaluación del recurso energético en las instalaciones del ITUGS.

Como primer paso ha decidido obtener el diseño de un registrador de datos, que se adapte a las necesidades actuales y que permita modificaciones futuras dentro de la misma institución.

1.2.1. Definición

Un registrador de datos (*data logger*) es un dispositivo electrónico que almacena datos en el tiempo, por medio de sensores conectados externamente. El sistema se basa en la tecnología de placas de desarrollo Arduino (Mega

2560) basado en microcontroladores AVR ATMEGA 2560 con amplias características que permitirán futuras modificaciones.

Figura 1. **Arduino Mega 2560**



Fuente: *Electronicswathermeters*. http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3_Front_450px.jpg. Consulta: 15 de junio de 2014.

El sistema pretende ser compacto, con pilas, portátil y con memoria interna para almacenamiento de los datos obtenido en los sensores. El diseño del registrador de datos deberá contar con comunicación a la computadora personal, para cargar configuración básica como la fecha en que inicia la operación, tiempo de muestreo y configuración básica de comunicación entre la computadora y el registrador de datos además de proponer el software PROCSHED V1.0 para el análisis de los datos obtenidos del registrador.

El registrador de datos es planeado para tener la capacidad de recopilar automáticamente datos las 24 horas del día. Tras la activación, el registrador de datos podrá trabajar sin vigilancia para censar y registrar la información proveniente de los 5 sensores acoplados al Arduino, tras el período que se desee establecer. Permitiendo una visión global y precisa de las condiciones

ambientales, objeto bajo estudio, tales como la temperatura, presión, velocidad, dirección y la humedad.

1.2.2. Áreas de posible aplicación dentro del ITUGS

El ITUGS por ser una institución educativa en las áreas técnicas de electrónica, mecánica, metalmecánica, refrigeración y aire acondicionado y procesos de alimentos, tiene la necesidad de instrumentos de medición de las variables ambientales indicadas en la definición del proyecto.

El registrador de datos permitirá tener un dispositivo de propósito general para los laboratorios que en un futuro pueda ser modificado a conveniencia del ITUGS.

El laboratorio de electrónica cuenta con bloques de entrenamiento en las estaciones de trabajo, que muestran el funcionamiento de dispositivos sensores de temperatura, presión, tensión y otros que conectan a una microcomputadora indicadora de la relación de la variable del entorno, con la dificultad de no ser portable ni autónoma para almacenar datos. La medición de temperatura en las estaciones de trabajo suele ser un instrumento que otorga el beneficio del conocimiento técnico, al poder medir la temperatura de dispositivos electrónicos, microprocesadores, tiristores de control de potencia y piezas mecánicas que necesitan ser controladas para el buen funcionamiento de los sistemas.

El laboratorio de mecánica automotriz es un área dónde se requiere la medición de temperaturas en distintas áreas de del automóvil, por lo que el Registrador de Datos diseñado permitirá como una primera opción para la

aplicación del censado de temperatura, dentro del automóvil en las áreas indicadas en la tabla I.

Tabla I. **Temperaturas relacionadas con el automóvil**

Temperaturas en el automóvil	
Punto de medición	magnitud en °C
Aire de admisión / sobrealimentación	- 40.....170
Aire ambiente	- 40.....60
Habitáculo	- 20.....80
Ventilación / calefacción	- 20.....60
Evaporador (acondicionador de aire)	- 10.....50
Agua refrigerante	- 40.....130
Aceite motor	- 40.....170
Batería	- 40.....100
Combustible	- 40.....120
Aire de los neumáticos	- 40.....120
Gases de escape	100.....1000
Pinza de freno	- 40.....2000

Fuente: *Temperaturas relacionadas con el automóvil*.<http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores7.htm>. Consulta: 15 junio de 2014.

También se puede tener como una segunda aplicación la medición de la presión del automóvil, como una medida del funcionamiento de algunas piezas del automóvil como la presión de admisión o de sobrealimentación, presión de frenado, presión de resorte neumático, presión de neumáticos, presión de alimentación hidráulica, presión de amortiguadores, presión del agente frigorífico y presión de modulación, estos como ejemplo de posibles fuentes de aplicación del registrador de datos dentro del área de mecánica, después de las modificaciones apropiadas. En área de Procesos de alimentos el control de la temperatura juega un papel importante, pues la temperatura es un factor que puede alterar gravemente la seguridad de los alimentos. Por ello, en la

producción se busca el control de este parámetro durante el transporte y almacenado de los productos. Medir la temperatura durante todo el proceso de elaboración de alimentos, desde el inicio hasta su consumo, es una garantía de calidad para el producto. Por lo que el registrador de datos resulta un instrumento de suma importancia para el control periódico de la temperatura.

La determinación de la humedad en los procesos de alimentos es otra aplicación directa del registrador de datos, pues en esta área se hace necesario por las siguientes razones: el comprador de materias primas no desea adquirir agua en exceso, el agua, si está presente por encima de ciertos niveles, facilita el desarrollo de los microorganismos, para la mantequilla, margarina, leche en polvo y queso está señalado el máximo legal, los materiales pulverulentos se aglomeran en presencia de agua, por ejemplo azúcar y sal, la humedad de trigo debe ajustarse adecuadamente para facilitar la molienda, la cantidad de agua presente puede afectar la textura, la determinación del contenido en agua representa una vía sencilla para el control de la concentración en las distintas etapas de la fabricación de alimentos.

En el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado la medición de temperatura de la línea caliente de gas en el sistema de refrigeración, la temperatura del aire ambiente en la cámara de congelados o la temperatura de núcleo de los productos congelados en la cámara. Además de la temperatura, la humedad tiene influencia sobre productos almacenados. Valores muy altos o muy bajos pueden tener severas consecuencias para los productos y conducen a pérdidas. Para evitar inconvenientes que resulten de un almacenamiento incorrecto, es necesario medir la humedad en áreas de almacenamiento regularmente. Por último se puede mencionar la necesidad de medir la velocidad del viento en los sistemas de ventilación, estas son aplicaciones directas.

2. FUNDAMENTOS DE EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA SELECCIONADA

Energía eólica es la energía obtenida del viento, indirectamente se trata de energía solar, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transmutada en otras formas útiles de energía para las actividades humanas.

Por el hecho que la energía del viento tiene sus orígenes en una fuente renovable se puede considerar a la misma como una fuente también renovable.

El presente capítulo muestra información necesaria que permitirá fundamentar la estructura de un diseño electrónico, definiendo las variables que gobiernan el fenómeno, que permita capturar la data del fenómeno que a futuro permitirá evaluar el valor energético del viento, con el que se cuenta en las instalaciones del ITUGS.

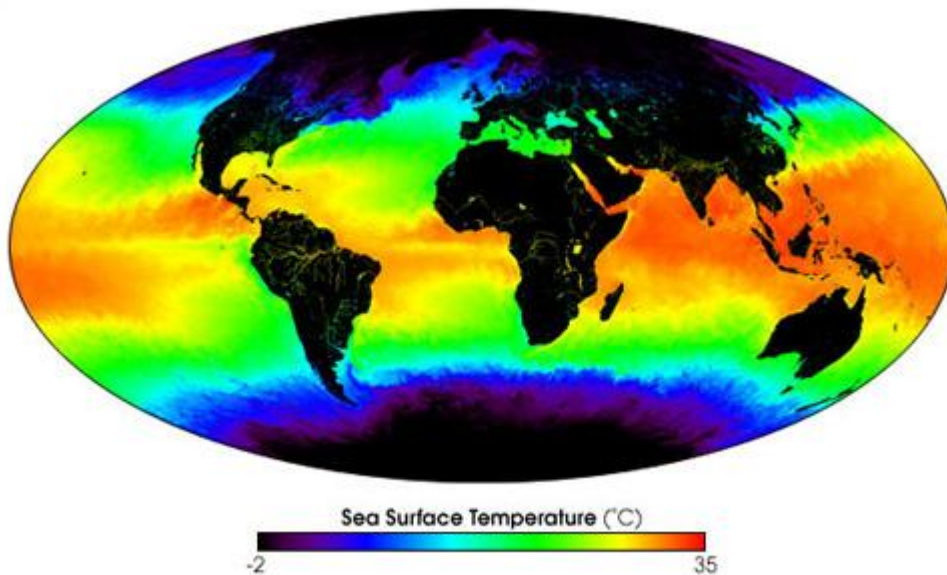
2.1. Origen del viento

Dependiendo del área los efectos del entorno afectan al fenómeno de la generación del viento, estos se pueden considerar como globales y locales por lo que la relación del área en estudio, se puede establecer como una primera variable en estudio al momento de evaluar la colocación de un emplazamiento para la generación eólica.

2.1.1. Razones globales

Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, como se muestra en la figura 2, esto debido a las diferencias de la superficie terrestre, entre el 1 y 2 % de la energía proveniente del sol se convierte en viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías, con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

Figura 2. **Atlas de radiación solar**



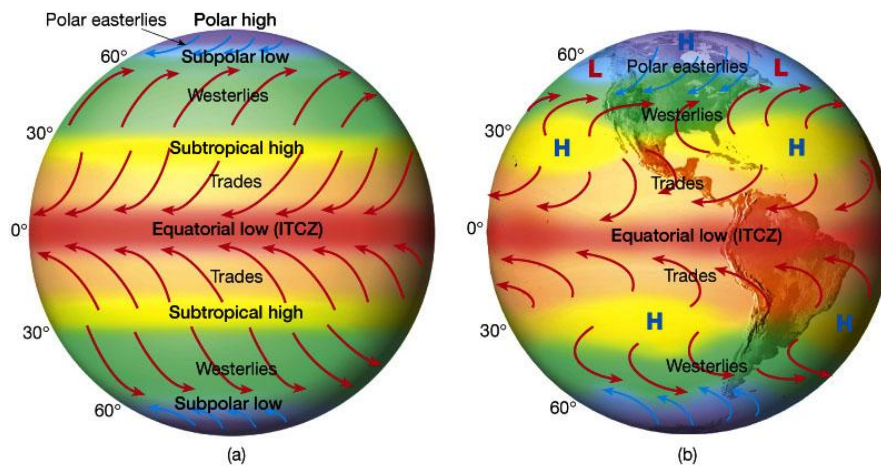
Fuente: *Atlas de radiación solar*. <http://www.textoscientificos.com/energia/de-Dónde-viene-la-energia-eolica>. Consulta: 20 de junio de 2014.

La radiación solar mostrada en la figura anterior, es más intensa en el ecuador que en los polos, por lo que se crea una diferencia de presión que a su vez produce un transporte de aire desde el ecuador a los polos. Las regiones

tropicales de la tierra (incluida Guatemala) absorben mucho más energía solar en todo el año, que en las regiones polares esto da como resultado que las regiones tropicales se vuelven cada vez más calientes y las polares más frías, creando una fuerte corriente de convección, fluyendo entre estas dos regiones.

La fuerza de Coriolis producida por la rotación de la Tierra, desvía las masas de aire hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur, véase la figura 3 que ilustra el fenómeno. Este proceso causa el movimiento espiral de eculización de aire.

Figura 3. **Movimiento global del viento**



Fuente: *Atlas de radiación solar* <http://www.textoscientificos.com/energia/de-Dónde-viene-la-energia-eolica>. Consulta: 20 de junio de 2014.

2.1.2. Razones locales

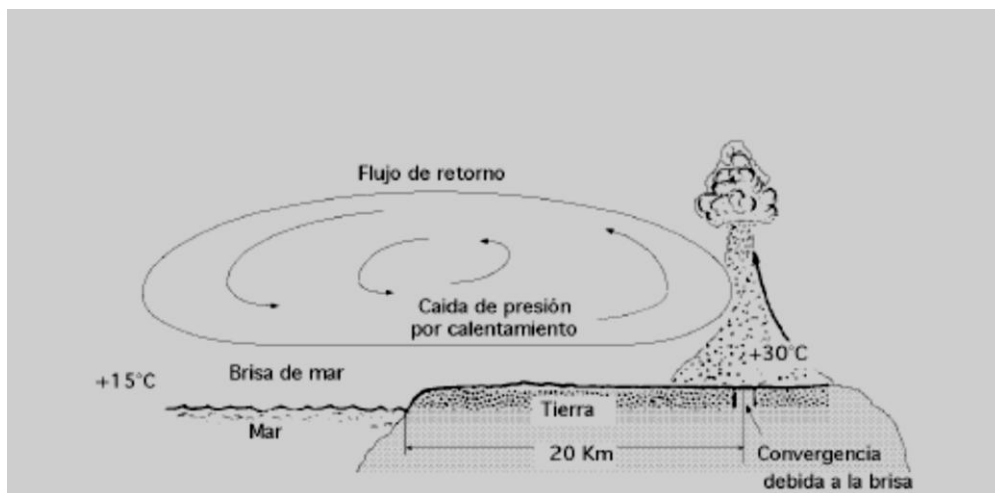
Las condiciones geográficas locales son la causa de tendencias de viento que se súper ponen al viento global y que se manifiestan con más intensidad

cuando los vientos globales son débiles. Existen vientos locales de origen térmico y otros que son producidos por la orografía. En las instalaciones del ITUGS se nota la presencia de períodos de viento generado por incidencia solar y orografía, propicia para la instalación de aerogeneradores, permitiendo una clasificación de viento local ladera de montaña y viento local orográfico.

2.1.2.1. Viento local del mar y tierra

En las zonas costeras, durante las horas de sol se forman vientos que soplan hacia la superficie de la tierra y en sentido contrario en altura. Durante la noche el aire del mar es más cálido y la circulación es a la inversa como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Viento entre mar y tierra

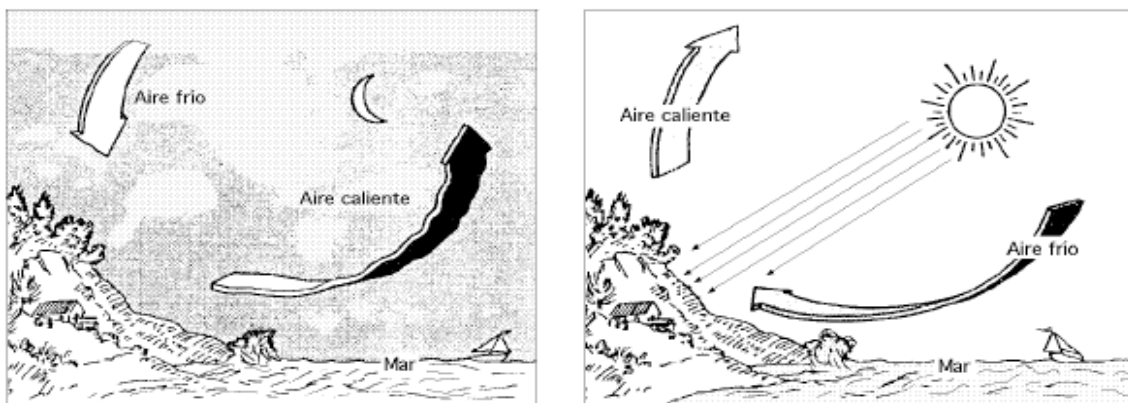


Fuente: FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. *Energía eólica*. p. 9.

2.1.2.2. Viento local de ladera de montaña

Otra manera de que los vientos se generen localmente es a través del calentamiento de laderas en las montañas. Tras la salida del sol, las laderas se calientan y comienzan sobre ellas flujos de aire ascendente (viento anabático). Por la noche el sentido del viento se invierte convirtiéndose en un flujo ladera abajo (viento catabático), como es mostrado en la figura 5.

Figura 5. Viento ladera montaña



Fuente: FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. *Energía eólica*. p. 9.

Los vientos dominantes en la superficie terrestre pueden soplar en algunas áreas, de un lado al otro de cordilleras o montañas, con lo que se crean los conceptos de barlovento y sotavento.

2.1.2.3. Viento local orográfico (Efecto Föhn)

La rugosidad del terreno así como la pendiente del terreno produce cambios de velocidad y dirección del viento, las crestas de montañas pueden acelerar considerablemente la velocidad de los vientos cuando estos atraviesan

desfiladeros, puertos o pasos de montaña, abras o collados, Dónde el aire se ve forzado a aumentar su velocidad al estrecharse la sección que atraviesa. Es el caso del Monte Washington en Nueva Inglaterra, Dónde se han registrado los vientos de mayor velocidad en nuestro planeta: 372 km/h, registrado en la tarde del 12 de abril de 1934. Todas las cordilleras tienen esas angosturas ubicadas en las crestas que proporcionan lugares propicios para la producción de vientos de gran velocidad e intensidad.

La explicación se basa en el proceso termodinámico que experimente una masa de aire al remontar la cordillera. Así, una masa de aire húmedo al topar con una cordillera se ve obligada a ascender. En el proceso se enfría según una adiabática seca de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ cada 100 metros. Si la cordillera es suficientemente elevada, llegará un momento en que el aire se condense, con lo cual el enfriamiento no será tan rápido al desprenderse calor latente de condensación. Este calor es absorbido por el aire ascendente y reducirá su enfriamiento a $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros, siguiendo una adiabática húmeda.

Al llegar a la cima de la cordillera, el aire será más cálido y seco de lo que se esperaría, al perder parte de su humedad en la condensación por precipitación o por contacto con el suelo. Suponiendo que cuando se llega a la cima de la cordillera ya no se produce condensación, al descender la masa de aire se calentará a razón de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros. Con esto, cuando se llegue a la misma altura que con la que se empezó el ascenso, el aire será más cálido que antes de atravesar la cordillera, este es el conocido efecto Fôhen.

2.2. Evaluación del recurso eólico

Estimar la energía con el que cuenta el viento en un área específica previo a la instalación de generadores eólicos es de suma importancia, por el

hecho que conocerlo ahorra tiempo y dinero en la evaluación del potencial de generación. Para realizar las consideraciones apropiadas es necesario estudiar las variables que caracterizan el recurso eólico considerándose la velocidad, dirección, presión y temperatura del viento en relación directa con la energía potencial y dejando la humedad como un factor primordial en el cual debe operar el equipo de generación.

2.2.1. Variables relacionadas

El flujo de masa del viento cuenta con propiedades o variables que al conocerlas y conocer la relación de estas con la generación del viento, permite evaluar el potencial energético del viento. Por lo que se ha considerado describir las características relevantes en la generación de energía.

2.2.1.1. Velocidad y dirección del viento

Los instrumentos utilizados para determinar la velocidad del viento son llamados anemómetros. Los más utilizados son los llamados anemómetros de rotación, siendo estos los de cazoletas y el de hélice.

El anemómetro de cazoletas consiste en tres o cuatro cazoletas montadas simétricamente alrededor de un eje vertical. Estas cazoletas pueden ser del tipo hemisféricas como la mostrada en la figura 6, o semiconicas como el ejemplo de la figura 7. Debido a que la fuerza que ejerza el aire en el lado cóncavo es mayor que en el lado convexo, la rueda de cazoletas gira.

La velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del viento. Dicha rotación puede medirse de varios modos: contando mecánicamente el número de revoluciones, conectando el eje de la rueda de cazoletas a un pequeño

generador eléctrico y midiendo el voltaje instantáneo, o a un interruptor óptico eléctrico o magnético y midiendo su salida.

Figura 6. **Anemómetro de cazoletas hemisféricas**



Fuente: *Energía Eólica*. www.duranelectronica.com/docs/21_1704_E-manWINDindustry-v01.pdf p. 5. Consulta: 20 de julio de 2014.

Figura 7. **Anemómetro de cazoletas semicónicas**



Fuente: *Energía Eólica*. http://img.directindustry.es/images_di/photo-mg/anemometros-cazoletas-7108-2457967.jpg. Consulta: 20 de julio de 2014.

El elemento empleado tradicionalmente para medir la dirección del viento es una veleta, que consiste en un dispositivo montado sobre un eje vertical y de giro libre, como se muestra en la figura 8, de tal modo que puede moverse cuando el viento cambia de dirección. Normalmente, el movimiento de la veleta está amortiguado para prevenir cambios demasiado rápidos de la dirección del viento.

Figura 8. **Veleta de dirección del viento**



Fuente: *Energía Eólica*. www.duranelectronica.com/docs/21_1704_E-manWINDindustry-v01.pdf p. 5. Consulta: 20 julio de 2014.

2.2.1.1.1. Cálculo de la velocidad

El anemómetro de tres copas es de los más utilizados por lo que se muestra a continuación el cálculo para este, teniendo como referencia el diagrama de fuerzas que se muestra en la figura 9.

VARIABLES RELACIONADAS EN LA DINÁMICA DEL MOVIMIENTO:

v = velocidad del viento

ρ = densidad del aire (1.2 Kg/m^3)

R = radio medido del eje al centro de la cazoleta

w = velocidad de giro del anemómetro

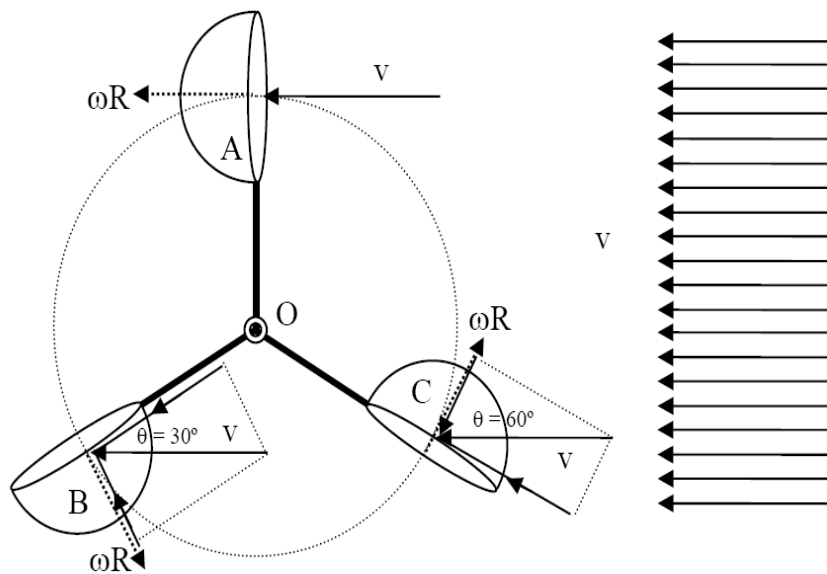
A = área de la cazoleta

C_a = coeficiente de arrastre de la cazoleta de la parte cóncava

C_b = coeficiente de arrastre de la cazoleta de la parte convexa

M_R = par resistente del eje de giro

Figura 9. Diagrama de fuerzas del anemómetro



Fuente: Seminario de mecánica de fluidos S7: *Anemómetro*. p. 10.

$$\sum M_o = M_a - M_b - M_c - M_R$$

$$\sum M_o = \frac{1}{2}\rho \cdot C_a(v - wR)^2 A \cdot R - \frac{1}{2}\rho \cdot C_b(v \sin 30 + wR)^2 A \cdot R - \frac{1}{2}\rho \cdot C_b(v \cos 60 + wR)^2 A \cdot R - M_R$$

$$\sum M_o = \frac{1}{2}\rho A \cdot R \left[v^2 \left(C_a - \frac{1}{2}C_b \right) - v(2wR (C_a + C_b)) + w^2 R^2(C_a - 2C_b) \right] - M_R$$

Se hace la consideración de que el giro es constante y por lo tanto la sumatorio es cero, obteniendo así la expresión cuadrática para la velocidad del giro:

$$\frac{1}{2}\rho A \cdot R \left[v^2 \left(C_a - \frac{1}{2}C_b \right) - v(2wR (C_a + C_b)) + w^2 R^2(C_a - 2C_b) \right] - M_R = 0$$

Realizando una segunda aproximación, $M_R = 0$ y luego despejando para v como se muestra a continuación se tiene que velocidad es:

$$\frac{1}{2}\rho A \cdot R \left[v^2 \left(C_a - \frac{1}{2}C_b \right) - v(2wR (C_a + C_b)) + w^2 R^2(C_a - 2C_b) \right] - M_R = 0$$

$$v = wR \frac{2(C_a + C_b) \pm 3\sqrt{2}\sqrt{C_a C_b}}{2C_a - C_b}$$

$$v = kwR$$

Siendo k un valor relacionado con los coeficientes de arrastre de las cazoletas y que puede ser tratado posteriormente, permitiendo una simplificación al sistema que se establecer.

$$v = wR$$

Considerando a v , la variable dependiente y R una constante se plantea determinar la velocidad angular con la expresión de:

$$w = \frac{2\pi * N}{t}$$

Donde:

N = Número de giros de la copa

t = Tiempo que le toma dar N giros

Por lo que la velocidad del anemómetro de rotación se define como

$$v = \frac{2\pi * N}{t} R$$

$$v = \frac{2\pi R * N}{nT}$$

Estableciendo $T = 1$ seg.

$$v = \frac{2\pi R * N}{nT}$$

$$v = V_0 \frac{N}{n}$$

Donde:

V_0 = Velocidad inicial que puede ser determinada

N = Número vueltas leídas en el tiempo de nT

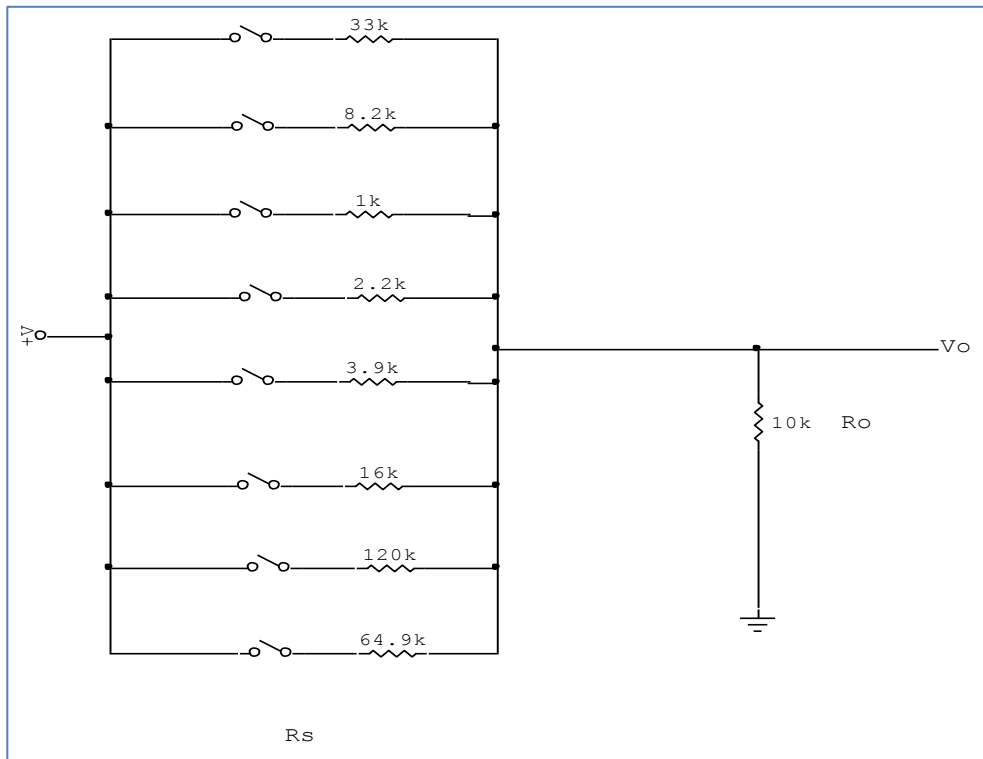
n = Múltiplo del período de la velocidad inicial

Así que se podrá determinar la velocidad del viento al conocer la V_0 que puede ser establecida con el anemómetro de copas, estableciendo el período de tiempo durante el cual se harán las lecturas y determinando la cantidad de vueltas N durante esos n períodos.

