



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
AEROGENERADOR EXPERIMENTAL
Y MODULAR PARA APLICACIÓN
RURAL”

Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero Electromecánico

AUTORES: Oscar Iván Cabrera Gonzales
Darwin Rigoberto Cuenca Quinde

DIRECTOR: Ing. Jorge Luis Maldonado Correa

ASESORES: Ing. Julio Cuenca
Sr. Nelson Jaramillo

LOJA – ECUADOR
2008

PENSAMIENTO

Hay un orgullo, orgullo legítimo que es el de ser trabajador todo el mundo puede decir he trabajado mucho soy uno de los mejores trabajadores, aunque no sea cierto; con tal que haya trabajado, puede enorgullecerse; en el trabajo la modestia esta de sobra; la modestia ante el trabajo se llama pereza.

José Echegaray

CERTIFICACION

Ing. JORGE LUIS MALDONADO CORREA, Director de Tesis cuyo tema versa en “**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN AEROGENERADOR EXPERIMENTAL PARA APLICACIÓN RURAL**” de la carrera de **Ingeniería Electromecánica** de la **Universidad Nacional de Loja**, a petición de la parte interesada;

CERTIFICA:

Que, Oscar Iván Cabrera Gonzales y Darwin Rigoberto Cuenca Quinde realizaron el presente **Proyecto de Investigación** que fue elaborado bajo mi dirección, y una vez que ha sido culminado, autorizo la presentación del mismo para los fines legales pertinentes.

Loja, diciembre del 2008

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, nos corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma, a la Universidad Nacional de Loja especialmente al AEIRNNR, la cual podrá hacer uso del mismo cuando lo estime conveniente.

Oscar Iván Cabrera Gonzales

Egdo. Ingeniería Electromecánica

Darwin Rigoberto Cuenca Quinde

Egdo. Ingeniería Electromecánica

AGRADECIMIENTO

Primeramente debemos agradecer a Dios por brindarnos la vida y permitirnos estar en este mundo.

A nuestros padres que gracias a su apoyo, esfuerzo y confianza depositada en nosotros hizo realidad esta meta propuesta por nosotros. También a nuestros amigos y personas relacionadas y con su ayuda y apoyo contribuyeron con la realización de este proyecto.

A nuestro director de tesis Ing. Jorge Maldonado, al Sr. Nelson Jaramillo y al Ing. Julio Cuenca que con su asesoría y dirección encaminar de una forma correcta en el presente proyecto de tesis.

A los profesores del Área de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables y a nuestros compañeros.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios, a mis padres que gracias a su contante empeño y sobretodo apoyo hicieron posible realizar este proyecto, a mis hermanos por contar siempre con su ayuda.

OSCAR

A dios por esta oportunidad de superación, a mis queridos padres Catalina y José Antonio que siempre me brindaron su apoyo incondicional y me guiaron por la senda del buen camino y la superación.

A mis hermanos Wilson, Johana y Oscar, que me apoyaron a lo largo de estos años de estudio y me supieron dar lo buenos concejos para mi superación.

DARWIN

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se encamina como una medida de solución ante una problemática mundial y nacional relacionado con el calentamiento global y con la utilización de las energías renovables utilizando una fuente de energía alternativa como es la energía del viento o eólica involucrando directamente a la Universidad Nacional de Loja y en si al Área de Energía e Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables. Se plantea el Diseño, Construcción de un aerogenerador Experimental para aplicación Rural adicional a esto un Sistema de Adquisición de Datos Ambientales que permita a los estudiantes conocer un tipo de energía renovable e inagotable como es la del viento y aprovechar el potencial eólico con que cuenta la provincia de Loja y además conocer por medio de monitoreo y presentado en computador a las condiciones climáticas presentes en nuestro medio.

El aerogenerador construido es un prototipo muy funcional y puede ser transportado lugares donde se quisiera general electricidad ya que es una maquina muy confiable y de buenos resultados.

Primero se realizo el diseño y calculo del aerogenerador acorde a la potencia que se deseaba obtener, luego se selecciono las variables a medir y el tipo de sensor acorde a cada medición para luego acondicionar las señales y ser presentadas por computador por medio de un software Labview que nos permitiera realizar nuestras mediciones y los valores ser presentados en tiempo real. Estos datos pueden ser analizados y presentados. En la parte final realizamos una valoración económica y de impacto ambiental, visual, social de nuestro equipo con los resultados obtenidos.

SUMMARY

The present instigation work heads like a solution measure before a world and national problem related with the global heating and with the use of the renewable energies using a source of alternative energy as it is the energy of the wind or eolic involving directly to the National University of Loja and in if to the Area of Energy and Industries and of the Natural Resources not Renewable.

He thinks about the Design, Construction of an Experimental aerogenerator for Rural additional application to this a System of Acquisition of Environmental Data that allows the students to know a type of renewable and inexhaustible energy as it is that of the wind and to take advantage of the eolic potential with which it counts the county of Loja and also to know by means of monitoreo and presented in computer to the conditions climatic present in our means.

The built aerogenerator is a very functional prototype and it can be transported places where general electricity was wanted since it is one it schemes very reliable and of good results.