2.2.1.1.2. Cálculo de la dirección del viento

La determinación de la posición de la veleta se hace bastante simple, ya que se proporciona un voltaje que corresponde con la posición de la flecha obligada por el viento. Entonces es práctico, la dirección del viento se calcula con la construcción de un convertidor digital-analógico de 8 entradas y 64 combinaciones, como el que se muestra en la figura 10. De las cuales solamente se emplean 16 combinaciones. Estas 16 combinaciones se representan con 16 valores de resistencia, ocho de las cuales son fijas y ocho que son el resultado del cálculo en paralelo de resistencias fijas adyacentes.

Figura 10. **Conexión de los interruptores magnéticos de posición**



Fuente: elaboración propia.

Así se puede decir que

$$V_o = R_o \frac{R_s}{R_s + R_o}$$

Donde:

V_o = Voltaje de salida

R_o = Resistencia divisora del voltaje + v

R_s = Resistencia sensora de posición

Entonces como en todo convertidor digital-analógico le corresponderá un voltaje de salida, calibrado como se muestra en la tabla II.

Tabla II. **Posiciones posibles de la veleta de la estación Sparkfun**

Dirección (Grados)	Resistencia (Ω)	Voltaje (V)
0	33 k	3,84 v
22,5	6,57 k	1,98 v
45	8,2 k	2,25 v
67,5	891 k	0,41 v
90	1 k	0,45 v
112,5	688 k	0,32 v
135	2,2 k	0,90 v
157,5	1,41 k	0,62 v
180	3,9 k	1,40 v
202,5	3,14 k	1,19 v
225	16 k	3,08 v
247,5	14,12 k	2,93 v
270	120 k	4,62 v
292,5	42,12 k	4,04 v
315	64,9 k	4,78 v
337,5	21,88 k	3,43 v

Fuente: Posiciones posibles de la veleta de la estación Sparkun.

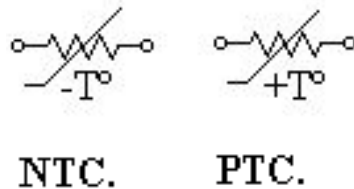
<http://www.sparkun.com/datasheets.sensors/weather/weather%20sensor%assembly.pdf>.

Consulta: 20 de julio de 2014.

2.2.1.2. Temperatura

La medida de la temperatura se utiliza para la determinación de la potencia suministrada, así como para evaluar la climatología local en emplazamientos de parques eólicos. Un termistor es un sensor resistivo de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. Existen dos tipos de termistor, un ejemplo de dichos elementos se muestra en la figura 11.

Figura 11. **Símbolo de termistores**



Fuente: elaboración propia.

Cuando la temperatura aumenta, los tipo PTC aumentan su resistencia y los NTC la disminuyen.

$$R(T) = R_0 e^{-b/T_0} e^{b/T}$$

Dónde:

$R(T)$ = Resistencia del termistor a una temperatura T

R_0 = Resistencia del termistor a una temperatura de referencia T_0

b = Temperatura característica del material entre 2 000 y 4 000 °K

T = Temperatura del termistor

T_0 = Temperatura de referencia

2.2.1.3. **Humedad**

El instrumento utilizado para medir la humedad en el aire es denominado higrómetro, esta medición es importante para determinar la densidad del aire.

Se basan en el cambio de sus características eléctricas cuando varía la humedad del medio que lo rodea.

Los capacitores, están formados por una placa fina de oro, una capa fina de un polímetro y una capa muy muy fina de oro, la apariencia de uno de estos se muestra en la figura 12. El polímetro tiene una constante dieléctrica muy baja, cercana a 4, mientras que el agua tiene una constante dieléctrica de 80 aproximadamente, por lo que la absorción de pequeñas cantidades de agua entre las placas afectara la capacitancia.

Figura 12. **Higrómetro capacitivo**



Fuente: *Principios básicos de medición atmosférica*, http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla4.pdf. Consulta: 20 de julio de 2014. p. 8.

Para un condensador formado por n placas paralelas iguales

$$C \approx \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} (n - 1)$$

Donde:

ϵ_0 = Constante dieléctrica de vacío = $8,85 \frac{\text{pF}}{\text{m}}$

ϵ_r = Constante dieléctrica relativa

A = Área superficial de las placas

d = Distancia perpendicular entre placas

n = Número de placas paralelas del capacitor

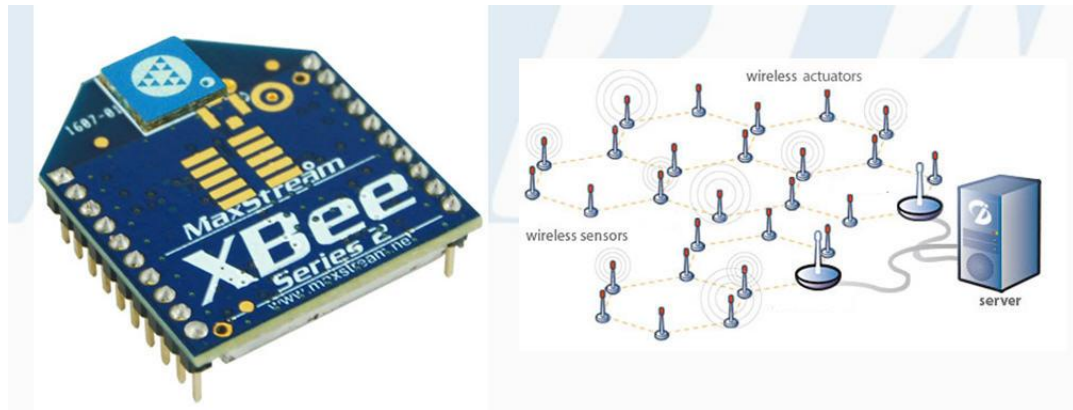
Se ve que el cambio en cualquiera de estos valores conlleva a un cambio en la capacidad C .

2.2.1.4. Presión

La presión atmosférica presente es utilizada para la determinación de la potencia suministrada en una instalación eólica, específicamente para determinar la densidad del aire. Generalmente se utiliza un barómetro meteorológico, un ejemplo de barómetro se muestra en la figura 13.

La tecnología de los MEMS (Sistemas Micro electromecánicos) es aplicada al silicio, material utilizado para crear la mayoría de los circuitos integrados utilizados en la electrónica de consumo en el mundo moderno. Las economías de escala, facilidad de obtención y el bajo costo de los materiales de alta calidad y la capacidad para incorporar la funcionalidad electrónica hacen al silicio atractivo para una amplia variedad de aplicaciones de MEMS. Así como para hacer movimientos altamente repetibles, esto hace también que el silicio sea muy fiable, ya que sufre muy pequeña fatiga y puede tener una duración de vida de servicio en el rango de billones o trillones de ciclos sin romper.

Figura 13. **Barómetro meteorológico**



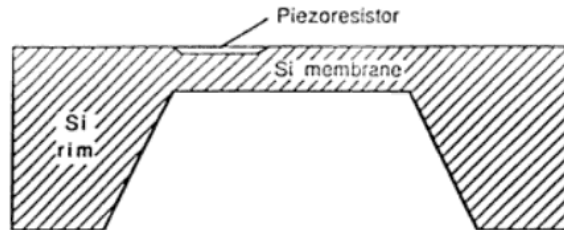
Fuente: <http://1.bp.blogspot.com/-Xn-OBQnnuE8/TmaUp4ak57I/AAAAAAAAACZo/zyZYv2Wwuzc/s1600/red-sensores.jpg>. Consulta: 24 de enero de 2014.

Un sensor de presión piezorresistivo consiste básicamente en una membrana de silicio, cuyo espesor puede variar entre 5 y 30 μm según la sensibilidad y rango de trabajo, sujeto a la oblea de silicio.

2.2.1.4.1. **Cálculo de la presión**

En la figura 14 se muestra el esquema de un sensor de presión. Cuando se aplica una diferencia de presión entre ambos lados de la membrana, esta se deflacta induciendo una tensión o compresión en la resistencia, por lo que esta cambia su valor debido al efecto piezorresistivo del silicio.

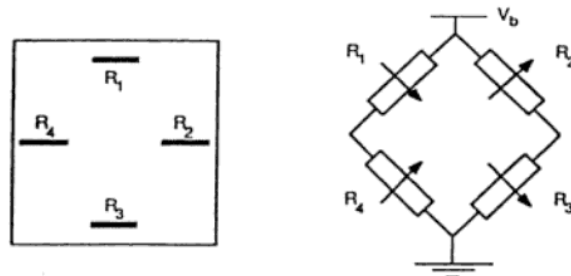
Figura 14. **Esquema del sensor piezorresistivo**



Fuente: Buron Romero, A. M., *Microelectronica* 92. p. 106.

En general no es una piezorresistencia sino que cuatro, que se colocan en los extremos de la membrana y se conectan en puente Wheatstone, como se muestra en la figura 15. De esta forma, las piezorresistencias perpendiculares sufren tensión paralela al flujo de la corriente, mientras las piezorresistencias paralelas sufren tensión perpendicular al mismo, así un par de estas aumenta y las otras disminuyen su valor provocando un voltaje de salida proporcional a la diferencia de presión aplicada.

Figura 15. **Conexión de resistencias piezorresistivas**



Fuente: Buron Romero, A. M. *Microelectronica* 92. p. 107.

Suponiendo un puente equilibrado ideal, a partir de la variación de resistencia ΔR cuando existe una diferencia de presión, Δp entre ambos lados de la membrana, se obtiene la expresión para, ΔV , la diferencia de tensión de salida.

$$\Delta V = \frac{\Delta R}{R} V_b$$

2.3. Tratamiento de los datos eólicos

La recolección de datos es el primer paso, haciendo uso de los métodos indicados en el inciso 2.2, para la toma de decisión del emplazamiento. Dónde se desea instalar las turbinas eólicas, lo que sigue es el estimado de la potencia que el viento puede entregar, la densidad de que existe en el ambiente, necesaria para la potencia, cómo es que el viento se establece durante un período de estudio, la dirección en la cual predomina la máxima potencia, así como también un estimado de la variación de la potencia del viento con respecto a la altura que se encuentre la turbina eólica, temas tratados a continuación.

2.3.1. Potencia del viento

La cantidad de energía contenida en el viento es una función de su velocidad y su masa. A mayores velocidades, hay más energía disponible. La relación entre masa, velocidad y energía está dada por la ecuación de energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Dónde:

E_c = Energía Cinética del viento (j)

m = Masa del volumen de viento (Kg)

v = Velocidad del viento (m/s)

La masa del aire se puede derivar del producto de su densidad (ρ) y su volumen. Debido a que el aire está en constante movimiento, el volumen se debe calcular multiplicando la velocidad del viento (V) por el área (A) por la cual atraviesa durante un determinado período de tiempo (t_s).

$$m = \rho A v t_s$$

Dónde:

m = Masa (Kg)

ρ = Densidad (Kg/m³)

A = Área efectiva del viento (m²)

v = Velocidad del viento (m/s)

t = Tiempo del desplazamiento del volumen de aire (s)

Cuando se sustituye este valor por el valor de masa en la ecuación anterior, se obtiene lo siguiente:

$$E_c = \frac{1}{2} \rho A v^3 t_s$$

Donde:

E_c = Energía Cinética del viento (j)

ρ = Densidad (Kg/m³)

A = Área efectiva del viento (m²)

v = Velocidad del viento (m/s)

t = Tiempo del desplazamiento del volumen de aire (s)

Debido a que la potencia es la velocidad a la que la energía está disponible, o bien, la velocidad a la que la energía pasa por un área por unidad de tiempo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Donde:

P_c = Potencia del viento (W)

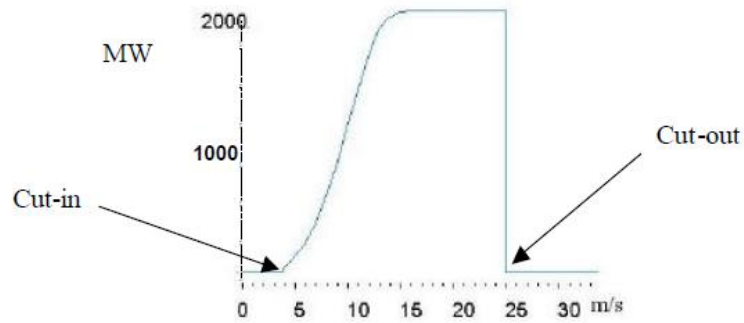
ρ = Densidad (Kg/m³)

A = Área efectiva del viento (m²)

v = Velocidad del viento (m/s)

Se observa entonces que la potencia del viento es dependiente de la densidad del aire, el área que lo intercepta, y de su velocidad. Al incrementar cualquiera de estas variables se incrementa la potencia disponible. Pero sucede algo más importante: pequeños cambios en la velocidad del viento producen efectos significativos en la potencia disponible, debido a que la potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento, como se puede observar en la figura 16.

Figura 16. **Gráfica de velocidad contra potencia**



Fuente: Universidad de Chile. Área de Energía. Depto. de Ingeniería Eléctrica. *Simulación preliminar de diseño operacional*. p. 41.

2.3.2. Densidad del viento

Ya que es necesario conocer la densidad del aire del emplazamiento, esta se calcula utilizando la fórmula CIPM 2007 (Comité Internacional de Pesos y Medidas); la fórmula es la siguiente:

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right]$$

Donde:

ρ_a = Densidad del viento (Kg/m³)

p = Presión (Pa)

T = Temperatura termodinámica (273,15 + t,K)

Ma = Masa molar del aire seco

= 0,02896546 Kg mol⁻¹ para aire con fracción molar de CO₂, X_{co2}

= 0,0004

Mv = Masa molar del agua = 0,01801528 Kg mol⁻¹

Z = factor de compresibilidad (adimensional)

R = Constante universal de los gases = 8,314472 J mol⁻¹K⁻¹

X_v = Fracción molar de vapor de agua (adimensional)

La fracción molar del vapor se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$x_v = h \cdot f(p, t) \cdot \frac{p_{sv}(t)}{p}$$

Donde:

h = Humedad relativa (1 ≤ h ≤ 1)

p = Presión atmosférica (Pa)

t = Temperatura del aire (°C)

f(p, t) = Factor de fugacidad

P_{sv} = Presión de vapor en saturación

El factor de fugacidad se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$f(p, t) = \alpha + \beta p + \gamma t^2$$

Donde:

f(p, t) = Factor de fugacidad

t = Temperatura del aire (°C)

$$\alpha = 1,00062$$

$$\beta = 3,14 * 10^{-8} \text{Pa}^{-1}$$

$$\gamma = 5,6 * 10^{-7} \text{K}^{-2}$$

La presión de vapor en saturación se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$p_{sv}(t) = Pa \cdot e^{(AT^2 + BT + \frac{D}{T})}$$

Donde:

$$A = 1,2378847 * 10^{-5} \text{K}^{-2}$$

$$B = -1,9121316 * 10^{-2} \text{K}^{-1}$$

$$C = 33,93711047$$

$$D = -6,3431645 * 10^3 \text{ K}$$

$$T = (273,15 + t) \text{K}$$

El factor de compresibilidad se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Z = 1 - \frac{p}{T} [a_0 + a_1 + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 + c_1 t)x_v^2] + \frac{p^2}{T^2} (d + ex_v^2)$$

Donde:

t = Temperatura del aire (°C)

T = Temperatura termodinámica (273,15 + t, K)

Además a continuación se muestran las demás constantes de la ecuación en la tabla III.

Tabla III. **Constantes para ecuación de compresibilidad**

$a_0 = 1,58123 * 10^{-6} K Pa^{-1}$
$a_1 = -2,9331 * 10^{-8} Pa^{-1}$
$a_2 = 1,1043 * 10^{-10} K^{-1} Pa^{-1}$
$b_0 = 5,707 * 10^{-6} K Pa^{-1}$
$b_1 = -2,051 * 10^{-8} Pa^{-1}$
$c_0 = 1,9898 * 10^{-4} K Pa^{-1}$
$c_1 = -2,376 * 10^{-6} Pa^{-1}$
$d = 1,83 * 10^{-11} K^2 Pa^{-2}$
$e = -0,765 * 10^{-8} K^2 Pa^{-2}$

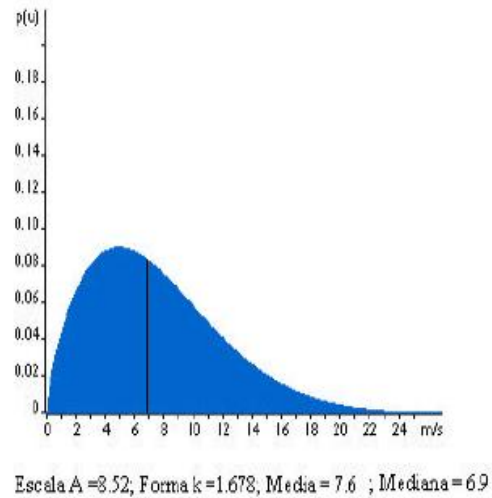
Fuente: PICARD, A. *Revised formula for the density of the moist air* (CIPM-2007).p. 10.

2.3.3. Distribución estadística del viento

Si se grafica el número de veces, o frecuencias, en las que el viento ocurre a diferentes velocidades durante un año, se encontrará que hay pocos eventos sin viento y pocos con vientos huracanados. La mayoría del tiempo las velocidades de viento se encuentran entre estos dos extremos.

La ocurrencia del viento a varias velocidades difiere de un sitio a otro, pero en general, la curva tiene un patrón en forma de campana, como se muestra en la figura 17. Estas distribuciones de velocidad de viento pueden describirse matemáticamente para aproximarse a la vida real, y para esto se utiliza la distribución de Weibull y de Rayleigh.

Figura 17. **Densidad espectral de la velocidad del viento**



Fuente: Universidad de Chile. Área de Energía. Depto. de Ingeniería Eléctrica. *Simulación preliminar de diseño operacional*. p. 39.

La distribución de Weibull de las velocidades de viento es una idealización matemática de la distribución de la velocidad del viento con el tiempo. La distribución es determinada por dos parámetros: C, el factor de escala que representa la velocidad del viento, y k, el factor de forma que describe la forma de la distribución. La distribución de Weibull se puede encontrar mediante la siguiente expresión:

$$f(v) = \frac{k}{C} \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} e\left[-\left(\frac{v}{C}\right)^k\right]$$

Donde:

f(v) = Frecuencia de ocurrencia

v = Velocidad del viento

k = Factor de forma

C = Factor de escala

La distribución de Rayleigh es un caso especial de la función de Weibull, Dónde k, el factor de forma, tiene el valor de 2.

Para realizar el cálculo de los factores de forma y escala se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1,086}$$

$$C = \frac{v}{\left(\Gamma\left[1 + \frac{1}{k}\right]\right)}$$

Donde:

k = Factor de forma

σ = Desviación estándar

v = Velocidad (m/s)

C = Factor de escala

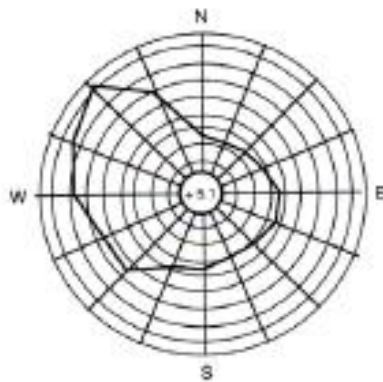
$\left(\Gamma\left[1 + \frac{1}{k}\right]\right)$ = Función gamma evaluada en $1 + \frac{1}{k}$

Una vez obtenida la distribución del viento es posible utilizarla para proyecciones a futuro y de esta manera, conocer si en el emplazamiento en cuestión es o no viable para el desarrollo de un proyecto eólico. Con esta distribución de frecuencias se pueden conocer las horas del año a las que el viento sopla en cada una de las diferentes velocidades.

2.3.4. Rosa del viento

La rosa de viento es un diagrama que determina si la dirección es predominantes y sus velocidades, este diagrama se realiza trazando la ocurrencia de direcciones de viento junto con sus velocidades promedio, en un cuadrante dividido en sus respectivos rumbos colaterales, como se puede observar en la figura 18.

Figura 18. Rosa de viento



Fuente: MUR AMADA, Joaquín. *Master europeo en energías renovables*. p. 26.

El diagrama anterior es muy útil para determinar las posiciones de los aerogeneradores; también indica la forma en que deben operar los mismos de acuerdo con las direcciones de viento predominantes.

En la figura 18 se puede observar que la dirección predominante para este ejemplo es la dirección oeste (W) – noroeste (NW) o bien entre los 270° y los 315° , ya que en ese rango sucedieron la mayor cantidad de registros; es decir, en esa dirección el viento sopló la mayor cantidad de tiempo de acuerdo con el

monitoreo realizado. De esta gráfica se puede determinar la posición en la cual, el aerogenerador aprovechará de forma más eficiente el viento, obteniendo así una mejor producción de energía eléctrica.

2.3.5. Cálculo de la variación del viento con la altura

Al conocer la velocidad del viento a una altura determinada, es posible conocer el perfil vertical del viento, esto es, realizar una proyección de velocidad de viento a alturas determinadas. Esto se realiza mediante el cálculo de la siguiente fórmula:

$$v = v_0 \frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_0}{z_0}\right)}$$

Donde:

v = Velocidad de viento en la nueva altura

v₀ = Velocidad de viento en la altura conocida

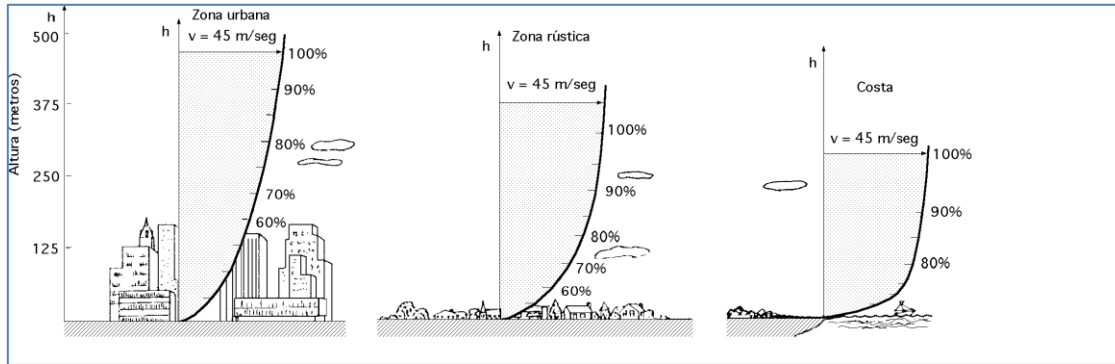
H = Nueva altura

H₀ = Altura conocida

Z₀ = Longitud de rugosidad en la dirección del viento

La longitud de rugosidad se determina de acuerdo con el tipo de paisaje presente en el área, como se muestra en la figura 19; esto se puede observar en la tabla IV.

Figura 19. Variación vertical del viento



Fuente: FERNÁNDEZ DÍEZ, Pedro. *Energía eólica*. p 1.-12.

Tabla IV. Clases y longitudes de rugosidad

Superficie	Zo(m)	Zo (clasificación)
A nivel del mar	0,0002	0
Terreno abierto, con hierba y obstáculos aislados	0,03	1
Cultivos bajos y obstáculos ocasionales	0,10	2
Cultivos altos, obstáculos dispersos	0,25	2.7
Parques verdes, arbustos y numerosos obstáculos	0,50	3.2
Gran cantidad de obstáculos	0,5 – 1,0	3,2 – 3,7

Fuente: Wei,Tong. *Wind power generation and wind turbine design*. p. 68.

2.3.6. Procesamiento de datos con PROCSED

El análisis de la calidad del viento en el emplazamiento emplea herramientas computacionales, debido a la gran cantidad de información obtenida con los sensores, por lo que una descripción de la utilidad y manejo se describe en los incisos siguientes. Generalidades del programa, proyección de la cantidad de energía potencial del viento, proyección del potencial con

referencia a la altura, distribución de frecuencia del viento y la dirección predominante del viento.

2.3.6.1. Generalidades de PROCSHED

El modelo computacional fue desarrollado para permitir evaluar lo siguiente:

- Rosa de los vientos (ROVI), con el propósito de determinar la dirección predominante del viento.
- Frecuencia y duración del viento, para un lugar determinado de medición (FREDUVI).
- Perfil vertical del viento (PERVEVI), con el propósito de conocer la variación de la velocidad del viento con la altura.
- Probabilidad de ocurrencia de la velocidad del viento (PROVEVI), considerando los modelos probabilísticos de Weibull I, II, III, IV, V y Rayleigh.
- Densidad de potencia y su variación con la altura (PEFUAL).

El programa computacional PROCSHED V 1.0, Programa Computacional para el cálculo de Energías de sistemas eólicos e híbridos eólico-diesel, se ha desarrollado en lenguaje de programación Microsoft Visual Basic, versión 6.0 que es compatible con el sistema operativo Windows.

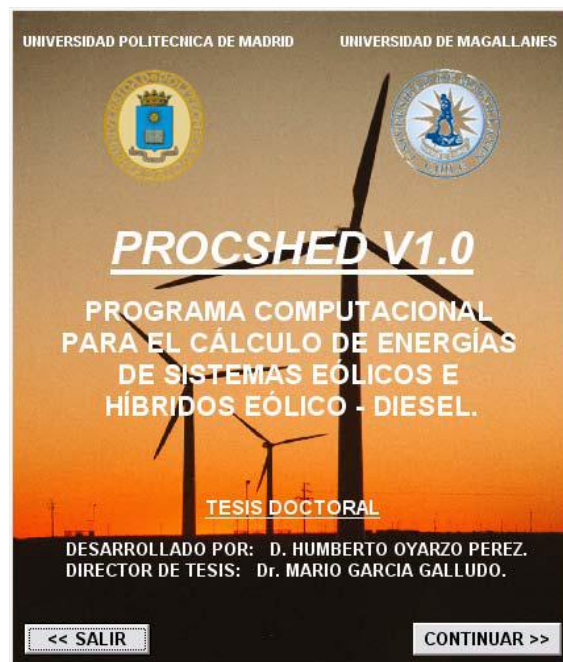
El programa se ha diseñado con una estructura modular, es decir, cada subprograma funciona en forma independiente de otro, excepto el módulo CESESH, cálculo de energía de Sistemas eólico e híbridos eólicos-diesel, que requiere para ser ejecutado de los resultados del módulo POTVI, potencia del aerogenerador en función de la velocidad del viento.

Para la ejecución de algunos módulos, se debe ingresar a una base de datos la velocidad del viento, con un formato definido y en un documento de Microsoft Excel.

En relación al ingreso de datos estos se deben hacer de acuerdo a los parámetros que se solicitan, lo que implica que se ajusta a los valores de las magnitudes esperadas y sistemas de unidades en el cual se desarrolla el programa.

Al ejecutar el programa se despliega una pantalla de inicio de PROCSHED V1.0, que muestra el nombre del programa con las opciones salir y continuar, tal como se indica en la figura 20.

Figura 20. **Pantalla de inicio de PROCSHED V 1.0.**



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel.* p. 84.

Al presionar el botón continuar se despliega la pantalla principal que se muestra en la figura 21. Donde se encuentra el menú de programas con los diferentes subprogramas o módulos que conforman a PROCSHED V 1.0.

Figura 21. **Pantalla principal de PROCSHED V 1.0.**



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 85.

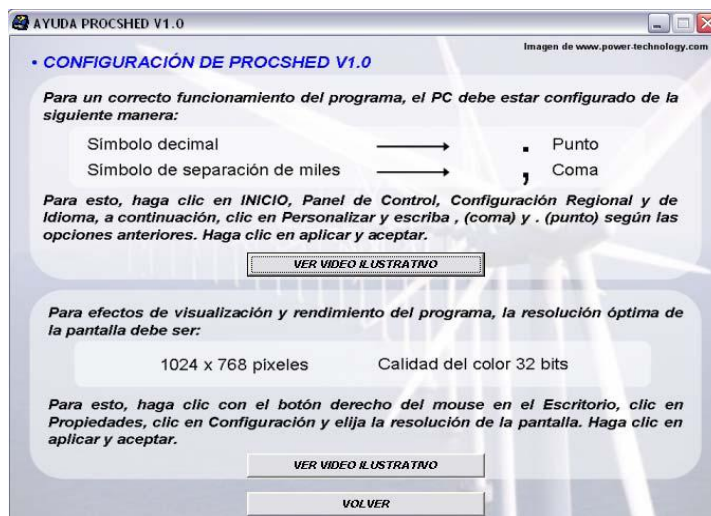
En la parte inferior y centrado se encuentran ubicados los botones salida y ayuda, al presionar este último se despliega la pantalla *AYUDA DE PROCSHED*, tal como se muestra en la figura 22. Donde se tiene la opción cerrar ayuda, al presionar este botón Ayuda se despliega la pantalla *CONFIGURACIÓN DE PROCSHED V 1.0* según se indica en la figura 23, Dónde se entregan las indicaciones pertinentes para configurar el PC.

Figura 22. **Pantalla de ayuda de PROCSED V1.0**



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel.* p. 85.

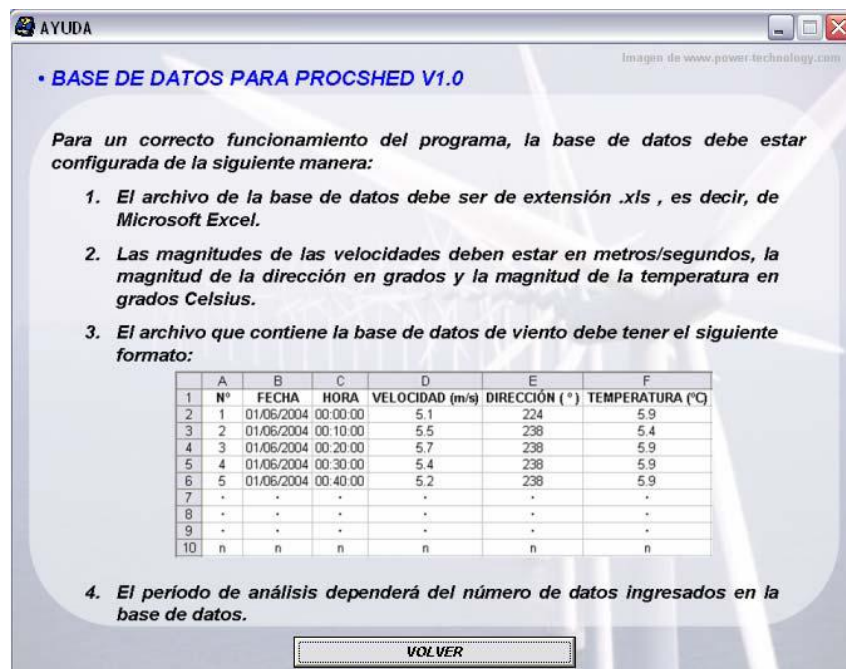
Figura 23. **Ayuda de configuración PROCSED V1.0**



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel.* p. 86.

La figura 24 muestra la pantalla correspondiente a la ayuda para configurar la base de datos, para un correcto funcionamiento de todos los módulos del programa computacional.

Figura 24. Ayuda de base de datos PROCSHED V1.0



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 86.

En el centro de la pantalla principal se encuentra el botón buscar, al hacer un clic en este, se abre un cuadro de diálogo para buscar la base de datos de Microsoft Excel que se va a utilizar. Por otra parte, al desplazar el puntero por encima de cada botón del módulo, aparece el propósito de lo que realizan cada uno de ellos.

2.3.6.1.1. Perfil vertical de viento

El subprograma PERVEVI tiene como objetivo determinar el perfil vertical de la velocidad del viento a diferentes alturas. Se asume un perfil vertical de tipo logarítmico y un perfil vertical de tipo potencial.

En la pantalla principal al hacer un clic en el botón correspondiente a PERVEVI, se despliega la pantalla que se muestra en la figura 25.

Figura 25. **Módulo PERVEVI**



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 92.

Al seleccionar la opción Perfil Vertical Tipo Logarítmico aparece la pantalla que se muestra en la figura 26. Donde se deben ingresar las siguientes variables.


Figura 26. Pantalla de ingreso de datos del Módulo PERVEVI


PERVEVI

PERFIL VERTICAL DEL VIENTO DE TIPO POTENCIAL

DATOS DE ENTRADA

1. Haga click en el botón "Ingresar velocidad media" para ingresar la velocidad media de la base de datos.


INGRESAR VELOCIDAD MEDIA


INFORMACIÓN DE RUGOSIDAD

2. Ingrese las siguientes variables:

Velocidad media de la base de datos (m/s)

Altura de medición de la base de datos (m)

Altura del buje o altura buscada (m)


Considerar atmósfera neutra


Ingresar longitud de rugosidad del terreno


Ingresar exponente de la ecuación potencial

Longitud de rugosidad del terreno (m)

3. Haga click en el botón calcular.


CALCULAR


RESULTADOS


VOLVER

Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 92.

- Velocidad media de la base de datos. Esta se ingresa automáticamente al presionar el botón *ingresar velocidad media*.
- Altura de medición de la base de datos.

- Longitud de rugosidad del terreno. En el supuesto que el usuario requiera información sobre la rugosidad, debe presionar el botón Información de Rugosidad y aparece la pantalla que se muestra en la figura 27. Donde se indican diferentes tipos de terreno con su rugosidad correspondiente.
- Altura del buje del aerogenerador

Figura 27. Pantalla del Módulo PERVEVI

Longitud de rugosidad (m)	Tipo de terreno
0.0002	Superficie de agua, terreno abierto, superficie lisa.
0.0024	Pistas de hormigón, césped.
0.0300	Campos abiertos sin cercados, edificios muy dispersos, colinas suavemente redondeadas.
0.0550	Campo con algunas casas y árboles de hasta 8 metros situado como mínimo a 1250 metros.
0.1000	Campo con algunas casas y árboles de hasta 8 metros situado como mínimo a 500 metros.
0.2000	Campo con algunas casas y árboles de hasta 8 metros situado como mínimo a 250 metros.
0.4000	Pueblos, bosques y terreno accidentado y desigual.
0.8000	Ciudades con edificios altos.
1.6000	Grandes ciudades con edificios muy elevados.

Longitud de rugosidad según Justus			
Tipo de superficie	Rango de longitud de rugosidad (m)	Tipo de superficie	Rango de longitud de rugosidad (m)
Hielo	0,00001 - 0,00003	Hierba alta	0,04 - 0,10
Mar en calma	0,00020 - 0,00030	Cereales	0,06 - 0,07
Arena	0,00010 - 0,00100	Arbustos	0,10 - 0,30
Llanura nevada	0,00100 - 0,00600	Monte bajo	0,05 - 0,10
Hierva suave	0,00100 - 0,01000	Bosques	0,20 - 0,90
Estepa	0,01000 - 0,04000	Pueblos	1,00 - 2,00
Planicie	0,02000 - 0,03000	Ciudades	1,00 - 4,00

Referencia: Energía eólica, Miguel Villanueva, Ediciones CEAC, 2004

CERRAR

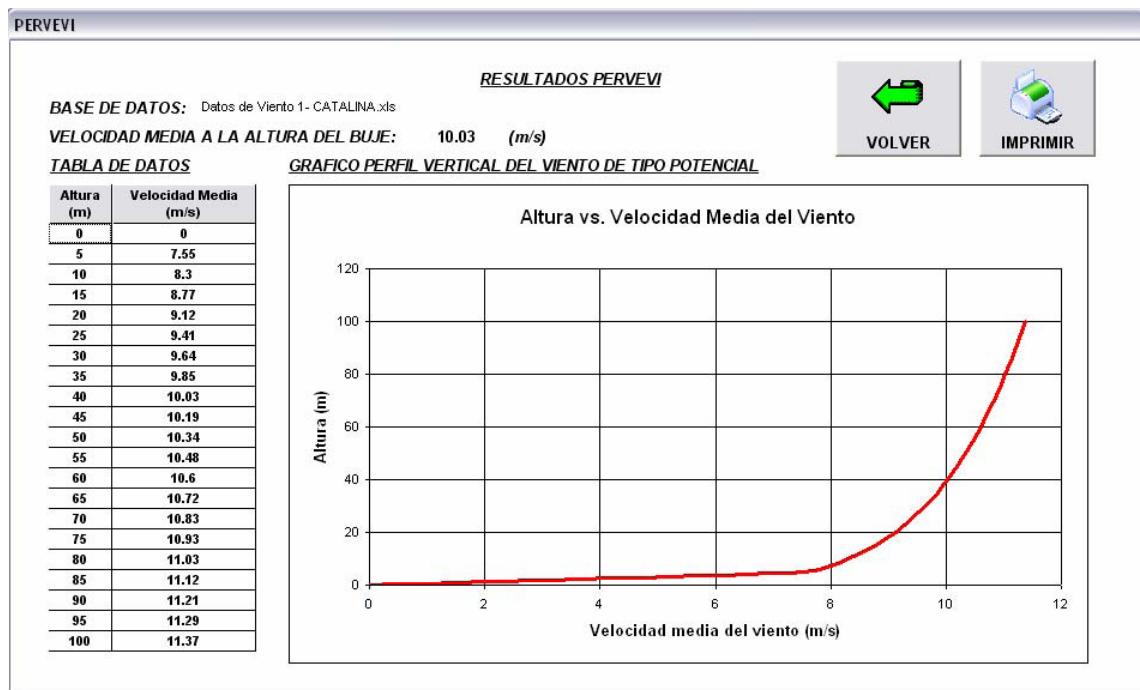
Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 93.

Al seleccionar la opción Perfil Vertical Tipo Potencial, se despliega una pantalla similar a la que se presenta en la figura 26. A diferencia del análisis del perfil logarítmico, el perfil vertical de la velocidad del viento se puede predecir, calculando el exponente de la ecuación potencial por:

- Ingreso de la longitud de la rugosidad.
- Ingreso del exponente correspondiente a la condición de atmósfera neutra.
- Ingreso de un exponente, que asume el usuario del programa computacional.

Al hacer un clic en el botón Calcular y luego en el botón Resultados, se despliega la pantalla que se muestra en la figura 28, en ella se muestra el gráfico del perfil vertical de la velocidad del viento, de tipo potencial o logarítmico, según la opción que se haya seleccionado.

Figura 28. Gráfico del Módulo PERVEVI



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 94.

2.3.6.1.2. Rosa de los vientos

El subprograma ROVI permite calcular y graficar la Rosa de los Vientos para una base de datos, considerando dieciseis direcciones de viento. En la figura 29 se muestra la ventana que se abre al presionar el botón correspondiente al módulo ROVI.

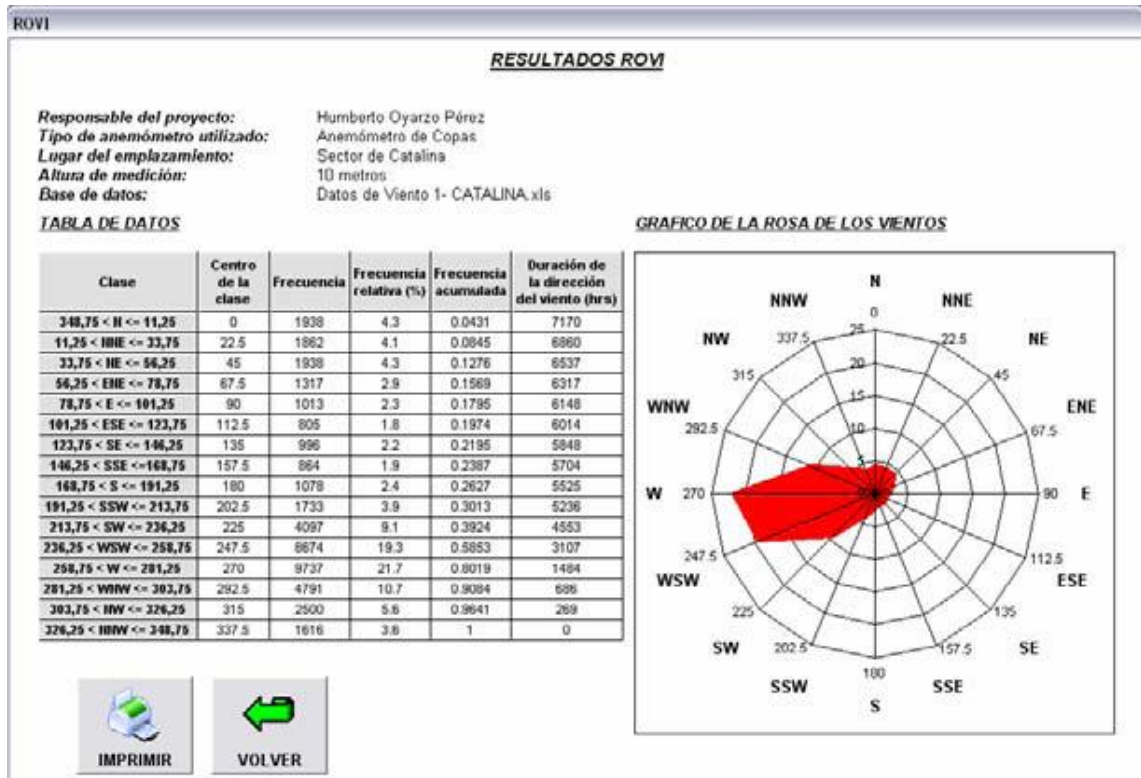
Figura 29. **Módulo ROVI**

The screenshot shows a window titled "ROVI" with a sub-header "ROSA DE LOS VIENTOS". Below the header, there are three instructions: "1. Ingrese los siguientes datos.", "2. Haga click en el botón calcular para analizar la base de datos.", and "3. Haga click en el botón resultados.". There are four input fields: "Responsable del proyecto:" with the value "Humberto Oyarzo Pérez", "Tipo de anemómetro utilizado:" with "Anemómetro de Copas", "Altura de medición:" with "10 metros", and "Lugar del emplazamiento:" with "Sector de Catalina". At the bottom, there are three buttons: "CALCULAR" (with a calculator icon), "RESULTADOS" (with a document icon), and "VOLVER" (with a green arrow pointing left).

Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 89.

Para ejecutar el módulo ROVI se debe ingresar una base de datos en la pantalla principal del programa computacional PROCSHED V 1.0. Al presionar el botón Calcular, el programa trabaja internamente lo que se visualiza en la pantalla a través de una barra de proceso. Finalizado el cálculo se hace un clic en el botón Resultados y una ventana muestra los Resultados ROVI, tal como se aprecia en la figura 30.

Figura 30. **Tabla de resultados y gráficos del Módulo ROVI**



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 90.

2.3.6.1.3. Frecuencia y duración de la velocidad del viento

El subprograma FREDUVI es un programa de estadística de la velocidad del viento y tiene como propósito obtener la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, frecuencia acumulada, frecuencia relativa acumulada y la duración de la velocidad del viento. En la pantalla principal al hacer un clic en el botón FREDUVI, se despliega la ventana indicada por la figura 31.

Figura 31. **Módulo FREDUVI**

The screenshot shows a software window titled "FREDUVI" with a sub-header "FRECUENCIA Y DURACION DEL VIENTO". It contains a form with four input fields: "Responsable del proyecto:" (Humberto Oyarzo Pérez), "Tipo de anemómetro utilizado:" (Anemómetro de Copas), "Altura de medición:" (10 metros), and "Lugar del emplazamiento:" (Sector de Catalina). Below the form are three buttons: "CALCULAR" (with a calculator icon), "RESULTADOS" (with a document icon), and "VOLVER" (with a left-pointing arrow icon). Instructions 1, 2, and 3 are listed above the buttons.

FREDUVI

FRECUENCIA Y DURACION DEL VIENTO

1. Ingrese los siguientes datos.

Responsable del proyecto: Humberto Oyarzo Pérez

Tipo de anemómetro utilizado: Anemómetro de Copas

Altura de medición: 10 metros

Lugar del emplazamiento: Sector de Catalina

2. Haga click en el botón calcular para analizar la base de datos.

3. Haga click en el botón resultados.

CALCULAR

RESULTADOS

VOLVER

Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 90.

Haciendo un clic en Calcular y posteriormente en el botón RESULTADOS, aparecen los botones Tabla de Datos y Polígono de Frecuencias, al presionar éstos aparecen los resultados que se presentan en las figuras 32 y 33, respectivamente.

Figura 32. Tabla de resultados del Módulo FREDUVI


RESULTADOS DEL ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS DE VIENTO.