First one carries out the design and I calculate then from the in agreement aerogenerator to the power that was wanted to obtain, you selects the variables to measure and the type of in agreement sensor to each mensuration stops then to condition the signs and being presented by computer by means of a software Labview that allowed to be carried out our mensurations and the values to be presented in realtime. These data can be analyzed and presented. In the final part we carry out an economic valuation and of environmental, visual impact, social of our team with the obtained results.

INDICE GENERAL

PORTADA	I
PENSAMIENTO	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
INTRODUCCIÓN	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
SITUACION PROBLEMÁTICA	15
PROBLEMA DE INVESTIGACION	16
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	17
HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	18

MARCO TEÓRICO

CAPITULO I FUNDAMENTOS SOBRE AEROGENERADORES

1.1.ANTECEDENTES	19
1.2.AEROGENERADORES	22
1.3.CLASES DE AEROGENERADORE	22
1.4.TIPOLOGÍA DE LOS AEROGENERADORES	22
1.4.1. POR LA POSICIÓN DEL AEROGENERADOR	23
1.4.2. POR LA ORIENTACIÓN DEL EQUIPO CON RESPECTO AL VIENTO	23
1.4.3. POR EL NUMERO DE PALAS	24
1.4.4. POR LA MANERA DE ADECUAR LA ORIENTACIÓN DEL EQUIPO A LA DIRECCIÓN DEL VIENTO	26
1.4.5. POR EL CONTROL DE POTENCIA	27
1.5.CONSTITUCIÓN DE UN AEROGENERADOR	28
1.6.TORRE DE SOPORTE DEL AEROGENERADOR	29
1.7.RECURSO EOLICO	29
1.7.1. EL VIENTO	29
1.7.2. TIPOS DE VIENTOS	30
1.7.2.1. MASAS TROPICALES MARÍTIMAS	31
1.7.2.2. MASAS TROPICALES CONTINENTALES	32
1.7.2.3. MASAS TEMPLADAS	32
1.7.2.4. MASAS DE AIRE FRIAS	32
1.7.2.5. BRISAS	33
1.7.2.6. VIENTOS CATABATICOS Y ANABATICOS	34
1.7.2.7. FÖHN	34

1.7.3. VELOCIDAD DE VIENTO.....	35
1.7.4. DIRECCIÓN DEL VIENTO.....	37
1.8. EMPLAZAMIENTO.....	37
1.8.1. LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DE LOS AEROGENERADORES.....	37
1.8.2. DETERMINACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	38
1.8.3. OBSTÁCULOS DE LOS ALREDEDORES.....	38
1.8.3.1. PERTURBACIONES DEL VIENTO CON EL TERRENO.....	38
1.9. ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE EL PERFIL. POTENCIA ÚTIL Y RENDIMIENTO PALAS PERFILADAS.....	39
1.10. NOMENCLATURA DE PERFILES NACA-4 CIFRAS.....	40
1.10.1 ANGULOS DE CUERDA.....	40
1.11. COMPLEMENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	43
1.11.1. GENERADOR ELÉCTRICO.....	43
1.11.2. GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA.....	43
1.11.3. GENERADOR SINCRONO DE CORRIENTE ALTERNA.....	44
1.11.4. LA DINAMO.....	44
1.11.4.1. CLASIFICACION DE LAS DINAMOS.....	48
1.11.4.1.1. DINAMO EN SERIE.....	48
1.11.4.1.2. DINAMO EN DERIVACION.....	48
1.11.4.1.3. DINAMO COMPOUND.....	48
1.11.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	48
1.12. MULTIPLICADOR.....	49
1.13. RECUPERACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL SOPORTE FIJO.....	50
1.13.1. MAQUINAS SIN MULTIPLICADOR.....	50
1.13.2. MAQUINAS CON MULTIPLICADOR.....	50
1.14. MECANISMOS DE ORIENTACION.....	50
1.15. MECANISMOS DE TRANSMISIÓN.....	53
1.16. PROTECCIÓN CONTRA LOS RAYOS.....	53
1.17. DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO.....	54
1.17.1. ACUMULADORES.....	55
1.17.2. CONTROL DEL ESTADO DE LA CARGA CIRCUITOS ELÉCTRICOS ASOCIADOS.....	56
1.17.2.1. EQUIPAMIENTO CON GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA.....	56
1.17.2.2. EQUIPAMIENTO CON ALTERNADOR.....	56
1.17.2.3. EMPLEO DE CONTADOR DE AMPERIOS – HORA.....	57
1.17.3. VALORES DE LA TENSIÓN FINAL DE CARGA Y DESCARGA.....	57
1.17.3.1. VALOR DE LA TENSIÓN FINAL.....	57
1.17.3.2. VALOR DE LA TENSIÓN DE DESCARGA.....	58
1.18. LOS CONVERTIDORES.....	59
1.19. CONCLUSIONES.....	60