Responsable del proyecto: Humberto Oyarzo Pérez
 Tipo de anemómetro utilizado: Anemómetro de Copus
 Lugar del emplazamiento: Sector de Catalina
 Base de datos: Datos de Viento 1- CATALINA.xls
 Altura de medición: 10 metros


Número de datos: 44886 / Velocidad media: 8.3 (m/s) / Desviación estándar: 4.32 (m/s)
 Velocidades por cuartil: V 0.25: 5.2 (m/s) / V 0.50: 8 (m/s) / V 0.75: 10.8 (m/s)

Intervalo de la clase (m/s)	Frecuencia de la clase	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Número de horas en que V<=Vi	Número de horas de ocurrencia	Duración de la velocidad	Número de horas en que V>Vi
0 <= V <= 1,5	1785	0.03977	0.03977	288	288	0.86023	7184
1,5 < V <= 2,5	1570	0.03490	0.07467	559	262	0.92526	6922
2,5 < V <= 3,5	2264	0.05244	0.12711	952	392	0.07201	6530
3,5 < V <= 4,5	3124	0.06966	0.19679	1472	521	0.60321	6008
4,5 < V <= 5,5	3715	0.08277	0.27955	2091	619	0.72045	5380
5,5 < V <= 6,5	4116	0.0917	0.37125	2777	686	0.62875	4704
6,5 < V <= 7,5	4168	0.09296	0.46421	3472	695	0.53989	4009
7,5 < V <= 8,5	4343	0.09676	0.56097	4198	724	0.43913	3265
8,5 < V <= 9,5	3974	0.08742	0.64839	4650	654	0.35171	2631
9,5 < V <= 10,5	3772	0.08404	0.73243	5478	629	0.26768	2002
10,5 < V <= 11,5	3054	0.06804	0.80047	5988	509	0.19864	1494
11,5 < V <= 12,5	2263	0.05042	0.85089	6365	377	0.14922	1116
12,5 < V <= 13,5	1724	0.03841	0.88930	6662	287	0.11001	829
13,5 < V <= 14,5	1237	0.02756	0.91686	6650	206	0.06326	623
14,5 < V <= 15,5	1052	0.02344	0.94030	7034	175	0.05902	440
15,5 < V <= 16,5	733	0.01633	0.95663	7156	122	0.04349	325
16,5 < V <= 17,5	605	0.01348	0.96999	7256	101	0.03001	224
17,5 < V <= 18,5	476	0.0106	0.9806	7336	79	0.0194	145
18,5 < V <= 19,5	354	0.00789	0.98849	7395	59	0.01152	86
19,5 < V <= 20,5	198	0.00441	0.99290	7428	33	0.00711	43
20,5 < V <= 21,5	126	0.00278	0.99568	7449	21	0.00432	32
21,5 < V <= 22,5	80	0.00178	0.99746	7462	13	0.00254	19
22,5 < V <= 23,5	49	0.00109	0.99855	7470	8	0.00145	11
23,5 < V <= 24,5	24	0.00056	0.99911	7477	7	0.00049	4
24,5 < V <= 25,5	22	0.00049	1	7481	4	0	0
TOTAL	44886	1		7481	7481		

Vis: Límite superior de la velocidad del viento, en el intervalo de clase.



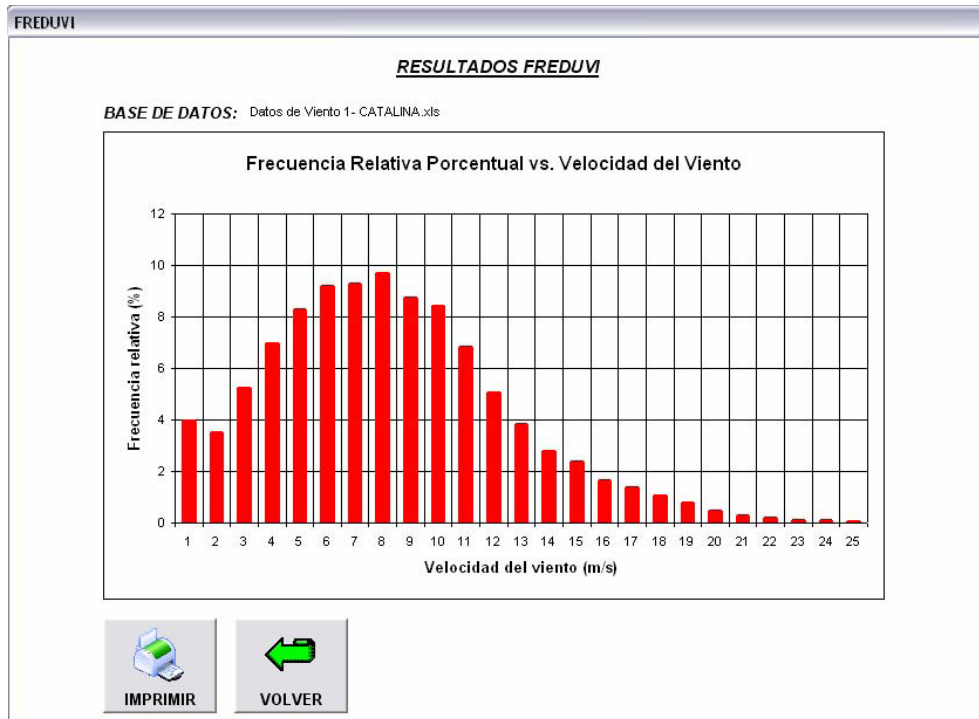
IMPRIMIR



VOLVER

Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 91.

Figura 33. Gráfico del Módulo FREDUVI



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 91.

2.3.6.1.4. Potencial eólico en función de la altura

El subprograma PEFUAL es un programa que determina el potencial eólico a diferentes alturas, al presionar el botón correspondiente a este módulo, se despliega una ventana que se visualiza en la figura 34. Donde se deben ingresar los datos correspondientes a la base de datos, como del terreno del emplazamiento donde se ha realizado la campaña de medición, o un lugar próximo a donde se instalará el aerogenerador o el parque eólico.

Al presionar el botón Calcular y posteriormente el botón Resultados, despliega la pantalla que se indica en la figura 35. Donde se presenta la densidad de potencia y la energía disponible en función a la altura, para un emplazamiento determinado.


Figura 34. Pantalla de ingreso del Módulo PEFUAL

POTENCIAL EÓLICO DISPONIBLE A DIFERENTES ALTURAS

POTENCIAL EOLICO DISPONIBLE A DIFERENTES ALTURAS

DATOS DE ENTRADA

1. Haga click en el botón "Ingresar velocidad y temperatura media" para ingresar la velocidad y temperatura media de la base de datos.



**INGRESAR VELOCIDAD,
TEMPERATURA MEDIA Y
NUMERO DE HORAS**



**INFORMACIÓN DE
RUGOSIDAD**

2. Ingrese las siguientes variables:

Velocidad media de la base de datos	8.3	(m/s)
Temperatura media en el periodo de análisis	5.92	(°C)
Número de horas para el cálculo del potencial	7493	(hr)
Altitud del emplazamiento	30	(m)
Altura de medición de la base de datos	10	(m)


Considerar atmósfera neutra
 Ingresar longitud de rugosidad del terreno
 Ingresar exponente de la ecuación potencial

Longitud de rugosidad del terreno 0.03 (m)

3. Haga click en el botón calcular.



CALCULAR



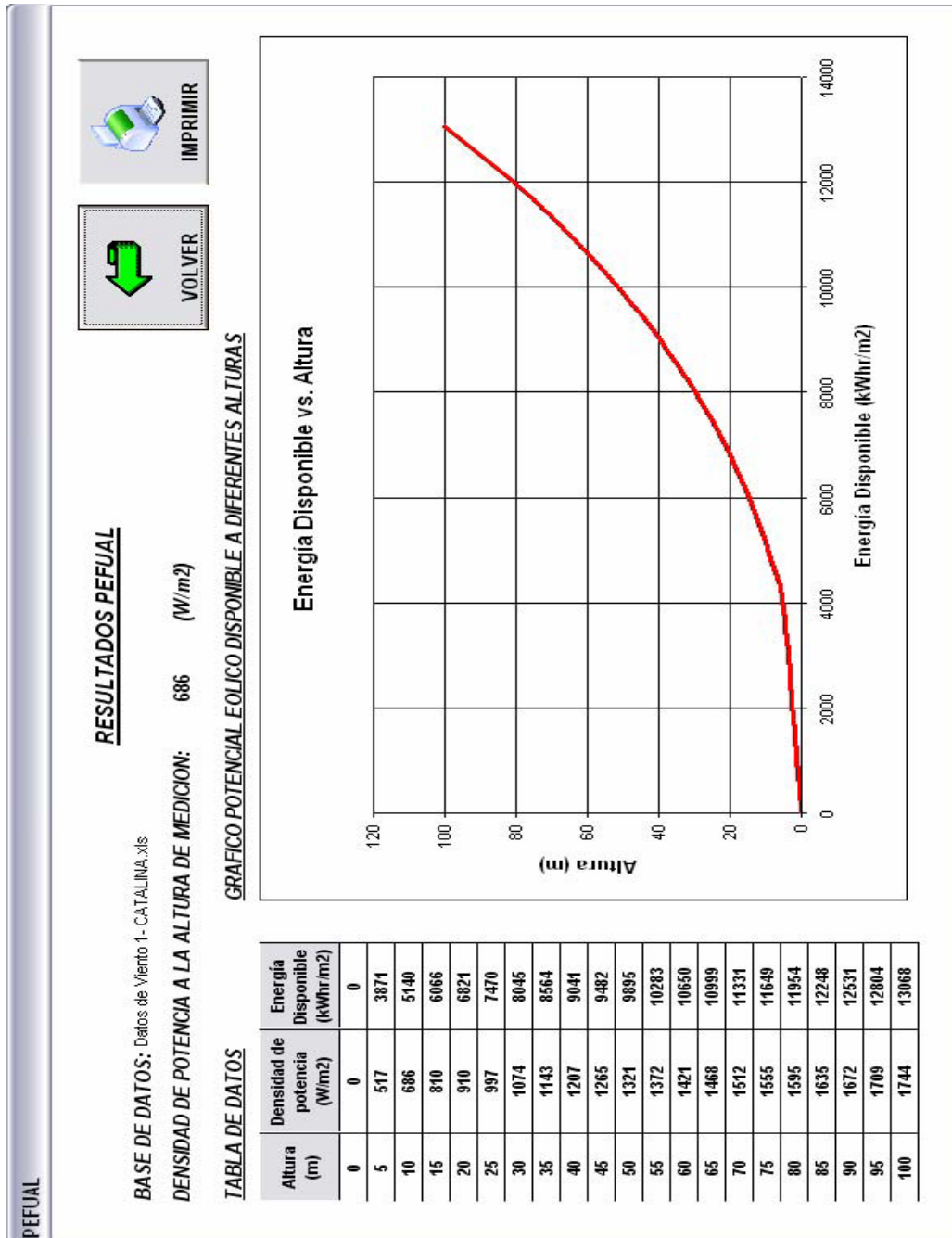
RESULTADOS



VOLVER

Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 97.

Figura 35. Gráfico del potencial eólico del Módulo PEFUAL



Fuente: OYARZO PEREZ, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos de híbridos eólico-diesel*. p. 97.

2.4. Criterios generales del viento para la selección del emplazamiento

El objetivo más importante en la selección de emplazamientos para instalaciones eólicas, es maximizar la captación de energía para reducir el coste de producción. La situación más usual es aquella en la que hay que determinar la producción energética en un emplazamiento, donde no han sido realizadas medidas de vientos. En general, los pasos a seguir serán:

- Estimación de los recursos eólicos en un lugar donde no existen registros de viento disponibles.
- Estimación de la energía eólica a la altura del buje de las aeroturbinas, normalmente diferente de la altura a la cual están recogidos los datos.
- Estimación de los recursos eólicos referidos a largo plazo en un lugar donde se dispone de datos referidos a un período corto de medidas.

Los factores meteorológicos más importantes que afectan al diseño, funcionamiento, emplazamiento y operación de un parque eólico son los siguientes:

- Velocidad media del viento, y sus variaciones, tanto diurnas, estacionales e interanuales.
- Distribución de probabilidades de velocidades.
- Variación con la altura de la velocidad y de la dirección.
- Distribución de direcciones y probabilidades de cambios bruscos de dirección.
- Variaciones estacionales y diurnas de la densidad del aire y variaciones con la altura.
- Características de las series temporales de altos vientos y de períodos de calma.

- Interacciones entre estelas de máquinas en los parques eólicos.
- Frecuencias de condiciones extremas de viento.
- Condiciones atmosféricas especiales.

Los emplazamientos óptimos han de cumplir una serie de características:

- Elevada velocidad media. Las velocidades medias han de ser lo más altas posibles en relación con la velocidad mínima establecida por el aerogenerador. El emplazamiento además, ha de tener buena exposición al flujo de aire y sin obstáculos.
- Variaciones diurnas y estacionales aceptables.
- Aceptables niveles de vientos extremos y turbulencia. Son estos factores que afectarán a la integridad estructural y vida útil del sistema. Hay que conocer la velocidad máxima alcanzada además de la probabilidad de que esta se produzca.

Los emplazamientos que suelen cumplir estas características se pueden incluirlos dentro de la siguiente lista:

- Pasos entre montañas en áreas de altos gradientes de presión.
- Largos valles descendiendo de cadenas montañosas.
- Llanos y llanuras elevados.
- Llanuras y valles con vientos altos asociados a fuertes vientos de gradientes de presión.
- Elevaciones con buena exposición, cimas de montañas de áreas de fuertes vientos de altura.
- Lugares costeros bien expuestos en áreas de fuertes vientos de altura o fuertes gradientes térmicos o de presión.

- Lugares con vegetación acusadamente deformada por la acción de los vientos dominantes.

En función del tipo de aplicación y tamaño de la instalación deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones.

- En el emplazamiento de instalaciones eólicas de pequeña potencia para uso local, la selección del emplazamiento está restringida a un área pequeña. En este caso, solo puede seleccionarse el emplazamiento más favorable, y estimar con relativa fiabilidad las características eólicas del emplazamiento, teniendo en cuenta los efectos de la topografía local y de las características de la rugosidad superficial del terreno.
- En el emplazamiento de grandes máquinas para producción eléctrica, los métodos empleados son bastante sofisticados. Además de un emplazamiento con buenas condiciones eólicas, hay que estudiar la viabilidad económica, la compatibilidad del diseño con las particularidades meteorológicas, así como los efectos medioambientales y de seguridad.
- En los grandes parques eólicos, la influencia de las estelas de las máquinas puede disminuir la potencia total comparada con la potencia equivalente de las máquinas individualmente. En general, la mejor disposición consistiría en ubicar el menor número posible de máquinas en la dirección paralela a los vientos predominantes y el mayor número posible en la dirección perpendicular. Para minimizar los efectos de las estelas en un parque, la separación lateral mínima recomendada entre máquinas debe estar entre 3 y 5 diámetros, y la separación en la dirección predominante del viento entre 7 y 10 diámetros.

En cualquier caso es necesario hacer un balance global de varios factores entre los que se incluyen la disponibilidad del terreno, los costes de infraestructuras, interconexión y la pérdida de energía que implicarían las diversas posibilidades.

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SENSORES UTILIZADOS PARA LA LECTURA DE LAS VARIABLES DE LA EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO

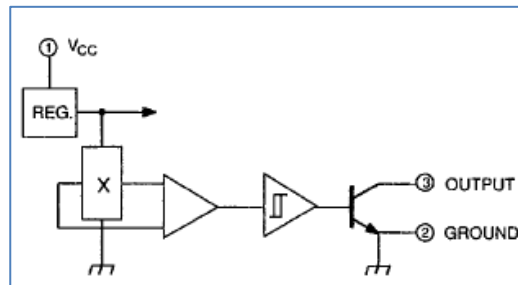
La definición y funcionamiento de los sensores a utilizar delimitan el área de aplicación, por lo que el estudio de las características básicas y que estén sean las adecuadas para la detección del rango de variaciones de los fenómenos en cuestión, es de suma importancia para la apropiada evaluación del recurso eólico.

3.1. Sensor de efecto Hall

Si fluye corriente por un sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente, entonces se puede calcular la fuerza del campo magnético, también se puede emplear para determinar el paso de pequeñas piezas magnéticas.

Los sensores de efecto Hall puede ser del tipo lineal, cuya salida es lineal con la magnitud del campo magnético presente o del tipo digital y en este caso la salida es la indicación de la ausencia (cero lógico) o presencia (uno lógico) de la fuerza magnética del campo. El esquema interno de uno de este tipo se muestra en la figura 36.

Figura 36. **Esquema interno del UGN3119**



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. UGN 3119, www.datasheetarchive.com/UGN3119-datasheet.html. Consulta: 20 de junio de 2014.

Características:

- Alimentación de 4,5 a 24 V
- Activa con pequeños magnetos permanente comercialmente disponibles
- Sin partes móviles
- De pequeñas dimensiones
- Amplitud de salida constante
- Amplia estabilidad térmica
- Resistente a estrés físico

3.2. **Sensor de humedad y temperatura digital DHT22**

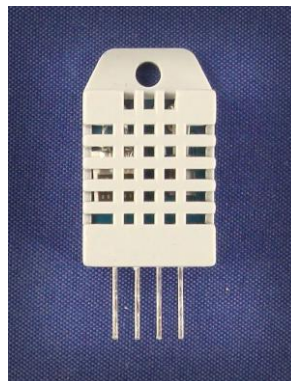
El sensor de humedad y temperatura, el DHT22, mostrado en la figura 37, con salida digital. Utiliza la exclusiva señal digital-collecting-technique y tecnología de detección de la humedad, asegurando su fiabilidad y estabilidad.

Este elemento de detección está conectado con 8-bits a un solo chip. Cada sensor de este tipo es compensado y calibrado en una cámara de

calibración precisa con un coeficiente almacenado en la memoria OTP, cuando el sensor está censando, se afecta cada lectura con el coeficiente de la memoria.

Bajo consumo y tamaño pequeño y distancia de transmisión larga (20 m), permite que se adapte a todo tipo de ocasiones toscas o en condiciones extremas. Empaquetado con cuatro pines, haciendo la conexión muy conveniente.

Figura 37. **Sensor de humedad digital DHT22**



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. UGN 3119, www.datasheetarchive.com/UGN3119-datasheet.html. Consulta: junio de 2014.

Características:

- Amplia gama de temperatura compensada
- Mide humedad relativa y temperatura
- Señal digital calibrada
- Sobresaliente estabilidad a largo plazo
- No necesita componentes extras

- Larga distancia de transmisión
- Bajo consumo
- Empaquetado con 4 pines que pueden ser removidos según la aplicación.

Especificaciones técnicas:

- Modelo: AM2303.
- Fuente de alimentación: 3.3-6V DC.
- Señal de salida: señal digital a través de un solo cable.
- Elemento de detección: humedad a través de condensadores Polímeros y un DS18B20 para detectar la temperatura.
- Rango de Medición: 0-100 % de humedad relativa, temperatura - 40 a+125 Celsius.

3.3. Sensor de altitud y presión MPL3115A2

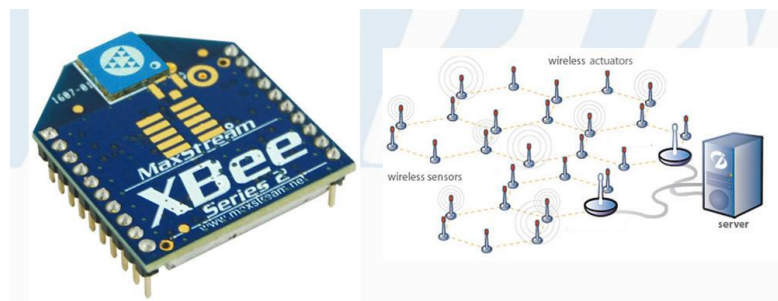
El Xtrinsic MPL3115A2 mostrado en la figura 38, emplea un MEMS sensor de presión con una interface I²C para proveer un dato de la medida de presión/Altitud y temperatura. La salida es digitalizada por un convertidor ADC con una resolución de 24 bits. Internamente realiza tarea de compensación para liberar al procesador central. Puede ser programado por múltiples usuarios, energía de seguridad, interrupciones y un modo de adquisición autónoma de datos está disponible, incluye una rutina de para la adquisición cíclica de datos y poll-onlymodes. El circuito consume 40µA de forma nominal para una medición en un segundo para una resolución de salida estable de 10 cm.

El MPL3115A2 se encuentra en un empaquetado LGA de 5mmx3mmx1,1mm y una temperatura de operación de -40 hasta 85 °C.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación de 1,95 a 3,6 v internamente regulado
- Voltaje de alimentación para interface digital de 1,6 a 3,6v
- Internamente compensado
- Lectura directa, compensada
- Presión: 20 bit de resolución (Pascals)
- Altitud: 20 bit de resolución (metros)
- Temperatura: 12 bit de resolución (grados Celsius)
- Programación de eventos
- Adquisición de datos autónomo
- Resolución inferior a 0,1m
- 32 muestras FIFO
- Disponible para registrar datos hasta 12 días usando el FIFO
- Tasa de medición de datos desde 1 segundo hasta 9 horas
- Interface de salida digital I²C (opera hasta 400 KHz)

Figura 38. **Barómetro**



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. UGN 3119, <http://1.bp.blogspot.com/-Xn-OBQnnuE8/TmaUp4ak57I/AAAAAAAAACZo/zyZYv2Wwuzc/s1600/red-sensores.jpg>. Consulta: 20 de junio de 2014.

3.4. Estación meteorológica (Weather Meters) de Sparkfun

La estación meteorológica, ver figura 39, consta de tres sensores, uno para medir la dirección del viento, otro para medir la velocidad del viento y una más para medir la cantidad de lluvia precipitada durante una tormenta, para conocer las características de cada uno de estos dispositivos se expone a continuación lo que revela la hoja de datos de este sistema de monitoreo meteorológico comercializado por Sparkfun.

Figura 39. Estación meteorológica de Sparkfun



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. <https://cdn.sparkfun.com/assets/parts/2/2/3/3/08942-01.jpg>. Consulta: junio de 2014.

El kit incluye veleta, anemómetro de cazoletas y una cubeta tipo báscula como pluviómetro, y con soportes para el montaje incluido. Estos sensores no contienen componentes electrónicos activos, en su lugar de utilizan láminas magnéticas cerrando interruptores e imanes para tomar medidas. Un voltaje de

alimentación debe estar suministrado a cada instrumento para producir una salida. Sobre un brazo plástico se montan los sensores de viento, veleta y anemómetro, sobre otro brazo se apoya también el anemómetro, estas dos piezas plásticas van sujetadas a un mástil de metal. Un cable corto conecta a los dos sensores de viento. Los tornillos se proporcionan para fijar los sensores en el brazo.

El sensor de lluvia puede estar montado en el mástil inferior utilizando su propio brazo de montaje y el tornillo, o puede ser montado de forma independiente.

El pluviómetro es un tipo de autovaciamiento de balancín, mostrado en la figura 40. Cada 0,011"(0,2794 mm) de lluvia provoca un cierre de contacto momentáneo que puede registrarse con un contador digital o entrada de interrupción del microcontrolador. El interruptor está conectado a los dos conductores centrales de los conectores RJ11.

Figura 40. **Pluviómetro de la estación Sparkfun**



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. <https://cdn.sparkfun.com//assets/parts/2/2/3/3/08942-04.jpg>. Consulta: junio de 2014.

La medida con el anemómetro instalada se ve en la figura 41, para censar la velocidad del viento se hace mediante el cierre de un contacto que se cierra magnéticamente un imán a medida que las cazoletas giran. Una velocidad de viento de 1 492 MPH (2,4 km/h) hace que el interruptor se cierre una vez por segundo. El interruptor del anemómetro está conectado a los dos conductores internos del cable RJ11 compartida por la veleta (pines 2 y 3).

Figura 41. **Anemómetro de copas de las estación Sparkfun**



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico.* <https://cdn.sparkfun.com//assets/parts/2/2/3/3/08942-02.jpg>. Consulta: junio de 2014.

La veleta es la más complicada de los tres sensores. Tiene ocho interruptores, cada uno conectado a una resistencia diferente.

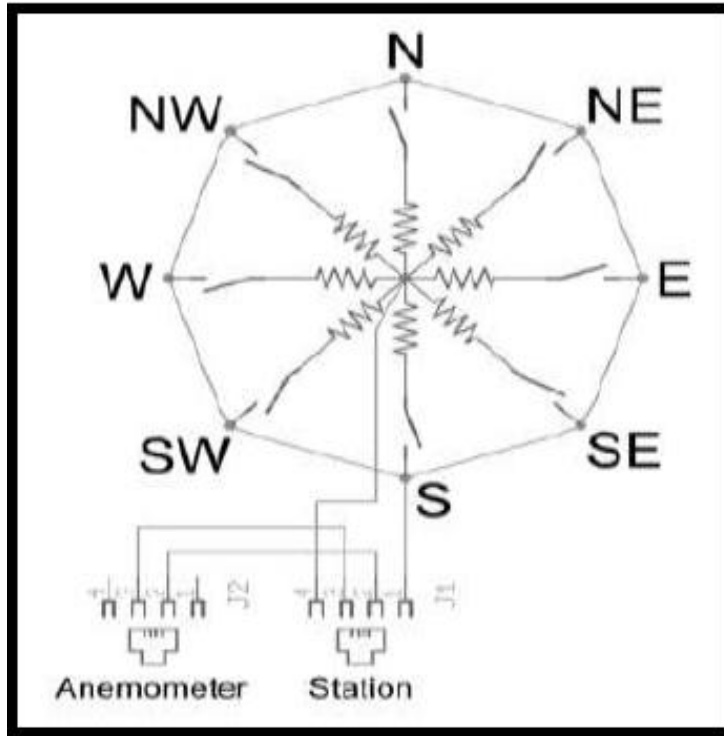
Figura 42. **Veleta de dirección de la estación Sparkfun**



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. <https://cdn.sparkfun.com//assets/parts/2/2/3/3/08942-03.jpg>. Consulta: junio de 2014.

La paleta del imán, véase la figura 43, puede cerrar dos interruptores a la vez, lo que permite tener hasta 16 diferentes posiciones como puede verse en la figura siguiente.

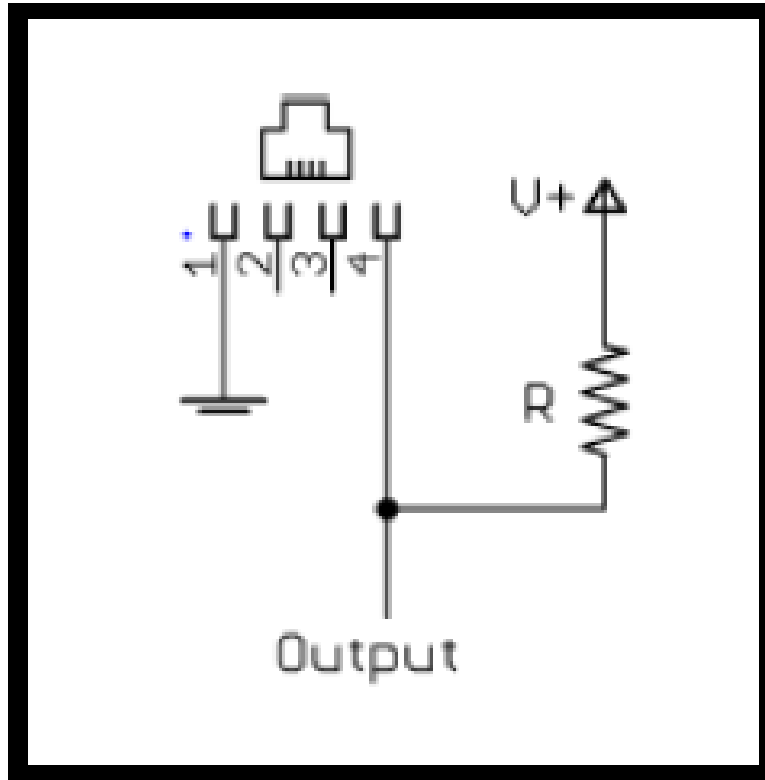
Figura 43. Posiciones que puede tomar la veleta



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. <http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly.pdf>. Consulta: julio de 2014

Una resistencia externa se puede utilizar para formar un divisor de voltaje, produciendo una salida de tensión que se puede medir con un convertidor analógico a digital, como se muestra a continuación en la figura 44.

Figura 44. Divisor de tensión el sensor de la dirección



Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. [http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20 Sensor%20Assembly.pdf](http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly.pdf). Consulta: julio de 2014

Puede consultar la tabla V para visualizar los valores de resistencia para todas las posibles posiciones (16 posiciones). Los valores de resistencia para las posiciones entre los que se muestran en el diagrama, son el resultado de dos resistores adyacentes conectados en paralelo, cuando el imán de la veleta activa dos interruptores simultáneamente.

Tabla V. **Posiciones posibles de la veleta**

Dirección (Grados)	Resistencia (Ω)	Voltaje (V)
0	33 k	3,84 v
22,5	6,57 k	1,98 v
45	8,2 k	2,25 v
67,5	891 k	0,41 v
90	1 k	0,45 v
112,5	688 k	0,32 v
135	2,2 k	0,90 v
157,5	1,41 k	0,62 v
180	3,9 k	1,40 v
202,5	3,14 k	1,19 v
225	16 k	3,08 v
247,5	14,12 k	2,93 v
270	120 k	4,62 v
292,5	42,12 k	4,04 v
315	64,9 k	4,78 v
337,5	21,88 k	3,43 v

Fuente: *Sensores para la lectura de las variables del recurso eólico*. <http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly.pdf>. Consulta: julio de 2014

4. DISEÑO DEL REGISTRADOR DE DATOS

El obtener y registrar datos del ambiente puede resultar en una tarea en algunos casos de 24 horas continuas, como en el caso de las variables de entorno medidas para determinar el potencial eólico. Además de uno de los hechos más importantes como lo es la ubicación en la cual se necesita tomar lecturas, montañas, playas y planicies, entre otros, que pueden presentar dificultades y condiciones muy riesgosas para la integridad humana. Para lo cual la aplicación de la tecnología es la vía segura para la adquisición de datos de la intemperie extrema.

Los desarrollos electrónicos resultan ser la forma más segura para la recolección de datos en ambientes extremos y con jornadas de hasta 24 horas, la aparición de microprocesadores y microcontroladores como herramienta para desarrollo de aplicaciones electrónicas, junto con la familia de sensores necesarios para la transformación de las variables ambientales en variaciones eléctricas que esta tecnología pueda interpretar, permiten el diseño de equipo que permita de forma casi autónoma la recolección de datos en ambientes que un encapsulado apropiado pueda soportar.

El dispositivo registrador de datos, el cual puede interactuar con casi cualquier ambiente y almacena los datos ambientales durante períodos de tiempo extensos, para que el usuario pueda en momentos controlados descargar los datos en una computadora para el análisis de estos.

4.1. Aplicaciones

Los registradores de datos pueden ser construidos para registrar todo tipo de datos ambientales. La temperatura y la humedad son las más comunes.

Según sea la necesidad pueden servir para otras aplicaciones. Por ejemplo han sido utilizados por muchos años en los servicios meteorológicos para medir la humedad, presión atmosférica, los niveles de precipitación y otros.

También un registrador de datos puede ser transportado, por ejemplo, para registrar la temperatura que hay dentro del contenedor de un camión de carga desde una planta hasta el centro de distribución.

4.2. Funcionamiento general

El usuario mediante el software de aplicación dedicada, que se encuentra en una computadora de escritorio configura de manera básica la comunicación con el modulo registrador de datos, velocidad de comunicación, formato de comunicación, intervalos de muestreo en minutos y el tiempo de inicio de lecturas operación.

La capacidad de almacenamiento de las muestras es un parámetro determinado básicamente por la memoria microSD, en donde se almacenará la información recolectada contando con capacidades de hasta 64 GB.

La hora en el registrador se carga desde la PC cuando este se programa con el software desarrollado que se define más adelante, una vez configurado el registrador, comienza con la ejecución de tareas tras presionar el botón de inicio.

4.3. Conceptos básicos

La construcción de un registrador debe presentar características básicas con que la mayoría de equipos comerciales cuenta, tales como: espacio para el almacenamiento de datos, puerto de comunicación para la configuración del equipo, puertos de comunicación para la comunicación con periféricos de sensores, puertos de entrada y salida digital paralela para la conexión de sensores del tipo *on-off*, puertos de entrada analógico para la lectura de sensores con respuesta continua a las variables del ambiente y programación del sistema para futuras actualizaciones.

4.3.1. Estandarización

- Almacenamiento de datos: el almacenamiento de los datos es una pieza sobre la cual se fundamenta un registrador de datos, ya que sin esta se tendría que chequear los datos de forma continua para poder recolectar los datos de manera correcta, pero en el caso de un registrador autónomo lo hace en el espacio de memoria ajena al del programa.

Trasladar los datos recolectados es otra parte fundamental del almacenamiento, por lo que el formato de almacenamiento de datos es generado como un archivo de extensión TXT, estructurado internamente como un archivo EXCEL para la interpretación correcta en la plataforma de análisis Procshed.

- Entradas analógicas: las entradas analógicas miden niveles de voltaje. Estas entradas pueden ser configuradas para hacer medidas simples (voltaje respecto a tierra. Se pueden medir también termopares,

termistores, pt100, puente de resistencias, cuerda vibrante y señales 4 a 20 mA.

- Entradas de alimentación y tierra: las entradas de alimentación y tierra permiten la fácil conexión de la fuente de energía, típicamente de 7 a 12 Vdc nominal, para alimentar al registrador. El registrador dispone de terminales 3.3 Vdc y 5Vdc que permite al registrador sacar alimentación a periféricos o sensores.
- Puertos digitales I/O: los puertos digitales leen estados, comunican con periféricos RS232 o sensores I²C, permitiendo el control de dispositivos externos. Cada puerto se configura de forma independiente dentro del programa de adquisición del registrador.
- Puertos comunicaciones/almacenamiento datos: el puerto RS-232 permite conectar el registrador al puerto serie de un PC mediante un cable RS-232, no requiere interface. También se puede implementar la comunicación RS-232 por software.

4.3.2. Tecnología propuesta para implementar el registrador de datos

En la actualidad existen diversidad de herramientas y equipos que permiten implementar un sistema registrador de datos. De forma general se puede mencionar el firmware y hardware.

El hardware por una parte es la mejor opción de tecnología que permite el desarrollo de aplicaciones, cuya necesidad de operar rápidamente es requerida, tal es el caso del diseño por métodos combinacionales, secuenciales,

transistores, amplificadores operacionales, memorias y otros, figura 45, que permitan tiempos de operación muy cortos. El tiempo de operación suele ser secundario algunas veces y se opta por la adaptabilidad, tal es el caso del diseño aquí planteado.

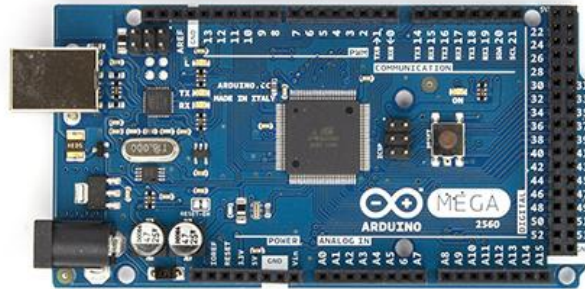
Figura 45. **Dispositivos discretos**



Fuente: Dispositivos discretos para el registrador de datos. <http://3.bp.blogspot.com/-yz8yTU02scY/UZm9vPQAdEI/AAAAAAAAACs/sEqwj7FQ6ig/s1600/ENCAPSULADOS.GIF>. Consulta: agosto de 2014.

El firmware, tecnología con tiempos de operación relativamente extensos pero que emplea hardware de propósitos generales o que se adapta fácilmente a muchas situaciones y en muchos de los casos, solo es necesario cambiar líneas de código para que sobre una misma placa de trabajo se pueda realizar una gran cantidad de tareas. Tal es el caso de los microcontroladores y placas base para estos, figura 46.

Figura 46. **Placas de desarrollo con microcontrolador**



Fuente: Placas de desarrollo con microcontrolador. http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3_Front_450px.jpg. Consulta: junio de 2014.

Ya que en principio se pretende desarrollar un sistema que sea fácilmente adaptable en el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, se opta por la utilización de hardware de propósito general que cubra las necesidades de adaptación y que requiera la modificación del programa para las otras tareas propuestas.

4.4. Criterios de construcción

Como parte importante en cualquier proyecto a realizar se deben tener las consideraciones mínimas e importantes, que no perjudique el buen desempeño del trabajo, por lo que en este capítulo se presentan las características generales de la solución al problema planteado. Tal es el caso del espacio que debe ocupar, la definición del hardware que lo comprenderá, consideraciones de la fuente de alimentación.

4.4.1. Materiales utilizados

La selección de los materiales para la construcción del registrador de datos delimita prácticamente los ambientes de operación, tiempo de operación y la adaptabilidad del sistema. El sistema se encuentra integrado por las secciones a continuación enunciadas:

- **Carcasa protectora:** de la carcasa protectora dependerá en parte el ambiente de trabajo del registrador de datos, para el caso del registrador esta deberá proteger el sistema electrónico de un ambiente dividido en temporadas altamente lluviosas, de mucho calor y vientos relativamente fuertes, además de las protecciones relacionadas con descargas electroatmosféricas. Por lo que se aconseja el uso de aluminio para la construcción de la caja protectora, por su característica de conductor que permite proteger del exterior sin oxidarse con la humedad, fácil manejo y protección de cargas que se encuentren en el aire.
- **Placa de desarrollo Arduino Mega 2560:** el microcontrolador es la parte fundamental del sistema pues en este recae parte de la adaptabilidad del sistema. Para este desarrollo se recomienda la utilización de la placa Arduino Mega 2560, el cual cuenta con un microcontrolador AVR ATMEGA2560, con un amplio espacio de memoria para programar y corriendo a 16 Mhz, destacado es su elevada cantidad de 54 pines de entrada y salida digital, 16 puertos de entrada analógica y sus 4 puertos UART por hardware. La placa puede ser alimentada vía USB, baterías de 9 v o desde un transformador AC de 9 v. El sistema Arduino funciona de forma permanente con 5 voltios y cuenta con un regulador para esto, pudiendo ser alimentado en un rango de 6 a 20 voltios.

- Estación meteorológica (veleta anemómetro y Pluviómetro): la estación meteorológica consta de tres sensores, uno para medir la dirección del viento, otro para medir la velocidad del viento y una más para medir la cantidad de lluvia precipitada durante una tormenta, este sistema de monitoreo meteorológico comercializado por Sparkfun. Sparkfun ofrece el kit con veleta, anemómetro de cazoletas y una cubeta tipo báscula como pluviómetro, y con soportes para el montaje incluido. Estos sensores no contienen componentes electrónicos activos, en su lugar de utilizan láminas magnéticas cerrando interruptores e imanes para tomar medidas. Un voltaje de alimentación debe estar suministrado a cada instrumento para producir una salida.
- Memoria microSD: la memoria de datos utilizada es del tipo MicroSD la cual está integrada al módulo Ethernet Arduino, la intención actual es la de contar con almacén de datos con suficiente capacidad para períodos extensos de funcionamiento del sistema registrador de datos.
- Sensores: los sensores son la otra pieza fundamental, en este caso el sistema no responde a un solo tipo de sensor, de respuesta digital o analógica. Ofrece al usuario la oportunidad de implementar el tipo de sensor que sea de utilidad para una aplicación específica que puede programar, en el software Arduino se escribe el código que se va a cargar, al controlador, mediante una conexión USB entre el ordenador y el registrador de datos.

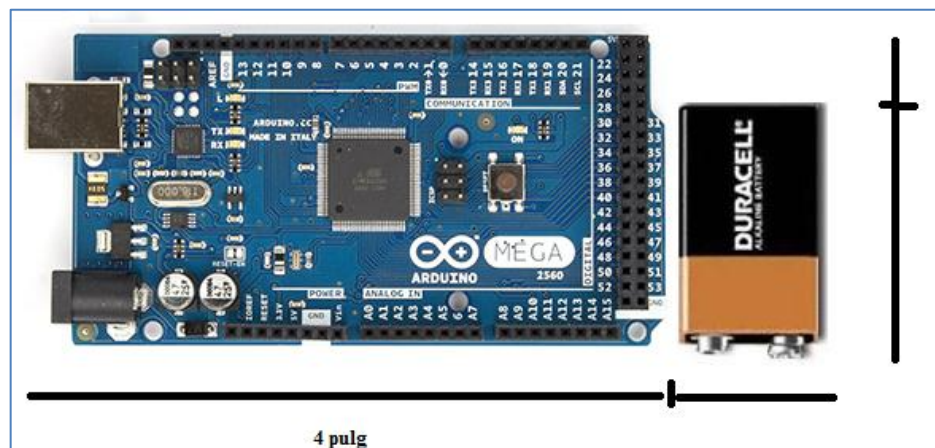
4.4.2. Características de tamaño y energía

Uno de los requerimientos esenciales de construcción del registrador es la portabilidad que el equipo ofrece, para transportarlo hasta los laboratorios y

lugares donde sea necesario realizar las mediciones en un ambiente en particular, y para cumplir con este detalle, es necesario que el dispositivo sea lo suficientemente pequeño y liviano, de tal manera que pueda ser instalado en espacios pequeños.

Las partes del registrador de datos deberá ser acoplado eficientemente dentro de una caja de 5x5 pulgadas, que permite el almacenamiento de una tarjeta Arduino Mega 2560 y una batería alimentadora de 9 v, las dimensiones del registrador de datos son las que se muestran en la figura 47.

Figura 47. Dimensiones de placa y alimentación



Fuente: Placas de desarrollo con microcontrolador. http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3_Front_450px.jpg Consulta: junio de 2014.

4.4.3. Circuito impreso

La placa del Mega 2560 fue desarrollada con el software Eagle, ver figura 48, y es de acceso para todos los desarrolladores en el momento que se requiera una modificación o integración a una tarjeta de mayor envergadura.

Figura 48. PCB de Arduino MEGA 2560



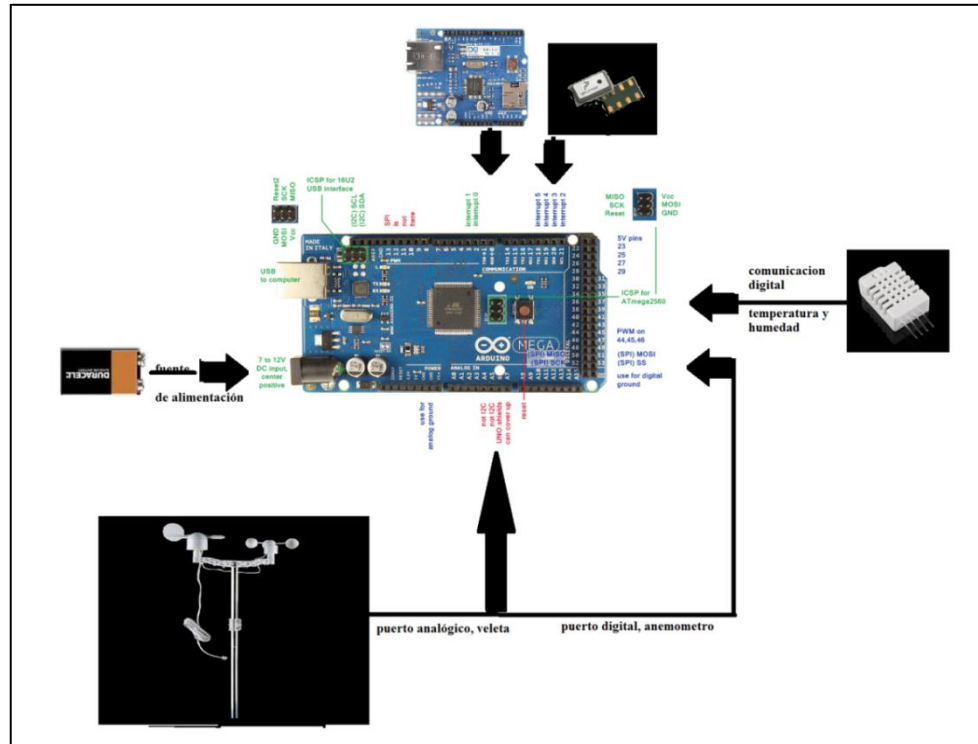
Fuente: PCB de Arduino MEGA 2560. <http://images.1233.tw/arduino-mega-2560-datasheet>.
Consulta: agosto de 2014.

4.5. Diagrama a bloques

La placa Arduino mega controla todas las operaciones que se realizan en el registrador de datos, por tanto, todas las partes están conectadas a esta placa, sensores, módulo Ethernet, alimentación, como se muestra en la figura 49.

El Arduino realiza la lectura a los sensores conectados al sistema cada cierto tiempo, configurado por el usuario, le coloca en una posición correlativa en espacio de memoria y tiempo en el cual fueron tomadas las lecturas de los datos, y los almacenará en la tarjeta microSD del módulo Ethernet.

Figura 49. Esquema de conexión del registrador de datos



Fuente: Placas de desarrollo con microcontrolador. http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3_Front_450px.jpg Consulta: junio de 2014.

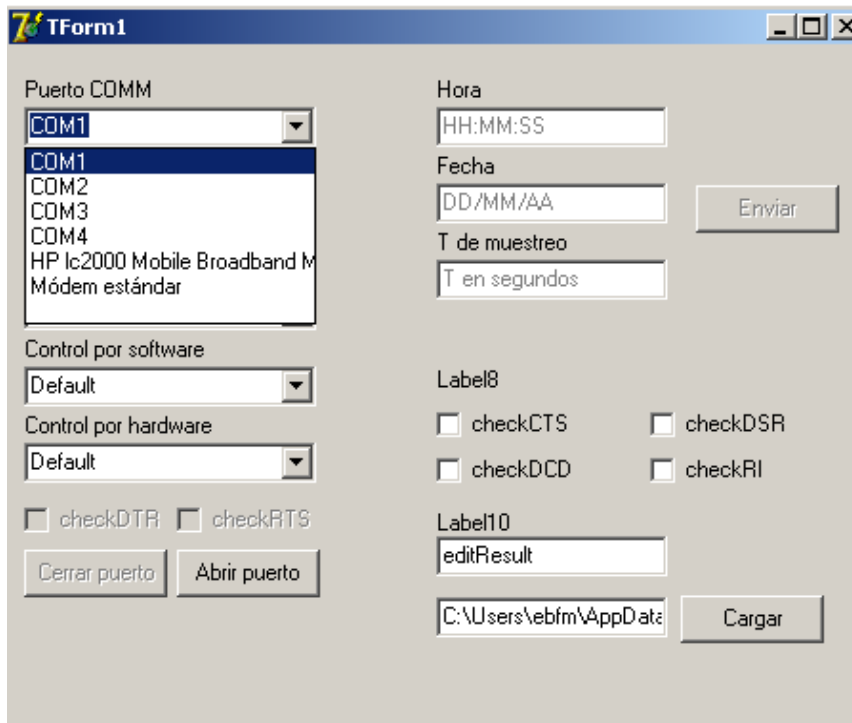
4.6. Configuración general

La configuración del registrador de datos realizada se basa más que nada en inicializar variables de tiempos, fechas y horarios de inicio de operaciones, además de configuración básica para la correcta comunicación de la computadora y el hardware del registrador de datos propiamente.

Se puede dar inicio con la configuración del puerto de comunicaciones a utilizar para la comunicación ente el software y el hardware, para lo cual el programa detecta y registra la existencia de los distintos puertos de

comunicación existente en la computadora, debiendo seleccionar el puerto por el cual se transmitirá la configuración, como se muestra en la figura 50.

Figura 50. Selección del puerto de comunicación



Fuente: elaboración propia, con programa TForm1.

En la figura 50 se muestra la existencia de seis puertos instalados en la computadora.

La sincronización durante la transmisión de la configuración es de suma importancia, para que se establezca el enlace entre la computadora y el registrador de datos, por lo que es posible la selección de las velocidades estándar del puerto de comunicaciones, como las que se muestran en el submenú desplegable de la figura 51.

Figura 51. Configuración de la velocidad de transmisión

The screenshot shows a software window titled 'TForm1' with a standard Windows title bar. The window contains several configuration fields and controls:

- Puerto COMM:** A dropdown menu currently set to 'COM1'.
- Velocidad COMM:** A dropdown menu currently set to 'Default'. Below it is a list box containing the following options: 'Default', '110', '300', '600', '1200', '2400', '4800', and '9600'. Below the list box is another dropdown menu also set to 'Default'.
- checkDTR:** An unchecked checkbox.
- checkRTS:** An unchecked checkbox.
- Cerrar puerto:** A button.
- Abrir puerto:** A button.
- Hora:** A text input field with the format 'HH:MM:SS'.
- Fecha:** A text input field with the format 'DD/MM/AA'.
- Enviar:** A button.
- T de muestreo:** A text input field with the label 'T en segundos'.
- Label8:** A section containing four checkboxes: 'checkCTS' (unchecked), 'checkDSR' (unchecked), 'checkDCD' (unchecked), and 'checkRI' (unchecked).
- Label10:** A section containing a text input field with the value 'editResult' and a text input field with the path 'C:\Users\ebfm\AppData'.
- Cargar:** A button.