CAPITULO II SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

2.1. SISTEMA BÁSICO DE MEDICIÓN.....	62
2.2. LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN ANALÓGICOS Y	

DIGITALES	63
2.3. SISTEMA GENERALIZADO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	66
2.4. SENSORES Y ACONDICIONADORES	67
2.4.1. HISTORIA DE LOS SENSORES.....	67
2.4.1.1. SENSORES ELECTRONICOS.....	68
2.5. TIPOS DE SENSORES	68
2.5.1. TERMINOLOGIA.....	68
2.6. ACONDICIONADORES Y PROCESADORES DE SEÑAL	69
2.7. SENSORES DE TEMPERATURA	69
2.7.1. INTRODUCCION.....	69
2.7.2. TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA.....	70
2.7.2.1. SENSORES DE TEMPERATURA CON TERMOPARES.....	70
2.7.2.2. SENSORES DE TEMPERATURA CON ELEMENTOS RESISTIVOS.....	71
2.7.2.2.1. RTD (Resistance Temperature Detector).....	71
2.7.2.3. TERMISTORES.....	72
2.7.2.3.1. NTC (Negative Thermal Coefficient).....	72
2.7.2.3.2. PTC (Positive Temperature Coefficient).....	74
2.7.2.4. SENSORES DE TEMPERATURA CON SEMICONDUCTORES.....	73
2.7.2.5. SENSORES DE TEMPERATURA CON SALIDA DE CORRIENTE.....	74
2.7.2.5.1. LINEALIZACION DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA.....	74
2.7.2.5.2. HISTERESIS DE LA TEMPERATURA.....	75
2.8. SENSORES DE HUMEDAD	76
2.8.1. SENSORES DE HUMEDAD CAPACITIVOS.....	76
2.8.2. SENSORES DE HUMEDAD RESISTIVOS.....	77
2.8.3. APLICACIONES.....	77
2.8.4. ACONDICIONADORES DE SEÑAL PARA SENSORES DE HUMEDAD.....	77
2.9. SENSORES DE VELOCIDAD Y DIRECCION DE VIENTO	77
2.9.1. SENSORES DE EFECTO HALL.....	79
2.10. LINEALIZACION DE OTROS TIPOS DE SENSORES	80
2.11. FILTROS	81
2.12. AISLAMIENTO	81
2.13. HARDWARE	81
2.14. COMUNICACIÓN CON TARJETAS DAQ	82
2.15. DESCRIPCION DEL EQUIPO FISICO (NI USB-6008)	83
2.16. DESCRIPCION DEL SOFTWARE	83
2.16.1. APLICACIONES COMUNES.....	83
2.17. COMUNICACIÓN A TRAVES DEL PUERTO SERIAL	84
2.18. COMUNICACIÓN A TRAVES DE UN PUERTO GPIB	85
2.19. COMUNICACIONES DINAMICAS ENTRE PROGRAMAS DE WINDOWS DDE	85
2.20. COMPACT FIELDPOINT	86
2.21. SOFTWARE	86
2.21.1. LOOKOUT.....	86
2.21.2. BRIGDEVIEW.....	86
2.21.3. LABWINDOW.....	87
2.21.4. LABVIEW.....	87
2.21.5. GENIE.....	87
2.22. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA TARJETA DAQ Y BLOQUE DE CONEXIONES	87

2.23. CONCLUSIONES.....	88
-------------------------	----

CAPITULO III. DISEÑO Y CALCULO DEL AEROGENERADOR

3.1. INTRODUCCION.....	90
3.2. POTENCIA QUE SE DESEA OBTENER.....	90
3.3. VELOCIDAD DE VIENTO.....	90
3.4. DIMENSIONAMIENTO DEL ROTOR.....	91
3.4.1. DIAMETRO DEL ROTOR.....	91
3.5. ÁREA FRONTAL BARRIDA POR LA PALA.....	92
3.6. MODELO TEORICO DE BETZ.....	93
3.7. POTENCIA DEL VIENTO.....	96
3.8. POTENCIA ÚTIL DEL VIENTO.....	98
3.9. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL ROTOR.....	98
3.9.1. RENDIMIENTO AERODINÁMICO η	99
3.10. CALCULO DE LA VELETA DE DIRECCION.....	99
3.11. CALCULO DEL DIAMETRO DEL ARBOL.....	100
3.11.1. TAMAÑO DE LAS PALAS Y COEFICIENTE DE SOLIDEZ Ω	102
3.12. CALCULO DEL EJE VERTICAL.....	108
3.12.1. CALCULO DE LA FUERZA EJERCIDA POR EL VIENTO.....	108
3.12.2. CALCULO DE LA ESBELTEZ.....	110
3.12.2.1. COEFICIENTE DE PONDERACION SEGÚN CONDICIONES.....	111
3.13. TORRE DE SOPORTE Y CALCULO DE TENSORES.....	111
3.14. CALCULO DEL TENSOR.....	112
3.15. SELECCIÓN DEL GENERADOR.....	113
3.16. SELECCIÓN DEL MULTIPLICADOR.....	113
3.17. CONCLUSIONES.....	114

CAPITULO IV. SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS AMBIENTALES Y PROGRAMACION EN LABVIEW

4.1. INTRODUCCION.....	116
4.2. LABVIEW.....	117
4.3. CARGANDO LABVIEW.....	119
4.4. USO DE LA MEMORIA.....	120
4.5. INSTRUMENTOS VIRTUALES.....	120
4.6. PALETAS DE TRABAJO.....	122
4.6.1. PALETAS DE CONTROL (CONTROLS PALETTE).....	124
4.6.2. PALETA DE FUNCIONES (FUNCTIONS PALETTE).....	124
4.7. CALIBRACION DE LOS SENSORES.....	125
4.8. CONFIGURACIÓN DE CANALES (<i>Measurement & Automation</i>).....	125
4.9. CONFIGURACION DE LA TARJETA NI DAQ 6008 USB.....	127
4.10. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES POR SOFTWARE.....	128