Fuente: elaboración propia, con programa TForm1.

Otra propiedad importante que es necesario configurar es el formato en el cual se va transmitir el cuadro de información, como se muestra en la figura 52, se tienen tres opciones a seleccionar, el formato que el sistema operativo tiene actualmente, default, el formato sin bit de paridad, ocho bits de datos y un bit de paro además del formato con bit de paridad, siete bits de datos y un bit de paro.

Figura 52. Formato de la trama de transmisión

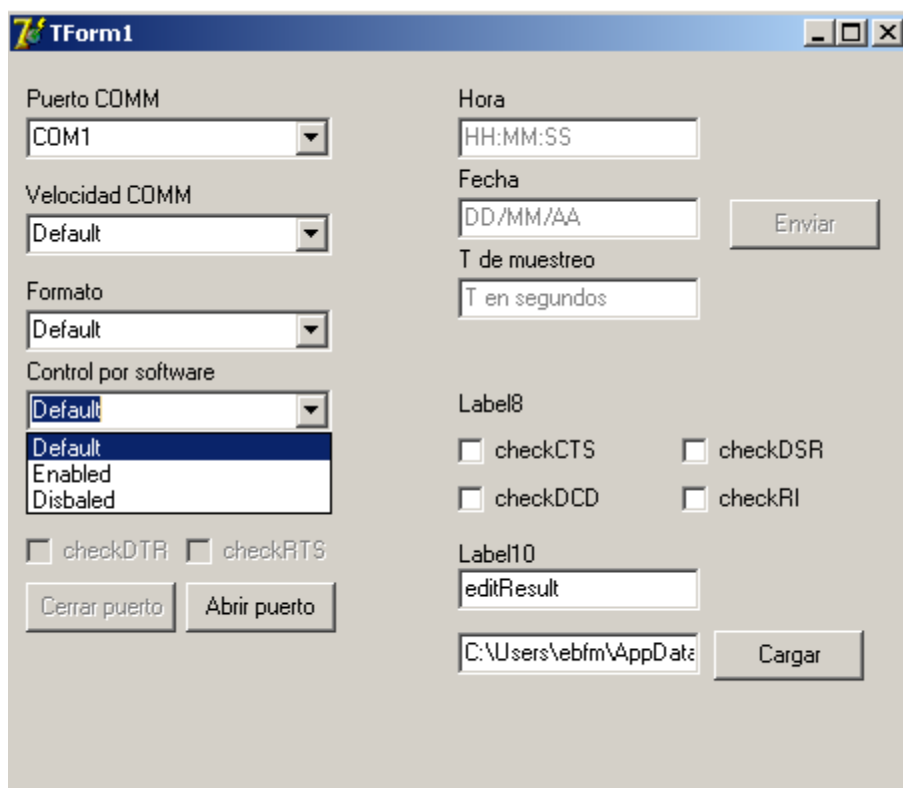
The screenshot shows the TForm1 application window with the following settings:

- Puerto COMM:** COM1
- Velocidad COMM:** Default
- Formato:** Default (with a dropdown menu open showing options: Default, n,8,1, e,7,1)
- Control por hardware:** Default
- checkDTR:** **checkRTS:**
- Cerrar puerto:** **Abrir puerto:**
- Hora:** HH:MM:SS
- Fecha:** DD/MM/AA
- T de muestreo:** T en segundos
- Label8:** checkCTS checkDSR checkDCD checkRI
- Label10:** editResult
- Cargar:** (with a text field containing C:\Users\lebfm\AppData\Local\Temp\)
- Enviar:**

Fuente: elaboración propia, con programa TForm1.

Las siguientes opciones en el menú que se muestra en la ventana de la figura 53 permite habilitar o deshabilitar, la transmisión controlada por software para los datos que serán transmitidos.

Figura 53. **Habilitación del control por software**



Fuente: elaboración propia, con programa TForm1.

La comunicación de los datos puede ser establecida a través del control de los pines CTS, DSR, DCD y RI, los cuales establecen la llamada comunicación por hardware, siendo esta habilitada o deshabilitada a través de la selección de la opción desplegable en la ventana que se muestra en la figura 54.

Figura 54. **Habilitación del control por hardware**

The screenshot shows the TForm1 application window with the following configuration options:

- Puerto COMM:** COM1
- Velocidad COMM:** Default
- Formato:** Default
- Control por software:** Default
- Control por hardware:** A dropdown menu is open, showing options: Default (selected), Enabled, and Disabled.
- Buttons:** Cerrar puerto and Abrir puerto
- Hora:** HH:MM:SS
- Fecha:** DD/MM/AA
- T de muestreo:** T en segundos
- Enviar:** Button
- Label8:** checkCTS, checkDCD, checkDSR, checkRI (all unchecked)
- Label10:** editResult
- File path:** C:\Users\ebfm\AppData\Local\TForm1\TForm1.ini
- Cargar:** Button

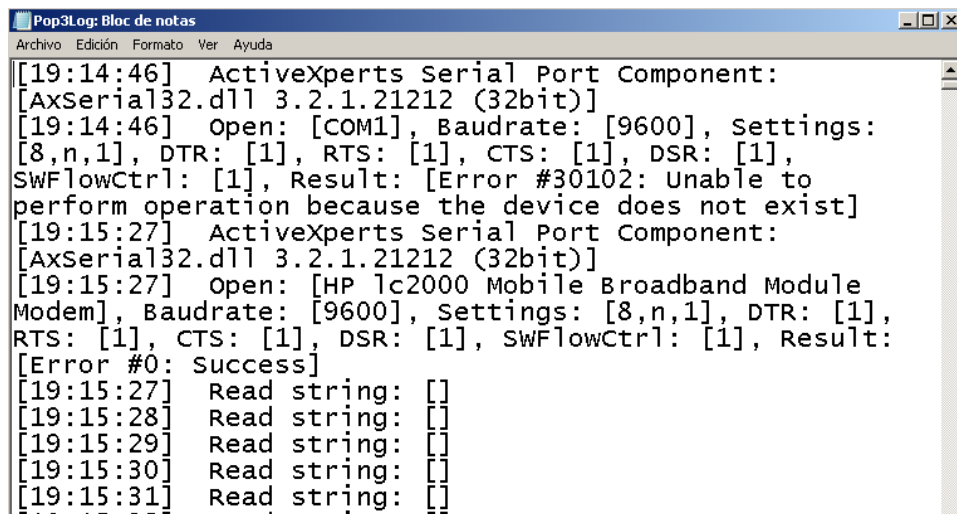
Fuente: elaboración propia, con programa TForm1.

Luego de la configuración para la realización de una comunicación exitosa, se deben ingresar los datos de inicialización para el registro de los datos, siendo esta la hora de inicio de la toma de datos, ingresada en un formato de horas, minutos y segundo (HH:MM:SS), que se ingresa en el cuadro de texto bajo la etiqueta de Hora. Luego de ser ingresada la hora en la que se dará inicio al registro de los datos, es necesario ingresar una fecha de referencia en la cual se dará inicio la recolección de los mismos, ingresándose en el cuadro de texto bajo la etiqueta de Fecha, y por último el parámetro del período que establece cada cuanto deberán ser registrados los datos, que se debe ingresar en el cuadro de texto bajo la etiqueta nombrada como T de

muestreo, como se muestra en cualquiera de las figuras de la 50 a la 54 en la parte superior derecha de la ventana.

Todas las acciones realizadas con los menús, botones y los chequeadores, es registrado en un archivo de registro que puede ser accesible a través de presionar el botón nombrado como Cargar, desplegando este un archivo de texto con las acciones ya realizadas como se muestra en a figura 55.

Figura 55. **Archivo de registro de actividades del software**



```
Pop3Log: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
[19:14:46] ActiveXperts Serial Port Component:
[AxSerial32.dll 3.2.1.21212 (32bit)]
[19:14:46] Open: [COM1], Baudrate: [9600], Settings:
[8,n,1], DTR: [1], RTS: [1], CTS: [1], DSR: [1],
SWFlowCtrl: [1], Result: [Error #30102: Unable to
perform operation because the device does not exist]
[19:15:27] ActiveXperts Serial Port Component:
[AxSerial32.dll 3.2.1.21212 (32bit)]
[19:15:27] Open: [HP lc2000 Mobile Broadband Module
Modem], Baudrate: [9600], Settings: [8,n,1], DTR: [1],
RTS: [1], CTS: [1], DSR: [1], SWFlowCtrl: [1], Result:
[Error #0: Success]
[19:15:27] Read string: []
[19:15:28] Read string: []
[19:15:29] Read string: []
[19:15:30] Read string: []
[19:15:31] Read string: []
```

Fuente: elaboración propia.

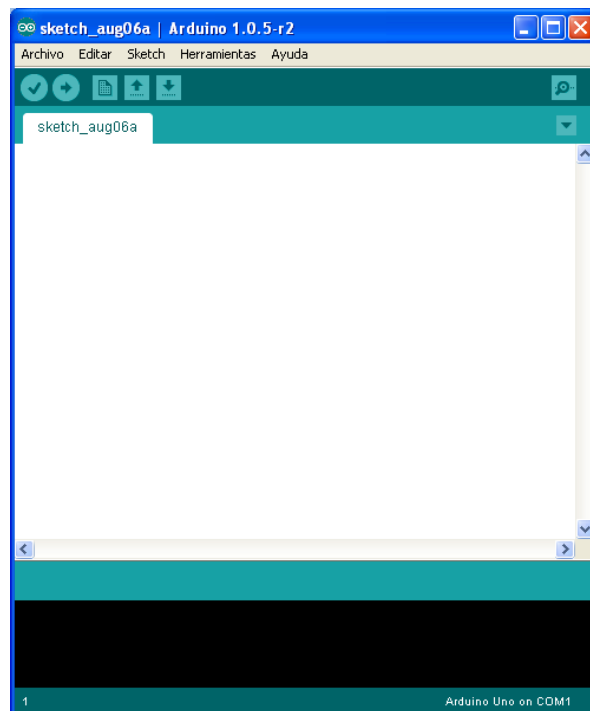
4.7. **Software de programación y diseño**

Como parte importante durante el planteamiento de la solución en todo proyecto están las herramientas de desarrollo, estas permitirán depurar y analizar de una forma lo más realista posible, lo que se proyectará en el diseño para que pueda llevarse a la realidad con el menor número de contratiempos durante la ejecución del proyecto.

4.7.1. Software de desarrollo

El entorno de desarrollo (IDE) permite escribir, compilar y programar el código para la tarjeta Arduino, desde un ambiente gráfico amigable que permite avanzar con mayor velocidad. Se dispone de versiones para Windows, Mac y Linux, como se muestra en la figura 56, para la versión de Windows.

Figura 56. Presentación del IDE Arduino

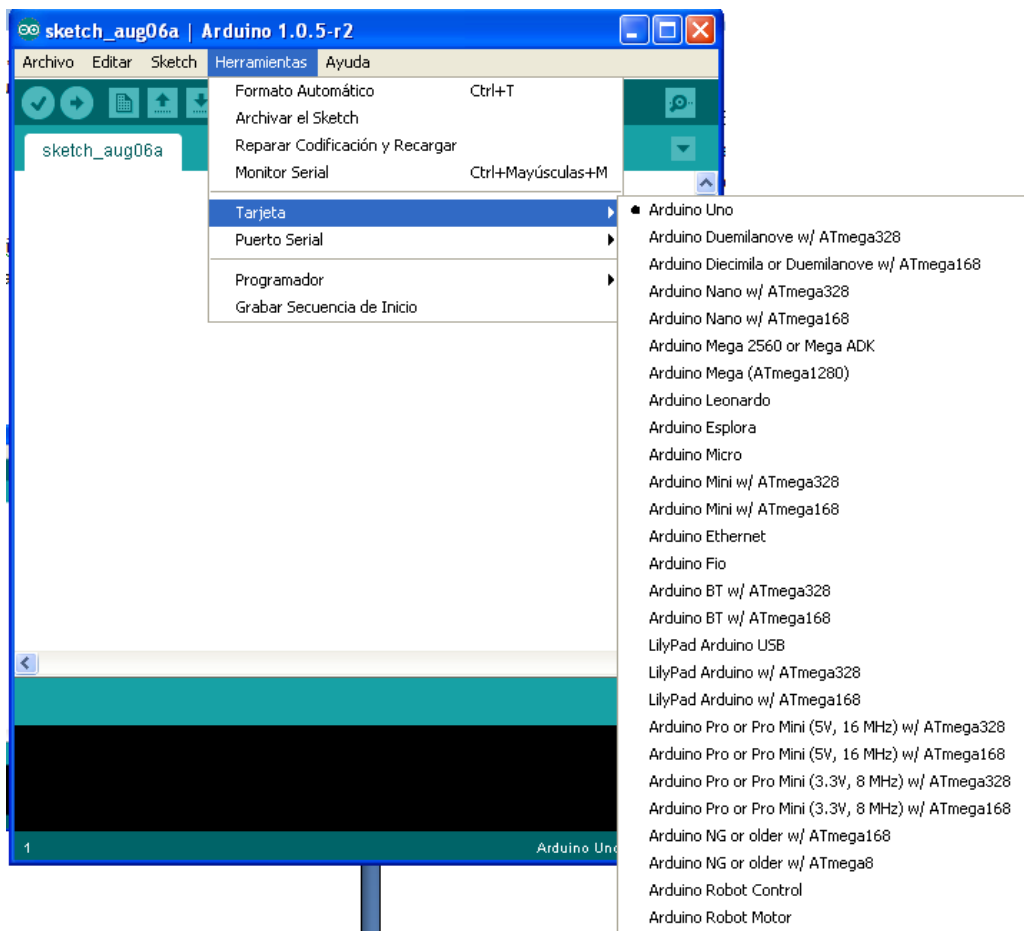


Fuente: Arduino 1.0.2 r2.

Si se dispone de una placa Arduino que cuente con comunicación USB es necesario instalar los drivers para la apropiada comunicación del software con el hardware.

La instalación del IDE responde al tradicional doble clic sobre el archivo ejecutable del instalador, siendo necesario proceder a una mínima configuración del entorno tan es esencial, como lo es la selección de la tarjeta sobre la cual se desea descargar el código, como se muestra en la figura 57.

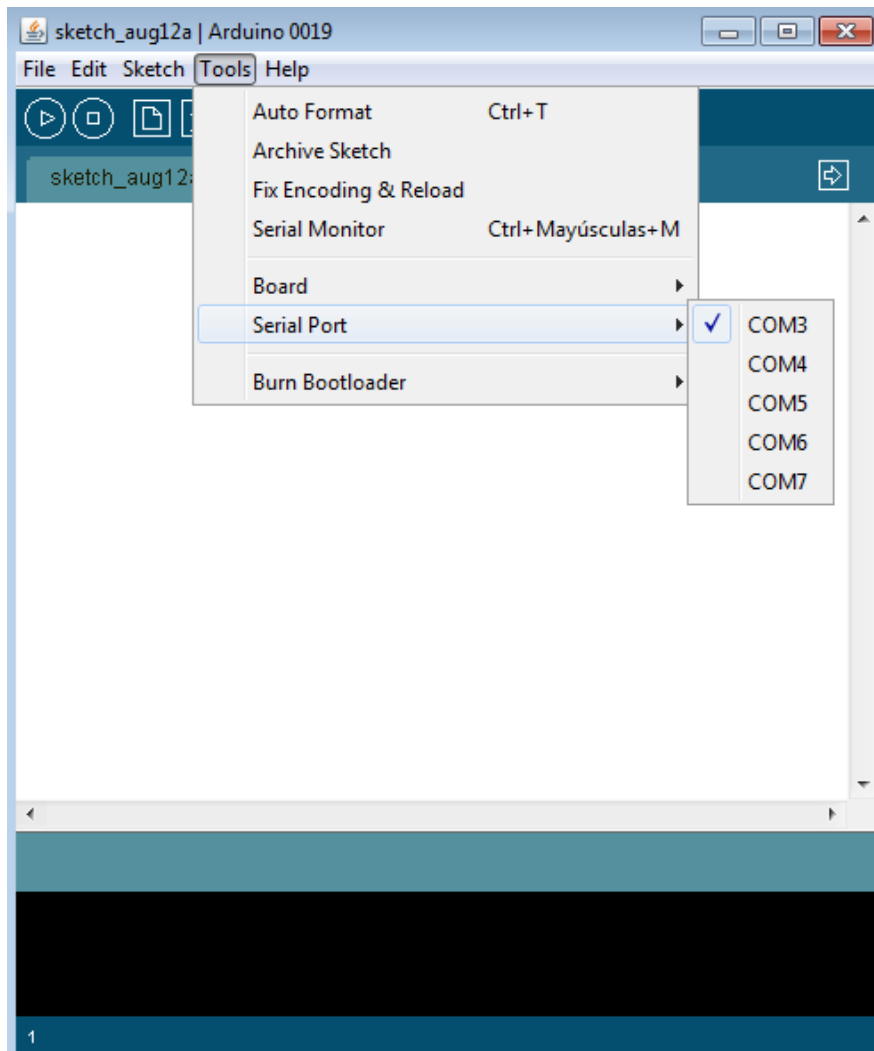
Figura 57. Selección de la tarjeta Arduino



Fuente: Arduino 1.0.2 r2.

Se seleccionará también el puerto serie asignado al controlador de Arduino (en este caso COM3), para ello se accederá al menú "Tools" - "Serial Port" - "COM3", como se muestra en la figura 58:

Figura 58. **Selección del puerto de comunicación al Arduino**

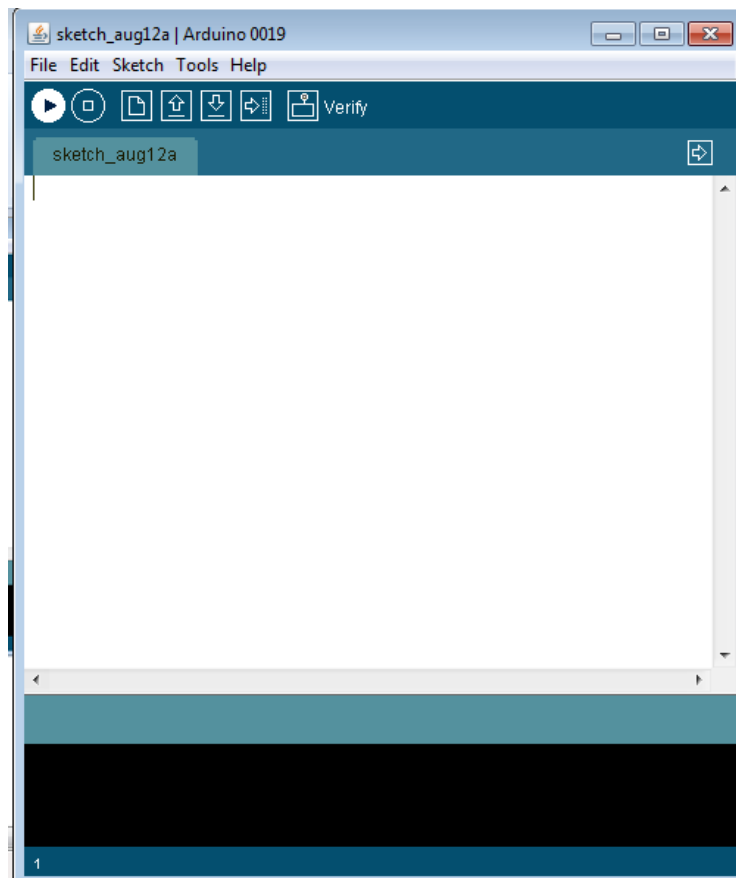


Fuente: Arduino 0019.

4.7.2. Software del grabado del código fuente del registrador de datos

El entorno de programación de Arduino es muy amigable ya que después de la pequeña configuración indicada en el inciso anterior, es posible cargar el programa y echar a andar cualquier proyecto después de la compilación del programa (verify), como se muestra en la figura 59 con botón de *play* dentro del círculo blanco.

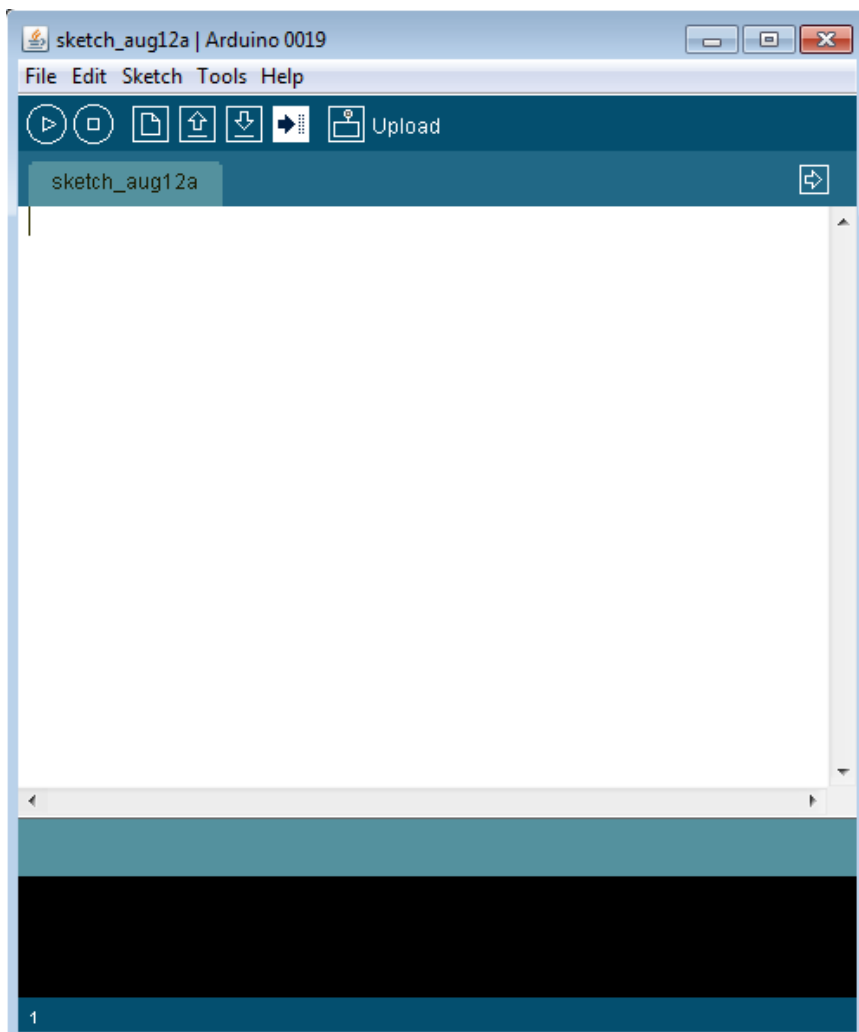
Figura 59. Botón de verificación del programa



Fuente: Arduino 0019.

Luego de verificar la estructura propia del programa se procede a cargar el código, presionando el botón para la descarga del programa a la tarjeta (Upload), como se muestra en la venta de la figura 60.

Figura 60. **Botón de descarga del software al Arduino**



Fuente: Arduino 0019.

4.7.3. Código fuente del registrador de datos

El código que realiza la tarea de leer la información del ambiente, esto a través de los sensores instalados en sus puertos, asignarle una posición en estos, configurar los módulos de sensores, agrupar datos, comunicarse con la memoria de almacenamiento, crear el archivo de almacenamiento darle formato a la información y almacenarla.