4.11. INSTRUMENTOS VIRTUALES E INTERFAZ DE USUARIO.....	129
4.11.1. INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.....	129
4.11.1.1.OPERADOR.....	130
4.11.1.2.ADQUIRIR DATOS.....	131
4.11.1.3.SALIR.....	131
4.11.2. ADQUISICION DE DATOS PRINCIPAL.....	132
4.11.3. ADQUISICION DE DATOS (DIAGRAMA DE BLOQUES).....	133
4.11.4. FORMATO EJECUTABLE DEL SISTEMA.....	135
4.12. CONCLUSIONES.....	136
CAP. V ANALISIS DE RESULTADOS	
5.1. INTRODUCCION.....	138
5.2. EVALUACION DE RESULTADOS.....	138
5.3. PROGRAMA DE CALCULO EN MATHCAD.....	138
5.4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	138
5.5. VALORACION ECOLOGICA Y SOCIAL.....	142
5.5.1. AMBIENTAL.....	142
5.5.2. PAISAJE.....	142
5.5.3. FLORA Y FAUNA.....	143
5.5.4. RUIDO.....	143
5.5.5. IMPACTO VISUAL.....	143
5.5.6. PEQUEÑOS AEROGENERADORES.....	144
5.6. VENTAJAS AMBIENTALES.....	144
5.7. VENTAJAS ENERGETICAS.....	144
5.8. COMPARACION CON OTROS SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVABLES.....	144
5.9. ASPECTOS DE CALCULO ECONOMICO.....	146
5.9.1. ASPECTO ECONOMICO.....	146
5.10. GUIAS PRÁCTICAS PARA EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.....	148
ORIENTACION PRACTICA # 1.....	148
ORIENTACION PRACTICA #2.....	154
ORIENTACION PRACTICA #3.....	158
DESARROLLO DE LAS PRACTICAS	
ORIENTACION PRACTICA # 1.....	162
ORIENTACION PRACTICA #2.....	168
ORIENTACION PRACTICA #3.....	172
CONCLUSIONES.....	178
RECOMENDACIONES.....	179
BIBLIOGRAFIA.....	180
ANEXOS.....	182

INTRODUCCION

El perfeccionamiento y el desarrollo de las nuevas tecnologías ha provocado un gran cambio y mientras que no existen casi controversias sobre el aumento en la demanda de energía eléctrica, al tiempo que los recursos fósiles amenazan con agotarse, el debate que se plantea es de dónde provendrá esta electricidad. En este contexto, la búsqueda de fuentes alternativas de energía se ha tornado imprescindible.

Si bien las hoy llamadas fuentes de energía no convencionales fueron el único recurso energético de que dispuso el hombre desde su aparición sobre la Tierra hasta la primera revolución industrial, recién desde hace algunas décadas existe la preocupación por la investigación y el aprovechamiento de las mismas.

Sin embargo, las situaciones expuestas no niegan el hecho de que estas formas de energía puedan ser muy importantes en circunstancias o regiones específicas, pero no podemos, aún, contar con ellas en el corto o mediano plazo como una fuente global de energía masiva.

El medio rural aparece como el mejor escenario para implementar el uso de fuentes de energía renovable. Las energías renovables (solar térmica, solar fotovoltaica, eólica, mini hidráulica, biomasa) también llamadas energías limpias, utilizan todas ellas, directa o indirectamente, la energía del sol. Las fuentes de energía renovable varían de acuerdo a sus beneficios, costos y la etapa de desarrollo de la tecnología.

Dentro de un aspecto general y por tal razón el Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja con el afán de dotar elementos necesarios para una educación mas practica direccionada al perfeccionamiento académico de los estudiantes a decidido que se implementen los laboratorios de la misma y de manera particular el de las energías alternativas y partiendo como primicia la construcción de un **AEROGENERADOR EXPERIMENTAL PARA APLICACIÓN RURAL** y además el desarrollo de un **SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS AMBIENTALES** el cual nos permitirá acceder a las condiciones climáticas existentes en la provincia de Loja, teniendo

posibilidad de realizar el procesamiento de la información obtenida mediante monitoreo de variables ambientales con dicho sistema.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ausencia de un aerogenerador en la carrera de ingeniería electromecánica que permita el desarrollo de su aplicación en el sector rural

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En el Ecuador y especialmente en la provincia de Loja existe un gran potencial eólico. La escasa investigación e impulso de proyectos sobre los aerogeneradores para uso rural y la poca información y difusión sobre este tipo de tecnología no ha permitido desarrollar técnicas para su aplicación.

La energía eólica siendo un tipo de energía limpia y renovable, no ha sido aplicada como alternativa medio ambiental.

En la Universidad Nacional de Loja al existir poca iniciativa sobre estudio de las energías alternativas, especialmente la eólica no ha permitido las destrezas de los estudiantes a la aplicación de la misma lo que hace que teniendo un recurso tan importante (viento) y sin valor no se enfoque su uso a la electrificación rural como aporte importante institucional a la sociedad.

Las instalaciones eólicas de baja potencia por sus características de adaptabilidad, sencillez tecnológica y costos reducidos, encuentran aplicación sobre todo para alimentar usuarios aislados desde el punto de vista eléctrico, donde no es económicamente viable la conexión a la red.

También existen, aunque no sean numerosos, beneficiarios particulares e infraestructuras turísticas (establecimientos de turismo rural, granjas, camping, refugios, usuarios domésticos aislados en la montaña, el mar o en una isla) no conectados a la

red. En estas situaciones se pueden usar aerogeneradores de pequeño tamaño combinados con paneles fotovoltaicos y generadores diesel (sistemas híbridos), dotados de sistemas de acumulación (baterías).

Los aerogeneradores, con potencias nominales de 250, 600, 1500, 3000 y 6000 W, cubren perfectamente la necesidad de todo tipo de consumos, desde repetidores de telecomunicaciones, viviendas aisladas, hasta cubrir las necesidades de pequeñas granjas ó industrias, o incluso la interconexión con la red eléctrica.

Siendo una alternativa con muchos beneficios es importante diseñar un modelo de aerogenerador que cumpla con las características necesarias para el estudio e investigación por parte de los estudiantes, también es muy importante contar con una fuente de datos que permita la investigación sobre este tipo de tecnología.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Limitadas investigaciones en la carrera de Ingeniería Electromecánica sobre el aprovechamiento del recurso eólico para la electrificación rural.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

OBJETIVO GENERAL

- Apoyar las investigaciones que se realizan en la carrera de ingeniería electromecánica sobre aerogeneradores de aplicación rural, que sean favorables a las condiciones climáticas de provincia de Loja.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sistematizar información sobre aerogeneradores de baja potencia
- Diseñar y construir un aerogenerador experimental y modular para uso rural
- Implementar un sistema para adquirir datos de velocidad del viento, temperatura, dirección del viento y humedad relativa.
- Desarrollar guías para prácticas de laboratorio del aerogenerador construido.
- Difundir los resultados obtenidos sobre el uso de los aerogeneradores de baja potencia.

PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS

HIPOTESIS GENERAL

- Con la tecnología presente en nuestro medio es factible la construcción de un aerogenerador de baja potencia para electrificación rural que aproveche el recurso eólico de la provincia de Loja.

HIPOTESIS ESPECÍFICAS

- Con la información que obtendremos posibilitara diseñar aerogeneradores de baja potencia.
- Es posible el desarrollo de un proceso tecnológico que posibilite la construcción de aerogeneradores de baja potencia aplicables a la provincia de Loja
- Con la implementación de un sistema de adquisición de datos es posible determinar los parámetros climáticos para el desarrollo de investigación sobre aerogeneradores.
- Con la elaboración de guías se podrá hacer más fácil el desarrollo tecnológica de los aerogeneradores de baja potencia.
- Con la correspondiente información difundida por los medios de comunicación podrá tener un mayor incentivo en la carrera para el desarrollo tecnológico.

CAPITULO 1 FUNDAMENTOS SOBRE AEROGENERADORES

1.1. ANTECEDENTES

A través de grabados pertenecientes a civilizaciones muy antiguas, se ha podido comprobar que el aprovechamiento del viento con fines energéticos se remonta a por lo menos 3.000 años A.C, habiendo sido utilizado en aquellos tiempos principalmente para la navegación.

Los datos más antiguos de artefactos que aprovechaban el viento para otro tipo de actividades (p.e. molienda de granos) aparecen en Persia, alrededor de los años 200 antes de Cristo. Se cree que en siglo XIII esas máquinas fueron introducidas en Europa por quienes retornaban de las cruzadas.

Durante el transcurso de la Edad Media se amplió la gama de usos empleándose las para mover la maquinarias de nascentes industrias como la textil, maderera, metalúrgica.

Estos primeros molinos eran muy rudimentarios, basando su diseño en la rotación un eje (ver figura 1.1) colocado en forma vertical. Los holandeses modificaron esa tecnología y a partir del año 1.350 comenzaron a utilizarse máquinas de eje horizontal y de cuatro palas, muy similares en aspecto a los que acostumbramos ver hoy en día en los típicos paisajes.



Fig.1.1. Molino de viento

La crisis energética de los años 70, que ocasionó un abrupto encarecimiento del petróleo, y por consecuencia de sus derivados, provocó que aquellos países que tenían una importante dependencia de la importación de esos productos para la satisfacción de

sus necesidades energéticas, buscaran soluciones alternativas a los grandes desequilibrios económicos que esta situación les creaba.

Es así como empezó a pensar seriamente en lo que dio en llamarse ahorro o conservación de energía y al mismo tiempo se comenzó a replantear el tema de la utilización de las energías no convencionales, apareciendo entonces la energía eólica, desde el punto de vista económico, como una fuente más competitiva para la producción de electricidad.

Esta situación incentivó la realización de nuevos estudios que llevaron a una importante mejora de las tecnologías de aprovechamiento, logrando equipos conversores de energía eléctrica cada vez más confiables y potentes. Hoy en día es destacable la explotación que efectúan países como Estados Unidos, Dinamarca, Alemania, Holanda, España y otros que cada vez en mayor número se van incorporando.

A continuación, se puntualizan las potencias instaladas por los principales países productores de energía eólica en el mundo: Estados Unidos 1.596 MW; Alemania 1.546 MW; Dinamarca 835 MW; España, Holanda y Gran Bretaña con algo más de 200 MW cada una. El total mundial alcanzaba a 6.056 MW.