4.7.3.1. Declaración de librerías

El grupo de instrucciones siguientes, realizan la tarea de recopilar las instrucciones que permiten la comunicación con módulos específicos conectados a la tarjeta Arduino. Las cabeceras SD.h permiten la comunicación con el módulo Ethernet, que incluye una conexión a tarjetas de memoria microSD, Wire.h permite la comunicación con módulos que utilizan el protocolo I2C, MPL3115A2.h es utilizado para la lectura de datos relacionados con la presión atmosférica, DHT.h permite leer las condiciones ambientales de la temperatura y humedad relativa, y por último la cabecera EEPROM.h que instruye al Arduino las tareas de lectura y escritura, en el bloque de memoria EEPROM del microcontrolador de la tarjeta Arduino.

```
#include<SD.h>
#include<Wire.h>
#include<MPL3115A2.h>
#include<DHT.h>
#include<EEPROM.h>
```

4.7.3.2. Declaración de variables y asignación de puertos

En esta sección se procede a la asignación del tipo, posición física en la tarjeta Arduino y valores iniciales de variables que se utilizan durante algún proceso dentro del código del registrador de datos.

```
//DEFINICION DE PINES ASIGNADOS A LOS SENSORES Y MÓDULOS  
//ARDUINO
```

En las dos siguientes líneas se hace referencia a la asignación física del sensor del anemómetro, el cual es el pin 2 de la tarjeta Arduino.

```
//Anemómetro  
//pin 2
```

Otro sensor que necesita la asignación de un solo pin de entrada analógica es el sensor de la veleta, para esto se le asigna el pin con nombre A0 que corresponde a la primera entrada del tipo analógica.

```
//Dirección  
//pin A0
```

El módulo de Ethernet tiene como necesidad la asignación de cuatro pines de comunicación, siendo *MOS* y *MISO* pines de comunicación serial asignados a los pines 11 y 12 respectivamente, así como los pines de reloj (*CLK*) y el pin de selección a los pines 13 y 4 respectivamente. Permitiendo así la comunicación con la memoria de almacenamiento SD.

```
//Para la SD se tiene  
//MOSI = pin 11  
//MISO = pin12  
//CLK = pin 13  
//CS = pin 4
```

El siguiente bloque asigna los pines correspondientes al módulo sensor de presión siendo necesario los pines de alimentación (3.3v), de comunicación SDA y SCL a los pines de analógicos nombrados como A4 y A5 respectivamente, permitiendo así entenderse el módulo sensor y la tarjeta Arduino.

```
//Para el MPL3115A2  
//VCC = 3.3V  
//SDA = A4  
//SCL = A5
```

El módulo sensor de humedad y temperatura requiere de la comunicación a través del pin 47 de la tarjeta Arduino, para comunicación y la conexión al pin de alimentación (3.3v) y el pin de referencia GND asignado con el mismo nombre en la tarjeta Arduino.

```
//Para el DHT22  
//Vcc = 3.3 v  
//DHTPIN = 47  
//GND
```


Las siguientes dos líneas de código definen una constante entera llamada *chipSelect*, pin 4 del módulo Ethernet, que permite habilitar el módulo para su lectura y escritura. La otra instrucción crea una variable llamada *DatosLeidos*, del tipo *string* para el almacenamiento de información.

```
//DEFINICIONES PARA LA SD CARD
const intchipSelect = 4;
String DatosLeidos = "";
```

La primer línea del código siguiente define el pin en la tarjeta Arduino en donde se deberá instalar el módulo DHT, así como el tipo de sensor DHT se va utilizar, esto en la segunda línea del código.

```
//DEFINICIONES PARA DHT(TEMPERATUR Y HUMEDAD)
#define DHTPIN 47
#define DHTTYPE DHT22
```

En la siguiente línea del código se establece un nombre para el macro que corresponde al módulo sensor de temperatura y humedad, siendo asignado este como “*dht*”.

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//float Humedad = dht.readHumidity();
//float Temperatura = dht.readTemperature();
```

Se hace necesaria la creación de un arreglo de datos para el almacenamiento de los datos obtenidos por el sensor, por lo que la primera línea del código *intArrayDeDatos[]* es declarada para el almacenamiento de estos

```
//ARRAY DE DATOS LEIDOS
//[Velocidad,Dirección,Temperatura,Presión,Humedad]
intArrayDeDatos[] = {0,0,0,0,0};
```

Las dos instrucciones siguientes se muestran para la declaración de la variable, *UltimaLecturaMicros*, que almacene cuanto tiempo en microsegundos y *ProximaLectura* que establece el momento en cual se deber realizar la próxima lectura, teniendo como parámetro el tiempo establecido entre lecturas *T_Delectura*.

```
unsignedlong UltimaLecturaMicros;
unsignedlong ProximaLectura;
intT_Delectura = 5;
```

Las tres instrucciones que se muestran a continuación establecen el espacio de memoria, en el cual se almacenará la velocidad del viento (*VelocidadDelAnemometro*), el número de vueltas que el anemómetro realiza en un determinado en un período *T_Delectura* y el pin asignado (*PinVelocidad = 2*) para la salida del sensor del anemómetro.

```
//DEFINICIONES PARA ANEMÓMETRO
Float VelocidadDelAnemometro;
int Vueltas;
int PinVelocidad = 2;
```

Aquí se declaran los valores para el pin donde se conectará físicamente la salida del sensor de la veleta en la primer instrucción, para este caso la cantidad de posiciones (lecturas diferentes) que se pueden obtener (*intPosicionesDeVeleta = 16*) y un array conteniendo los valores en grados

sexagesimales que se pueden obtener con los interruptores de la veleta, como ya se indicó anteriormente.

```
//DEFINICIONES PARA VELETA
int PinLectura = 0;
int PosicionesDeVeleta = 16;
int GradosEnDecimal[] = { 65, 83, 92, 126, 184, 243, 286, 405, 460,600,
630, 702, 786, 827, 946, 978 };
float Grados[] = { 112.5, 67.5, 90, 157.5, 135, 202.5, 180, 22.5, 45, 247.5,
225, 337.5, 0, 292.5, 270, 315 };
```

Aquí se crea un objeto de nombre myPressure para hacer referencia al barómetro MPL3115A2.

```
//DEFINICIONES PARA BAROMETRO
MPL3115A2 myPressure;
```

Las siguientes declaraciones, tres variables para almacenar el contenido del buffer de entrada del puerto de comunicación serial *inputString*, *stringComplete* que indica cuando el puerto serial ha recibido el último carácter y la variable tipo char *HoraFechaEnvio* que recibe un indicador del tipo de dato que se está recibiendo, ya sea Hora de inicio de lecturas, fecha en que se dará inicio con las lecturas y el período de cada lectura a realizar.

```
//DEFINICIONES PARA LA COMUNICACIÓN SERIAL
String inputString = "";
boolean stringComplete = false;
char HoraFechaEnvio = ' ';
```

Las dos instrucciones que se muestran a continuación indican los pines que serán usados para indicar que el registrador de datos está activo, pin OnOff y el indicador de la existencia del archivo en la memoria SD.

```
// definción varios  
Int pinOnOff = 21;  
int PinArchivo = 22;
```

4.7.3.3. Configuraciones previo a ejecutar el programa principal

Como el sistema Arduino y su programación está enfocado a la utilización de módulos y sistemas de comunicación de la misma tarjeta, tiene establecido un espacio en la estructura para que todos estos sean configurados apropiadamente antes de su utilización. Esta parte del programa se realiza una sola vez al momento que el registrador se encuentra activo.

La instrucción *void setup()* enmarca el bloque de configuración de los módulos.

Las instrucciones *Serial.begin*, *dht.begin*, *Wire.begin*, *SD.begin* y *myPressure.begin* dan inicio a la operatividad de los módulos de comunicación serial, al módulo de humedad y temperatura, comunicación I²C el módulo Ethernet en donde se encuentra instalada la tarjeta de memoria SD y el módulo sensor de presión.

```
voidsetup()  
{
```

```
Serial.begin(9600);  
dht.begin();  
Wire.begin();  
SD.begin();  
myPressure.begin();
```

Las tres instrucciones siguientes se encuentran relacionadas con el módulo de barométrica, indicando la primera instrucción que el dispositivo es puesto en su modalidad de barómetro, una segunda instrucción que establece la cantidad de muestras antes de entrar en un estado de desborde por la cantidad de muestras tomadas y la tercera habilita el sistema de banderas para los eventos de presión.

```
myPressure.setModeBarometer();  
myPressure.setOversampleRate(7);  
myPressure.enableEventFlags();
```

El bloque comprendido por la sentencia *if* es utilizado para establecer el estado de la memoria SD, preguntando si la inicialización de la memoria *SD.begin(chipSelect)* se puede establecer, de no poderse se ejecuta una única instrucción, *return*, en caso contrario se establecen dos pines para la indicación del estado del registrador de datos, *pinMode(pinOnOff,INPUT)* otro, *pinMode(PinArchivo,OUTPUT)*, para indicar la existencia del archivo. Donde se almacenará la información dentro de la memoria.

```
if (!SD.begin(chipSelect))  
{  
    //Aqui se puede establecer un led indicador de SD  
    //Indicando la falta de este
```

```

return;
}
//Si llega aqui se indica que la tarjeta esta inicializada
pinMode(pinOnOff,INPUT);

//Se inicializar el pin indicador del estado del archivo en la SD
pinMode(PinArchivo,OUTPUT);
}

```

4.7.3.4. Definición de funciones

Otra parte de la estructura del programa es la sección donde se definen las funciones que serán llamadas dentro del programa principal. Por lo que aquí se presentan cada una de las funciones declaradas en el programa principal.

La función *GuardarEeprom* es utilizada para guardar un pequeña estructura de 9 bits, siendo las estructuras, por ejemplo la fecha, hora del inicio del muestreo y el período de entre muestreos. La estructura del *for* es solamente la instrucción de almacenamiento en el espacio de memoria EEPROM la cual requiere la dirección $x + Posicion$ en donde se almacenará cada caracter, la variable x es la que indica el subsiguiente espacio de memoria en donde se debe almacenar, empezando en la casilla de memoria ubicada con el valor almacenado en *Posición*.

```

/*****/
voidGuardarEeprom(String Palabra, intPosicion)
{
for (int x= 0; x < 10; x++)

```

```

    {
    EEPROM.write(x + Posicion,inputString[x]);
    }
}

```

```

void serialEvet()
{

```

La sentencia *while* se mantiene durante los períodos de tiempo que el puerto serial se encuentre recibiendo caracteres, la recepción de caracteres se realiza con la instrucción *Serial.read* y almacenándola en la variable *inChar*. La siguiente sentencia condicional verifica que si el caracter recibido es uno de los caracteres especiales (F, H o T), de ser este uno de los caracteres se almacena en *HoraFechaEnvio* para luego ser realizada una acción según se clasifica dentro de la estructura del *switch*, si el caracter recibido es distinto a los ya mencionados entonces es almacenado en *inChar*.

```

while (Serial.available())
{
char inChar = (char)Serial.read();
if (inChar != ('F' | 'H' | 'T'))
{
inputString += inChar;
}
else
    HoraFechaEnvio = inChar;

if (inChar == '\n')
{

```

```
stringComplete = true;
```

La estructura del *switch* realiza según el carácter almacenado en *HoraFechaEnvio* el guardado en la memoria EEPROM en la posición inicial cero para la Fecha, posición inicial diez para la Hora y posición inicial 20 para el período de muestreo.

```
switch (HoraFechaEnvio)  
{  
case 'F':  
    //Se ingresa la fecha en formato DD/MM/AA  
    GuardarEeprom(inputString,0);  
    HoraFechaEnvio = ' ';  
break;  
case 'H':  
    //Se ingresa la hora en formato HH/MM/SS  
    GuardarEeprom(inputString,10);  
    HoraFechaEnvio = ' ';  
break;  
case 'T':  
    //Se ingresa el período en mseg  
    GuardarEeprom(inputString,20);  
    HoraFechaEnvio = ' ';  
break;  
}  
  
}  
}  
}
```


condicional único de la función, realizando una auto suma con la variable Vueltas y almacenando la lectura del tiempo en μ s en la variable *ÚltimaLecturaMicros*.

```
/******  
voidAnemómetroFlag()  
{  
if((micros() - ÚltimaLecturaMicros) > 500)  
{  
    Vueltas++;  
    ÚltimaLecturaMicros = micros();  
}  
}
```

El cálculo de la velocidad del viento se realiza dentro de la función siguiente, basándose en la información proporcionada por Sparkfun, el fabricante del anemómetro utilizado en el diseño, la cual indica que se desarrollara una vuelta cada segundo para una velocidad calibrada de 2,4 Km/h por lo que la velocidad para un viento cualquiera puede ser determinado por el producto de 2,4 (Km/h) y la razón del número de vueltas por segundo que fueron detectadas, retornando un valor igual a la velocidad de lineal del anemómetro.

```
/******  
float Velocidad()  
{  
    PróximaLectura = (millis() + T_Delectura*1000)/1000;  
    VelocidadDelAnemómetro = 2.4*Vueltas/T_Delectura;  
    Vueltas = 0;
```

```

return VelocidadDelAnemómetro;
}

```

La función que lee la dirección del viento, llamada *Dirección* realiza lecturas periódicas en el pin asignado para el sensor de la veleta, indicado a la función como un parámetro de entrada llamado *pin*. La lectura del voltaje resultante a la función se realiza con la función *analogRead* y luego realizando un ciclo de búsqueda, con la sentencia *for* dentro de la matriz *GradosEnDecimal* y comparando este valor analógico con el ya almacenado, si esta condicional resulta verdadera termina la ejecución de la función, retornando el valor correspondiente en grados que se encuentra almacenada en la matriz *Grados* en la misma posición donde resultó verdadera la última sentencia condicional.

```

/*****/
float Direccion(int pin)
{
int LecturaVeleta = analogRead(pin);
int x = 0;
for(x = 0; x < PosicionesDeVeleta; x++)
{
if(GradosEnDecimal[x] >= LecturaVeleta)
{
break;
}
}
return Grados[x];
}

/*****/

```

4.7.3.5. Programa principal

Como en todo lenguaje de programación estructurado existe un orden establecido en donde se declaran todas las instrucciones, funciones y procedimientos que ejecutan la tarea establecida. Siendo en este caso dentro de la función principal *loop*.

La primer tarea a realizar dentro del cuerpo principal del programa es la de condicionar la lectura y escritura de los datos, al hecho que el *pinOnOff* se encuentre habilitado y después dentro del condicional *if*, que el tiempo transcurrido sea igual o mayor al establecido entre lecturas. Para luego realizar una recopilación de datos de los sensores y almacenar los dentro del *string DatosLeidos*, los datos de los sensores son convertidos a un *string* separados por tabulaciones para que sea compatible con el formato del programa Excel, que será usado para alimentar como información al programa Proshed. Por último este *array* es almacenado dentro de la memoria SD con el llamado de la función *GuardarDatos* que recibe el *array* como parámetro de entrada.

```
void loop()
{
  //Mientras sea habilitado el pinOnOff
  while (digitalRead(pinOnOff))
  {
    if (millis() >= PróximaLectura*1000)
    {
      DatosLeidos = String(int(Velocidad))+
        "\t" +String(int(Direccion(PinLectura)))+
        "\t" +String(int(dht.readTemperature()))+
        "\t" + String(int(myPressure.readPressure()))+
```

```
        "\t" +String(int(dht.readHumidity()))+ '\n';
    GuardarDatos(DatosLeidos);
    }

}

}
```

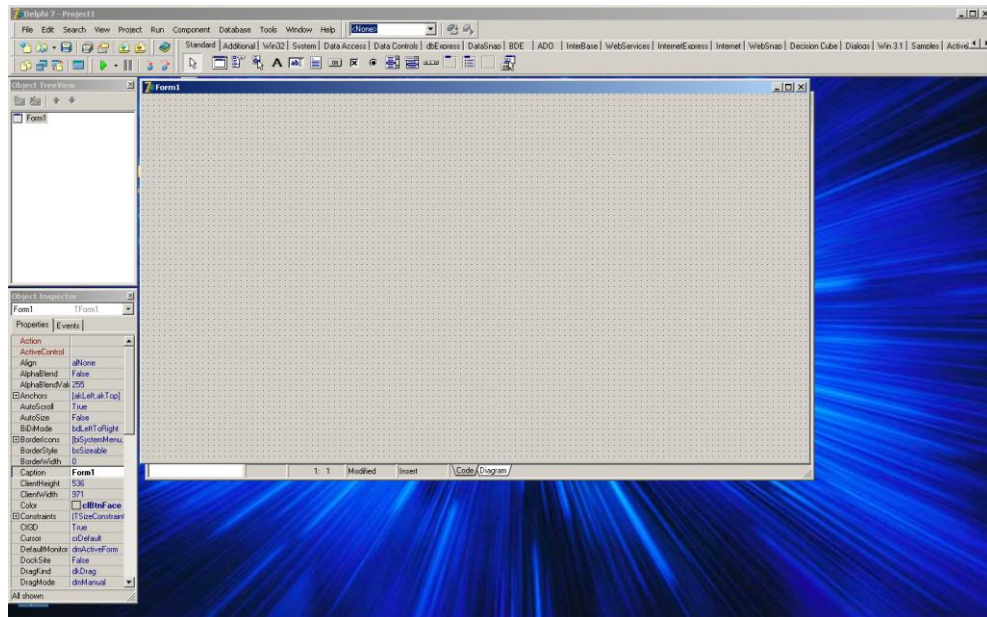
4.8. Software para el acceso a datos almacenados en el registrador de datos

La mayoría de los usuarios de un ordenador son, a su vez, usuarios de aplicaciones informáticas que se adaptan, más o menos, a sus necesidades. Muchas de estas aplicaciones, como las hojas de cálculo. Las bases de datos o procesadores de textos, son de uso genérico, no aplicaciones hechas a medida de un usuario determinado. Diseñar y crear sus propios programas, lo que tradicionalmente se ha entendido por programar, es cada día más fácil, gracias a la existencia de herramientas de desarrollo como Borland Delphi. Esto es porque gran parte del trabajo se ve reducido con el hecho de que se programa la presentación de la aplicación, con solo arrastrar objetos y desarrollando el código de lo que estos objetos realizarán.

4.8.1. Lenguaje de programación Delphy

El entorno de desarrollo, también conocido como IDE, se muestra al iniciar Delphi integrando todas las herramientas necesarias (Editor de código, Editor de imágenes, Depurador, Herramientas de conexión a bases de datos, fichas de componentes, entre otros.) para desarrollar las distintas aplicaciones. En la figura 61 se muestra su entorno.

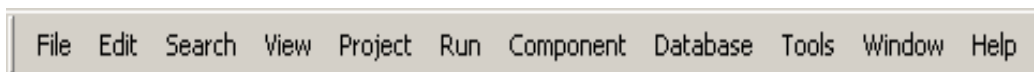
Figura 61. Entorno de programación Delphi



Fuente: elaboración propia, con programa Delphi 7.

- Menú Principal: en este puede tener acceso a casi todos los diferentes submenús, como: definir las opciones de compilación, personalizar las fichas de componentes o agregar nuevas, guardar o abrir proyectos entre otras, como se muestra en la figura 62.

Figura 62. Menú principal



Fuente: elaboración propia, con programa Delphi 7.

- Barra de Herramientas: esto es solo un conjunto de botones, figura 63, de acceso rápido a las diferentes opciones del menú, lo cual facilita ejecutar las acciones más utilizadas de una manera más rápida. Dando un clic sobre ellas con el botón derecho del ratón se podrá configurarlas. Dentro de las barra de herramientas podemos encontrar las que se listan enseguida:

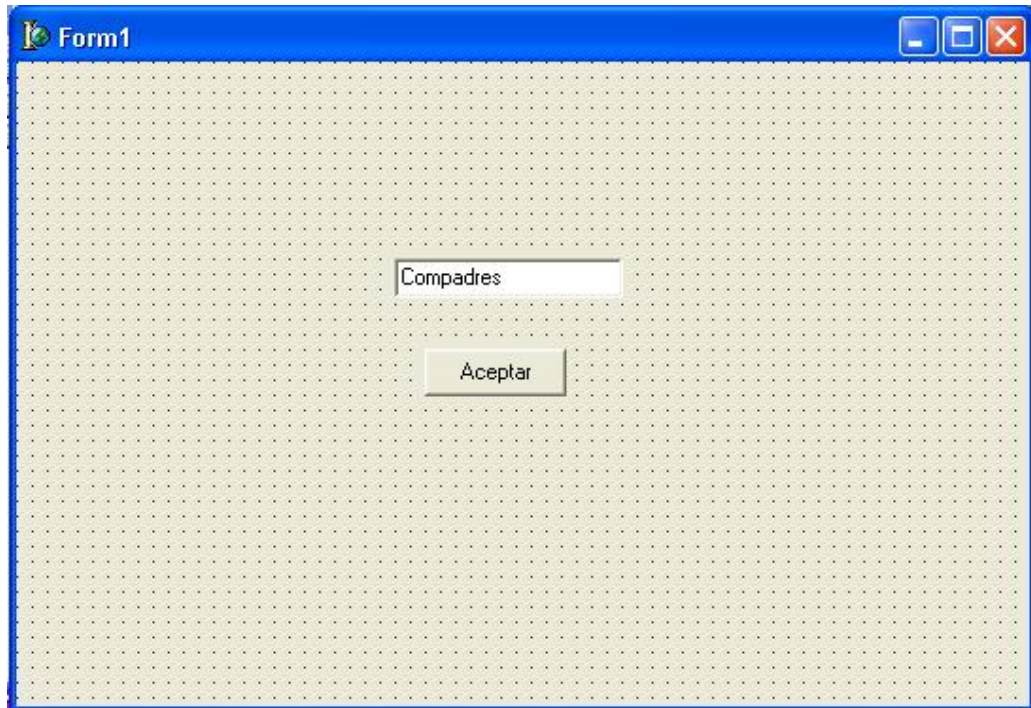
Figura 63. **Barra de herramientas**



Fuente: elaboración propia

- Formulario o Form: es la pieza principal del diseño de las aplicaciones, es el contenedor final de otros componentes que finalmente constituirán la aplicación. El formulario, como se muestra en la figura 64 es un componente más de Delphi por lo cual tiene propiedades y eventos, los cuales se pueden alterar y trabajar con ellos. Para aquellas personas que emigran de lenguajes de programación lineal como C o Clipper, tengan en cuenta que se utilizarán tantos formularios como su aplicación los requiera.

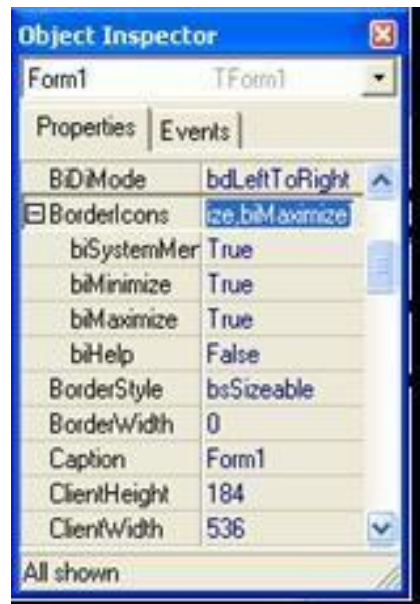
Figura 64. **Formulario**



Fuente: elaboración propia, con programa Delphi 7.

- Inspector de Objetos: este permite modificar las propiedades y respuestas a sucesos o eventos de los componentes, sus datos muestran el estado del componente seleccionado o del mismo formulario. Está dividido en dos partes en forma de pestañas o solapas una que dice Properties y Events. A continuación se muestra las propiedades del formulario, figura 65.

Figura 65. Inspector de objetos



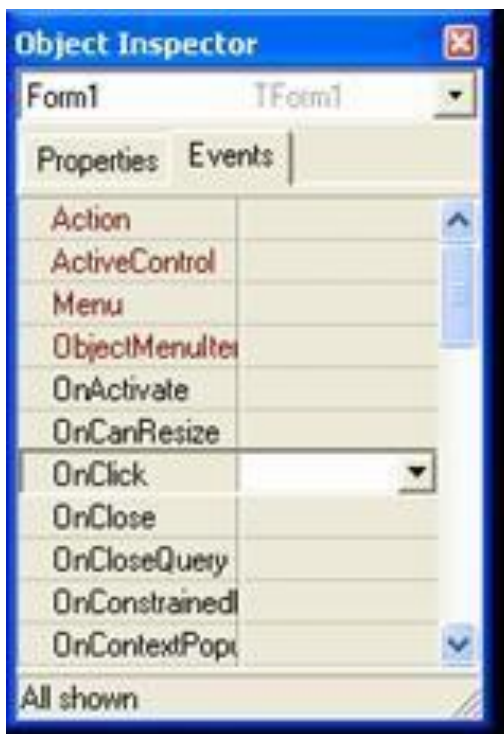
Fuente: elaboración propia, con programa Delphi 7.

- Border Icons: tiene cuatro opciones mismas que reciben un valor falso o verdadero (True o False), de las cuales dos son muy útiles y se empezará por la de biMinimize, esta opción está en True por default y permite que el formulario se pueda minimizar. biMaximize por default está en True y permite que el formulario se pueda maximizar en tiempo de ejecución.
- Caption: esta es una propiedad importante debido a que es aquí en dónde se escribe el texto de la barra de título del formulario, es alfanumérica y por *default* tendrá el nombre del formulario (Form1 en este caso).

- Name: es el nombre del componente, por *default* aparecerá Form y el número de formulario, en este caso es Form1, este se puede modificar y ponerle un nombre que se quiere, se debe hacer de cuenta que el formulario es una variable y la propiedad Name tiene el nombre de esa variable.

Los eventos son sucesos que detecta el formulario y según el suceso detectado se ejecuta su código, existen varios eventos, como se muestra en la figura 66. Para introducir el código basta con dar doble clic en la parte derecha del evento a utilizar y Delphi automáticamente crea el procedimiento de dicho evento y muestra el editor de código.

Figura 66. **Eventos**



Fuente: elaboración propia, con programa Delphi 7.

4.8.2. Código fuente del programa de comunicación

El código de Delphi que permite la configuración básica a través del puerto de comunicación RS232 y una interface gráfica, entre el usuario y el registrador de datos se muestra a continuación

La primera línea que se muestra es la de unit Unit1, la cual indica el archivo propio sobre el cual se edita todo el código.