Así como en otros países, en el Ecuador se han realizado estudios de la potencia eólica existente lo cual ha permitido evaluar y obtener los siguientes datos:

- Pichincha: Machachi – Aloag, empresa privada evaluó el recurso. Potencial esperado: 34 MW. Resultado: no rentable su utilización.
- Imbabura: Salinas, empresa privada evaluó el recurso. Proyecto de 13.5 MW.
- Azuay: Huascachaca, en evaluación del recurso y estudio de pre factibilidad. Potencial esperado 20 MW. Proyecto del HCPA y la Empresa Eléctrica Centro Sur.
- Galápagos: San Cristóbal, empresa privada evaluó el recurso. Proyecto de 2 MW.
- Galápagos: Santa Cruz, empresa privada hizo evaluación preliminar. Proyecto de 3.1 MW. En este proyecto por el momento se encuentran instaladas tres torres gracias a la colaboración de países pertenecientes al G8 y esta previsto entregar todo el proyecto en el año 2015.

- Manabí: Montecristi, empresa privada hizo evaluación preliminar, Potencial esperado: 50 MW
- Loja: Villonaco, evaluación del recurso realizada por HCPL, ICAEN y Normawind - España. Proyecto 15 MW
- Loja: Membrillo, evaluación del recurso realizada por HCPL, ICAEN y Normawind - España. Proyecto 50 MW
- Loja: Chinchas, evaluación de recurso realizada por HCPL ICAEN y Normawind - España. Proyecto 50 MW.
- En este mes de febrero en Ciudad Alfaro se instalaron dos turbinas eólicas de 1KW cada una, y un sistema fotovoltaico (8 paneles) con una potencia de 120 w, de tal manera que en conjunto, los paneles suman 0,96 KW. Fue una iniciativa del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable para demostrar la utilización de la energía renovable. Este sistema híbrido eólico - fotovoltaico aportará en total con 2,96 KW”.

La producción de energía eléctrica eólica normalmente se asocia a la imagen de grandes lugares con numerosas y enormes maquinas en las colinas o en mar abierto: instalaciones a menudo no admiradas por las personas por el impacto visual sobre el paisaje y, cuando están cerca de las viviendas, por el ruido continuo que provocan.

Las instalaciones eólicas de pequeño tamaño, tienen un impacto visual y medioambiental sustancialmente nulo, de tamaño poco superior al de una antena parabólica. Se pueden utilizar de forma aislada o junto a paneles fotovoltaicos, para proporcionar electricidad a zonas aisladas o difícilmente alcanzables por la red eléctrica.

Los generadores eólicos de pequeño tamaño se utilizan también para alimentar los elementos de barcos de recreo (nevera, cuadro de control, luces, etc.).

Las maquinas eólicas de baja potencia, aunque sean parecidas a los aerogeneradores más grandes, constituyen un sector tecnológicamente diferente del de las maquinas de medio y gran tamaño: el eólico de baja potencia está dirigido a mercados sectoriales muy específicos, con aplicaciones que requieren soluciones técnicas simplificadas y específicamente diseñadas. Generalmente, las instalaciones por debajo de 20-30 Kw se

utilizan para producir energía eléctrica para el autoconsumo, mientras que en las de tamaño más grande una parte de la energía producida se destina a la venta.

Las posibilidades de expansión del eólico de baja potencia son bastante amplias: aunque con diferentes potencialidades (en términos geográficos y estacionales) el recurso viento es bastante difundido y las aplicaciones posibles son numerosas.

1.2. AEROGENERADORES

Los aerogeneradores, tienen diversas aplicaciones específicas, ya sea eléctricas o de bombeo de agua, mediante el aprovechamiento y transformación de energía eólica en energía mecánica.

Esta energía, es inagotable, no contamina; y aunque la instalación de uno de estos aparatos es relativamente costosa y lenta, a la larga se sentirán los resultados positivos, especialmente en el campo económico.

1.3. CLASES DE AEROGENERADORES.

Se definen en general, los aerogeneradores según la posición de su eje de rotación, con relación a la dirección del viento.

Así se dividen en:

- ◆ Aerogeneradores de eje horizontal.
- ◆ Con el eje paralelo a la dirección del viento.
- ◆ Con el eje perpendicular a la dirección del viento.
- ◆ Aerogeneradores de eje vertical.
- ◆ Aerogeneradores que utilizan el desplazamiento de un móvil

1.4. TIPOLOGÍA DE LOS AEROGENERADORES

En la actualidad existe toda una enorme variedad de modelos de aerogeneradores, diferentes entre sí tanto por la potencia proporcionada, como por el número de palas o incluso por la manera de producir energía eléctrica (aisladamente o en conexión directa

con la red de distribución convencional). Pueden clasificarse, pues, atendiendo a distintos criterios:

1.4.1. POR LA POSICIÓN DEL AEROGENERADOR

- ♦ **Eje vertical:** Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo. Son también llamados "VAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "vertical axis wind turbines". (Ver figura 1.2).



Fig.1.2. Aerogenerador de eje vertical

- ♦ **Eje horizontal:** Son los más habituales y en ellos se ha centrado el mayor esfuerzo de diseño en los últimos años. Se los denomina también "HAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "horizontal axis wind turbines". Un prototipo se presenta en la siguiente figura 1.3.



Fig.1.3. Aerogenerador de eje horizontal

1.4.2. POR LA ORIENTACIÓN DEL EQUIPO CON RESPECTO AL VIENTO

- ♦ **A barlovento:** Las máquinas corrientes arriba tienen el rotor de cara al viento. La principal ventaja de los diseños corriente arriba es que se evita el abrigo del

viento tras la torre. Con mucho la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño.

- ◆ **A sotavento:** La máquina tiene el rotor situado en la cara a sotavento de la torre (ver figura 1.4). La ventaja teórica que tienen es que pueden ser construidos sin un mecanismo de orientación, si el rotor y la góndola tienen un diseño apropiado que hace que la góndola siga al viento pasivamente



Fig.1.4. Rotor situado en la cara a sotavento.

Sin embargo, en grandes máquinas ésta es una ventaja algo dudosa, pues se necesitan cables para conducir la corriente fuera del generador. Si la máquina ha estado orientándose de forma pasiva en la misma dirección durante un largo periodo de tiempo y no dispone de un mecanismo de orientación, los cables pueden llegar a sufrir una torsión excesiva

1.4.3. POR EL NUMERO DE PALAS

- ◆ **Una pala:** Al tener sólo una pala como podemos notar en la figura 1.5 estos aerogeneradores precisan un contrapeso en el otro extremo para equilibrar. La velocidad de giro es muy elevada.



Fig.1.5. Rotor de una pala

- ◆ **Dos palas:** Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala y, por supuesto, su peso. Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto supone una desventaja tanto en lo que respecta al ruido como al aspecto visual. (Ver figura 1.6).



Fig.1.6. Rotor de dos palas

- ◆ **Tres palas:** La mayoría de los aerogeneradores modernos tienen diseños tripala, con el rotor mantenido en la posición corriente arriba (en la cara de la torre que da al viento), usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación. Este diseño tiende a imponerse como estándar al resto de los conceptos evaluados. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño. (Ver figura 1.7)



Fig.1.7. Rotor de tres palas

- ◆ **Multipalas:** Con un número superior de palas o multipalas. Se trata del llamado modelo americano como se presenta en la figura 1.8, debido a que una de sus primeras aplicaciones fue la extracción de agua en pozos de las grandes llanuras del continente americano.



Fig.1.8. Rotor multipalas

1.4.4. POR LA MANERA DE ADECUAR LA ORIENTACIÓN DEL EQUIPO A LA DIRECCIÓN DEL VIENTO

El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento.

Se dice que la turbina tiene un error de orientación si el rotor no está perpendicular al viento.

Existen diversos sistemas:

- ◆ **Mediante conicidad:** Un motor eléctrico y una serie de engranajes permiten el giro de todo el sistema. La figura 1.9 muestra el mecanismo de orientación de una máquina típica de 750 Kw vista desde abajo, mirando hacia la góndola.



Fig.1.9. Orientación del equipo mediante conicidad

- ◆ **Mediante una veleta:** Es el método más sencillo posible para orientar un aerogenerador. Se emplea únicamente en los equipos pequeños y tamaño no demasiado grandes. (Ver figura 1.10).



Fig.1.10. Orientación del equipo mediante una veleta.

- ◆ **Mediante molinos auxiliares:** Un ejemplo de este tipo de mecanismo de orientación, no demasiado empleado.(Ver figura 1.11)



Fig.1.11. Orientación del equipo mediante molinos auxiliares.

Los rotores situados a ambos lados de la góndola son movidos por la propia corriente de aire.

1.4.5. POR EL CONTROL DE POTENCIA

Todos los aerogeneradores deben poseer algún método de control de la potencia generada, con el fin de evitar que se produzcan daños en los distintos componentes de estos equipos en caso de vientos excesivos. Básicamente los podemos clasificar en:

- **Sistemas de paso variable (pitch regulation)**

Este método de control consiste en que las palas varían su ángulo de incidencia con respecto al viento. Cuando la potencia generada es excesiva, las palas comienzan a girar sobre su eje longitudinal hasta adoptar la posición denominada de bandera como se

indica en la figura 1.12. La resistencia entonces opuesta al viento es mínima, así como el par ejercido y la potencia generada.

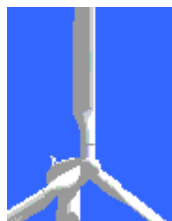


Fig.1.12. Sistemas de paso variable (pitch regulation)

1.5. CONSTITUCIÓN DE UN AEROGENERADOR

Un aerogenerador está constituido por las siguientes partes:

- ◆ Un aerogenerador de dos o tres palas provisto de un sistema de regulación, que confiera al rotor una velocidad de rotación estable a partir de cierta velocidad del viento, y un sistema de seguridad destinado a frenar la máquina en caso de tempestad, si el sistema de regulación es inoperante a altas velocidades.
- ◆ Un generador eléctrico que puede estar:
 - Directamente acoplado al aeromotor. En el caso más sencillo las palas van directamente montadas en el eje del generador.
 - Acoplado a un multiplicador, colocado entre el aeromotor y el generador.
- ◆ Mecanismo de giro, que permita a la máquina estar siempre orientada en la dirección del viento, cualquiera que sea esta. La energía producida en la parte móvil, se transmite por medio de un dispositivo colector asociado al mecanismo de rotación.
- ◆ Cárter o armazón, que envuelva y proteja a todas las piezas del conjunto de los factores climáticos.
- ◆ Una cola, en el caso de que la máquina funcione de cara al viento, para obtener una orientación según los movimientos de la masa de aire.