```
unit Unit1;
```

Las siguientes líneas permiten visualizar el código o instrucciones necesarias para la ejecución del código principal.

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,  
Forms, Dialogs, AxSerial_TLB, ShellAPI, StdCtrls, ExtCtrls,ActiveX;
```

Dentro de la sección “type” se declaran los objetos que se encuentran sobre la ventana o Form1 del proyecto, tal como etiquetas, editores de texto, botones, chequeadores y relojes. Mostrándose la posición de estos como se observa en la figura 67.

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

comboDevice: TComboBox;
comboSpeed: TComboBox;
 Label3: TLabel;
comboFormat: TComboBox;
 Label4: TLabel;
comboHwFlow: TComboBox;
 Label5: TLabel;
comboSwFlow: TComboBox;
buttonOpen: TButton;
buttonClose: TButton;
 Label6: TLabel;
 Label7: TLabel;
editData: TEdit;
checkDTR: TCheckBox;
checkRTS: TCheckBox;
 Label8: TLabel;
editReceived: TMemo;
Label10: TLabel;
checkCTS: TCheckBox;
checkDSR: TCheckBox;
checkDCD: TCheckBox;
checkRI: TCheckBox;
editResult: TEdit;
editLogfile: TEdit;
buttonSubmit: TButton;
Button2: TButton;
Timer1: TTimer;

Figura 67. Estructura del Form1 del programa

The screenshot shows a Windows-style application window titled "TForm1". The interface is organized into several sections:

- Left Column:**
 - Puerto COMM:** A dropdown menu with "COM1" selected. A list below shows options: COM1, COM2, COM3, COM4, HP Ic2000 Mobile Broadband M, and M3dem estandar.
 - Control por software:** A dropdown menu with "Default" selected.
 - Control por hardware:** A dropdown menu with "Default" selected.
 - Two checkboxes: checkDTR and checkRTS.
 - Two buttons: "Cerrar puerto" and "Abrir puerto".
- Right Column:**
 - Hora:** A text box containing "HH:MM:SS".
 - Fecha:** A text box containing "DD/MM/AA".
 - T de muestreo:** A text box containing "T en segundos".
 - A button labeled "Enviar".
 - Label8:** Two checkboxes: checkCTS and checkDSR; checkDCD and checkRI.
 - Label10:** A text box containing "editResult".
 - A text box containing "C:\Users\ebfm\AppData" and a button labeled "Cargar".

Fuente: elaboración propia, con programa Delphi 7.

El código siguiente es utilizado para la declaración de los procedimientos y funciones, definidas más adelante, a ejecutar cuando el evento sobre el objeto declarado dentro del Form1 sea detectado o la función sea llamada.

```
procedure FormCreate(Sender: TObject);  
procedure buttonOpenClick(Sender: TObject);  
procedure buttonCloseClick(Sender: TObject);
```

```
procedure buttonSubmitClick(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure checkDTRClick(Sender: TObject);
procedure checkRTSClick(Sender: TObject);
```

```
private
{ Private declarations }
objComport : IComport;
```

```
procedure EnableControls ();
function GetTempDirectory () : String;
function GetResult () : Integer;
```

```
public
{ Public declarations }
end;
```

```
var
    Form1: TForm1;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.dfm }
```

A continuación se muestran la implementación de las rutinas ejecutadas durante la creación de la ventana y de las que se ejecutan cuando ocurra algún evento sobre esta ventana creada.

```

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var numDevices : Integer;
var i          : Integer;
begin
objComport := CoComport.Create ();

comboDevice.Items.Add( 'COM1' );
comboDevice.Items.Add( 'COM2' );
comboDevice.Items.Add( 'COM3' );
comboDevice.Items.Add( 'COM4' );

```

En estas líneas se muestra el escaneo de los diversos puertos de comunicación que se encuentran instalados, y que se pretendan utilizar para la comunicación con el registrador de datos.

Determina la cantidad de objetos de comunicación instalados en el computador.

```

numDevices := objComport.GetDeviceCount ();

```

Las sentencias dentro del ciclo *for* determina e incluye el nombre de los dispositivos en el menú desplegable Puertos COMM

```

for i := 0 to numDevices do begin
comboDevice.Items.Add( objComport.GetDeviceName( i ));
end;

```

Esta instrucción inicializa el puntero del dispositivos en la posición 0 que indica el primer elemento dentro del menú.

```
comboDevice.ItemIndex := 0;
```

El dispositivo registrador de datos y la computadora que configurará a este, además de seleccionar el puerto de comunicación también permite seleccionar la velocidad de comunicación, por lo que a continuación se enumeran las opciones desplegadas del menú Velocidad COMM.

Aquí se declara la velocidad con la que el sistema se encuentra configurado de manera predeterminada.

```
comboSpeed.Items.Add('Default');
```

Todas las demás son velocidades de comunicación estándar para los protocolos de comunicación serial RS232.

```
comboSpeed.Items.Add('110');  
comboSpeed.Items.Add('300');  
comboSpeed.Items.Add('600');  
comboSpeed.Items.Add('1200');  
comboSpeed.Items.Add('2400');  
comboSpeed.Items.Add('4800');  
comboSpeed.Items.Add('9600');  
comboSpeed.Items.Add('14400');  
comboSpeed.Items.Add('19200');  
comboSpeed.Items.Add('28800');  
comboSpeed.Items.Add('33600');  
comboSpeed.Items.Add('38400');  
comboSpeed.Items.Add('56000');  
comboSpeed.Items.Add('57600');
```



```
comboSpeed.Items.Add('115200');  
comboSpeed.Items.Add('128000');
```

De nuevo se hace la selección de la primera opción en el *array* de selecciones.

```
comboSpeed.ItemIndex := 0;
```

Algunos equipos trabajan con formatos en la trama de datos, por lo que el software de configuración queda provisto de la posibilidad de elegir dos formatos de transmisión, los cuales se declaran en las siguientes líneas del código.

```
comboFormat.Items.Add('Default');  
comboFormat.Items.Add('n,8,1');  
comboFormat.Items.Add('e,7,1');
```

```
comboFormat.ItemIndex := 0;
```

La comunicación de los datos además de ser configurados en cuanto a la velocidad, formato también se le debe decir al hardware, cuales serán el procedimiento de recepción y transmisión de datos, para lo cual se implementa un menú que configurará a la computadora para la comunicación controlada por hardware o software, como se indica con el código siguiente.

```
comboSwFlow.Items.Add('Default');  
comboSwFlow.Items.Add('Enabled');  
comboSwFlow.Items.Add('Disbaled');  
comboSwFlow.ItemIndex := 0;
```

Aquí se implementa el menú para el control por hardware

```
comboHwFlow.Items.Add('Default');  
comboHwFlow.Items.Add('Enabled');  
comboHwFlow.Items.Add('Disbaled');
```

```
comboHwFlow.ItemIndex := 0;
```

La dos siguientes declaraciones son para la function EnableControl y GetTempDirectory, las cuales realizan la tarea de configurar la ventana principal y la otra realiza la tarea de solicitar, la dirección complete de la carpeta Temporal del sistema.

```
EnableControls ();  
    GetTempDirectory ();  
end;
```

Aquí se inicia la definición de las funciones o procedimientos que serán llamadas durante la ejecución del programa.

La función TForm1.GetTempDirectory será la encargada de solicitar la dirección completa de la carpeta Temporal al sistema, para almacenar allí un archivo de texto (Pop3Log.txt) que guardará las acciones realizadas en la ventana del programa.

```
function TForm1.GetTempDirectory: string;  
    var Buffer: array[0..MAX_PATH] of Char;  
  
begin
```

```
GetTempPath(SizeOf(Buffer) - 1, Buffer);  
editLogfile.Text := StrPas(Buffer) + 'Pop3Log.txt';  
end;
```

El procedimiento definido a continuación es utilizado durante la creación de la ventana para la inicialización de los distintos chequeadores, editores y etiquetas de la ventana.

```
procedure TForm1.EnableControls ();  
var bEnabled : Boolean;  
begin
```

Si objComport.IsOpened devuelve un resultado verdadero se configure el Puerto, de lo contrario se deshabilita la configuración de este.

```
if objComport.IsOpened = true then  
  
    bEnabled := true  
  
else  
  
    bEnabled := false;  
  
    buttonOpen.Enabled := Not bEnabled;  
    buttonClose.Enabled := bEnabled;  
    buttonSubmit.Enabled := bEnabled;  
    HoraDelInicio.Enabled := bEnabled;  
    FechaDelInicio.Enabled := bEnabled;  
    TMuestreo.Enabled := bEnabled;
```

```

checkDTR.Enabled := bEnabled;
checkRTS.Enabled := bEnabled;
editReceived.Enabled := bEnabled;
end;

```

Con la siguiente función se verifica el resultado generado por la apertura del Puerto de comunicaciones seleccionado, guardándose dicho resultado como un entero en Result y luego mostrándose en el editor de texto nombrado como Resultado.

```

//*****
function TForm1.GetResult : Integer;
begin
Result := objComport.LastError;
editResult.Text := 'ERROR ' + IntToStr ( Result ) + ' : ' +
objComport.GetErrorDescription( Result );
end;
//*****

```

De manera general la tarea realizada por el botón Open es la de configurar el Puerto de comunicación, si se obtienen los permisos.

```

procedure TForm1.buttonOpenClick(Sender: TObject);
begin
objComport.Device := comboDevice.Text;

```

Dentro del siguiente if se configura la velocidad con la cual se comunicará la computadora con el registrador de datos.

```
if ( comboSpeed.Text <> 'Default' ) then begin
    objComport.BaudRate := StrToInt ( comboSpeed.Text );
end;
```

Si la selección del menú desplegable para el formato de la trama de datos a comunicar es uno (segunda opción del menú), entonces se le asignará al Puerto una comunicación con un bit de parada, sin ninguna paridad y una trama de 8 bits para el dato.

```
if comboFormat.ItemIndex = 1 then begin
    objComport.StopBits := objComport.asSTOPBITS_1;
    objComport.Parity := objComport.asPARITY_NONE;
    objComport.DataBits := objComport.asDATABITS_8;
end;
```

En caso contrario fuera seleccionada la opción tres del menú, entonces la configuración para la comunicación del Puerto será de un bit de parada, paridad par y siete bits de datos.

```
if comboFormat.ItemIndex = 2 then begin
    objComport.StopBits := objComport.asSTOPBITS_1;
    objComport.Parity := objComport.asPARITY_EVEN;
    objComport.DataBits := objComport.asDATABITS_7;
end;
```

Con las siguientes dos instrucciones se habilita o deshabilita el control que se tendrá para la transmisión, por hardware.

```
objComport.HardwareFlowControl := comboHwFlow.ItemIndex;
```

```
objComport.SoftwareFlowControl := comboSwFlow.ItemIndex;
```

Se establece el tiempo de espera para las lecturas del Puerto serial.

```
objComport.ComTimeout := 100;
```

Se registran todas las acciones de comunicación realizadas dentro del archivo señalado en el editor de texto editoLogfile.Text.

```
objComport.LogFile := editLogfile.Text;
```

En la instrucción siguiente se establece la solicitud de apertura propia del Puerto.

```
objComport.Open ();
```

Al final si el resultado de la solicitud es satisfactoria (*GetResult () = 0*) se realiza la configuración del Puerto de comunicación, haciendo un llamado al procedimiento EnableControls.

```
if GetResult () = 0 then begin
    EnableControls ();
end;
end;
//*****
```

Ahora este procedimientos realiza la tarea de cerrar el puerto de comunicaciones, es decir, liberar los permisos obtenidos con la apertura de este y eliminando la configuración realizada durante dicha apertura.

```

procedure TForm1.buttonCloseClick(Sender: TObject);
begin
    objComport.Close ();
    if GetResult () = 0 then begin
        EnableControls ();
    end;

end;

//*****

```

Los parámetros de hora, fecha y tiempo de muestreo son cargados dentro de los editores de texto con los nombres HoraDelInicio, FechaDelInicio y TMuestreo respectivamente, por lo que al momento de ocurrir el evento buttonSubmitClick se dará inicio a la transmisión de dichos parámetros al registrador de datos.

```

procedure TForm1.buttonSubmitClick(Sender: TObject);
begin
    objComport.WriteString('H' + HoraDelInicio.Text );
    objComport.WriteString('F' + FechaDelInicio.Text );
    objComport.WriteString('T' + TMuestreo.Text );end;

//*****

```

El evento TForm1.Timer1Timer es empleado para el chequeo de los pines de control, CTS, DSR, DCD y RI del transmisor hacia la computadora y los refleja en los chequeadores de la parte inferior izquierda de la ventana.

```

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);

```

Aquí es declarada una variable de cadena de caracteres para almacenar el contenido en el buffer del Puerto de comunicaciones.

```
var Buffer : WideString;  
begin
```

Desde aquí se leen el estado de los pines de control y se reflejan en el chequeador correspondiente.

```
if ( objComport.IsOpened = true ) then  
begin  
if ( objComport.QueryCTS () = true ) Then  
checkCTS.Checked := true  
else  
checkCTS.Checked := false;
```

```
if ( objComport.QueryDSR () = true ) Then  
checkDSR.Checked := true  
else  
checkDSR.Checked := false;
```

```
if ( objComport.QueryDCD () = true ) Then  
checkDCD.Checked := true  
else  
checkDCD.Checked := false;
```

```
if ( objComport.QueryRI () = true ) Then  
checkRI.Checked := true  
else
```



```
checkRI.Checked := false;
```

Aquí se traslada el contenido del Puerto de comunicación a la variable *Buffer* sobre la cual se trabajará.

```
Buffer := objComport.ReadString ();
```

Por último se realiza un despliegue preliminar (opcional) de lo almacenado en la variable *Buffer*.

```
if Length ( Buffer ) > 0 then begin  
editReceived.Lines.Add(Buffer);  
end;  
end;  
  
end;
```

En este pequeño código del invento del botón *Cargar* se permite la exploración hasta el archivo de texto, donde se guardan los eventos sobre los realizados sobre el programa.

```
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);  
var LogFile : PAnsiChar;  
begin  
LogFile := StrNew(PChar(editLogFile.Text));  
  
ShellExecute ( 0, 'open' , LogFile, " , ", SW_SHOW )  
  
end;
```

Con los siguientes eventos se permite establecer de forma manual el estado de los terminales de DTR y RTS del Puerto de comunicación, esto para la apropiada interpretación que se le dé en el dispositivo registrador de datos.

```
procedure TForm1.checkDTRClick(Sender: TObject);
begin
if objComport.IsOpened = true then begin

if checkDTR.Checked = true then

    objComport.RaiseDTR( True )

else

    objComport.RaiseDTR( False );
    GetResult ();
end;

end;
```

```
procedure TForm1.checkRTSClick(Sender: TObject);

begin
if objComport.IsOpened = true then begin

if checkRTS.Checked = true then
objComport.RaiseRTS( true )
else
```

```
objComport.RaiseRTS(false);  
    GetResult ();  
end;  
end;  
end.
```

5. COSTE DEL REGISTRADOR DE DATOS

En este apartado se van a estimar los costos aproximados, para la época, que con llevaría realizar este proyecto, tomando en cuenta todo los materiales y la mano de obra, es decir, tomando en cuenta el costo de todos los elementos que componen al sistema del registrador de datos y el costo por hora de trabajo del personal encargado de la construcción, instalación y mantenimiento.

5.1. Costos de construcción

La perspectiva económica de cada proyecto permite un bosquejo global de la envergadura y realizar un pequeño análisis del costo y beneficio particular del proyecto, por lo que a continuación se muestra el detalle de los elementos que lo conforman, materiales, mano de obra del desarrollo del proyecto para su construcción, instalación y mantenimientos.

5.1.1. Dispositivos y materiales

Para la actualidad la tecnología crece a pasos agigantados y esto mismo reduce los costos de la tecnología, por lo que el costo aquí reflejado de los materiales necesarios para implementar el proyecto pueden verse reducidos en un futuro.

Como se hace mención en la tabla VI se detalla lo utilizado en el diseño y sus respectivos costos en el mercado guatemalteco.

Tabla VI. **Costo de dispositivos y materiales**

No.	Descripción	Cantidad	Precio (Q)
1	Placa de desarrollo Arduino Mega 2560	1	300
2	Sensor de Temperatura y Humedad DHT22	1	70
3	Sensor de presión MPL3115A2	1	200
4	Estación meteorología (WeatherMeters) de SPARKFUN	1	800
5	Módulo Ethernet shield	1	250
6	Memoria microSD de 4GB	1	50
7	Caja contenedora estanca	1	80
8	Cable RS232	1	20
9	Cable USB	1	30
10	SikaSil AC	1	50
11	Cable STP cat. 5E	10 mts	50
12	Estaño rollo de ¼ de libra	1	50
	Total roll		1950

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. **Equipo y herramientas**

El equipo y las herramientas para el uso dicado de la implementación del proyectos, es otra parte a considerar que pudiera resultar bastante costosa en el proyecto, con la compra de algo que fuera necesario.

El coste visualizado en este proyecto relaciona al ITUGS al momento de que este cuente con algún material, dispositivo, equipo y herramientas que puedan ser utilizadas de lo inventariado en este. Lo cual significa una reducción en el costo del proyecto, como una inversión inicial el único costo posible que pudiera ser evaluado es la depreciación del equipo.

Tabla VII. **Costo de equipo y herramienta**

No.	Descripción	Cantidad	Precio (Q)
1	Barreno de mano para las perforaciones del tipo general	1	300
2	Barreno de pedestal para perforaciones de precisión	1	1 200
3	Juego de brocas de diversos calibres	1	50
4	Cautín de 30 watts marca TMC	1	75
	Total		1 625

Fuente: elaboración propia

5.1.3. **Mano de obra de la construcción e instalación**

Este apartado resulta ser un caso especial, pues se ha planteado el proyecto con un beneficio grande en cuanto al consto de la construcción e instalación del mismo. El ITUGS capacita a personal es las áreas de ensamblado e instalación de equipo electrónico, por lo que absorbe los costos de los salarios del personal, ya que la actividad propiamente puede ser realizada en las instalaciones del ITUGS.

Como una proyección del costo que fuera generado por el personal encargado se puede dar el aproximado de un técnico, preparado para la tarea de construcción e instalación de los módulos, para lo cual se estaría hablando de un salario aproximado de Q625 por hora laboral diaria. El período de construcción e instalación de una de estas estaciones, dos horas diarias se cotiza en Q1 250 por unidad.

5.2. Costos de mantenimiento

La actividad de darle mantenimiento a las estaciones resultará en un período aproximado de una hora diaria de labor, realizada por un técnico capacitado para dicha tarea. Al igual que en el inciso anterior se habla de que esta tarea puede ser programada para que los estudiantes del ITUGS la realicen, pues resulta ser una tarea con un período muy corto comparada con el período de operación de la estación, que resulta ser como mínimo de un año de operación continua.

Tratándose de manera similar al caso anterior de la construcción e instalación, se tendrá un aproximado de Q625 por la hora de operaciones del técnico.

5.3. Costo total de proyecto

Como se mencionó al principio de este capítulo el costo total del proyecto permite al inversionista una perspectiva de factibilidad de invertir en el proyecto.

Tabla VIII. **Costo total del proyecto**

Etapas del proyecto	Costo (Q)
Dispositivos y materiales	1 950
Equipo y herramientas	1 625
Construcción e instalación	1 250
Mantenimientos	625
Total	5 450

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur se fundamenta en ser una entidad investigadora y que busca el desarrollo a través de la aplicación de las tecnologías existentes.
2. La implementación de un sistema que permita la evaluación del potencial eólico en las instalaciones del Instituto Tecnológico esta desligado del entorno propio del lugar por lo que se deben detectar y almacenar como mínimo las variables ambientales de la velocidad del viento, dirección de este, temperatura, humedad y presión dentro del área de las instalaciones, a una altura mínima de diez metros sobre una plano.
3. Los dispositivos sensores y de control actuales contemplan una amplia gama de rangos de medición y procesos, velocidades y capacidades de almacenamiento que exceden en determinada manera las necesidades del registrador de datos permitiendo así que el sistema pueda ser adaptado a necesidades futuras dentro del Instituto Tecnológico Guatemala Sur.
4. La gama de tecnologías en sensores para el muestreo de variables ambientales y de control, permitieron presentar el diseño, de la integración, configuración y programación del hardware basado en la tecnología de los microcontroladores ATMEL, también integrados en la placa de desarrollo del llamado Arduino.

5. Los costos de construcción del registrador de datos, al ser ejecutado este será de Q1950, un costo muy aceptable dentro del país Guatemalteco y más aun con el hecho que es un sistema que realiza la tarea del registrador de datos para evaluación de las variables de generación eléctrica por medios eólicos y que puede ser adaptable.

RECOMENDACIONES

1. Este proyecto debe ser ejecutado haciendo uso de los materiales indicados en el diseño, para una rápida implementación y sin incurrir en modificaciones tempranas.
2. Para que los costos del proyecto estén más cercanos a la realidad, es necesario actualizarlos, debido a que constantemente están variando tanto en materiales como de mano de obra.
3. Se recomienda establecer un plan dentro de las distintas áreas del Instituto Tecnológico Guatemala Sur para absorber los gastos de construcción y mantenimiento, en la medida de lo posible, para que los gastos sean únicamente el de los materiales.
4. Debe considerarse establecer un plan de evaluación del sistema para realizar modificaciones que permitan al registrador de datos ser utilizado dentro de los demás laboratorios que componen el Instituto Tecnológico Guatemala Sur.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARANDA B, Eduardo. *Simulación preliminar de desempeño operacional y comercial de centrales de generación eléctrica geotérmicas y eólica: reporte final*. Chile: Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2003. 250 p.
2. Ardumeteo. *Estación meteorológica basada en el dispositivo Arduino*. España. 13 de septiembre de 2011. julio de 2014
3. BURÓN ROMERO, A. B. *Microelectrónica 92*. España: Universidad de Cantabria, 1993. 215 p.
4. PEREZ OYARZO, Humberto. *Modelización matemática para evaluar energías para sistemas eólicos e híbridos eólico-diesel*. Tesis Doctoral. España: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 2008. 307 p.
5. PICARD, A. et. al Revised formula for the density of moist air. IOP Publishing, Metrología. 2008, núm. 45, p. 149 – 155.
6. SparkFun. Electronics. weather meters. [en línea] Niwot, Colorado. [Ref. julio de 2014] <https://learn.sparkfun.com/>.
7. VILLARUBIA LÓPEZ, Miguel. *Ingeniería de la energía eólica*. Barcelona: Marcombo, 2012. 285 p.