1.6. TORRE DE SOPORTE DEL AEROGENERADOR.

Es importante su construcción por varias razones, la cual es mecánicamente sencilla.

- ◆ **Su altura.** El aerogenerador debe estar situado por encima de las perturbaciones causadas por el terreno.

- ◆ **Su frecuencia.** Cualquier máquina giratoria es siempre asiento de vibraciones; es por tanto, esencial que la frecuencia propia de la torre sea muy diferente a la frecuencia de las vibraciones (fundamentales y armónicas), engendradas por el aerogenerador.

- ◆ **Mantenimiento.** El acceso a la torre debe ser fácil para su buen mantenimiento. En nuestro caso la torre abatible es la que mejores bondades presenta.

- ◆ **Robustez.** La torre deberá resistir las sobrecargas producidas, como ser: esfuerzos ocasionados por funcionamiento anormal, ráfagas de viento, y turbulencias.

- ◆ **Forma.** Preferiblemente no angular, para evitar esfuerzos innecesarios en la misma torre mejorando así el flujo de corrientes de aire.

1.7. RECURSO EÓLICO

1.7.1. EL VIENTO

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo conducen a la ejecución de la llamada **rosa de los vientos**.(Ver figura 1.13)

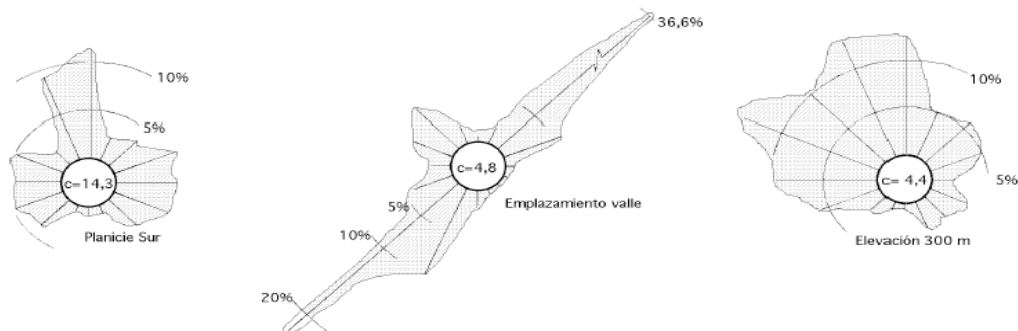


Fig.1.13. Rosas de viento características para un flujo dominante dentro de un valle, en una planicie sur y por encima de las elevaciones extremas de un valle

Bajo la acción de la presión, el aire de la atmósfera se desplaza de un lugar a otro a diferentes velocidades, dando lugar al viento. El gradiente de velocidades es mayor cuanto mayor sea la diferencia de presiones y su movimiento viene influenciado por el giro de la Tierra.

Las causas principales del origen del viento son:

- a) La radiación solar que es más importante en el Ecuador que en los Polos
- b) La rotación de la Tierra que provoca desviaciones hacia la derecha en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur
- c) Las perturbaciones atmosféricas.

1.7.2. TIPOS DE VIENTOS

El conocimiento de los vientos generales no es suficiente para una correcta utilización y ubicación de máquinas accionadas por el viento, por cuanto existen factores que modifican el régimen general y que deben ser conocidos y tenidos en cuenta a la hora de realizar un proyecto de este tipo.

Cuando el gradiente de presión y el gradiente de temperatura tienen distinta dirección, se produce una circulación de aire de sentido el camino más corto desde el gradiente de presión al de temperatura.

El viento sinóptico sopla prácticamente en la horizontal, lo que permite esquematizar su movimiento por un vector orientado en el sentido hacia el cual sopla y cuyo origen está situado en el lugar de observación.

La dirección del viento a nivel del suelo, medida generalmente a algunos metros sobre el mismo, está fuertemente influenciada por la situación topográfica del lugar considerado.

La frecuencia de las direcciones no es siempre una característica general en consonancia con la situación isobárica media como puede ser la posición respectiva media de los anticiclones y de las depresiones en el transcurso de los años; los vientos particulares y locales son la prueba.

Los tipos de vientos en la provincia de Loja, están condicionados por dos factores principales: La circulación general atmosférica y las masas de aire locales que resultan del relieve, así como también de la intervención de las corrientes oceánicas.

En el ámbito del primero y de los factores que ha este corresponde, los grandes sistemas de circulación atmosférica (uno meridional y otro zonal) contribuyen con importantes masas de aire con características de temperatura y humedad que dependen del lugar de procedencia. En lo concerniente al segundo factor tenemos, el aire caliente de origen oceánico que se desplaza hacia el continente, llega a estribaciones de la cordillera y se desplaza por convección, el enfriamiento adiabático produce expansión que luego se condensa y ocasiona precipitaciones.

En esta región del país podemos observar 4 tipos de masas de aire:

1.7.2.1. MASAS TROPICALES MARÍTIMAS

Este viento periódico se inicia en el mar a pocos kilómetros de la costa y penetra en tierra durante el día. Estas masas que se originan en las extensiones oceánicas se distinguen por su velocidad promedio de 5 a 15 Km/h su alta temperatura y su gran contenido de humedad.

1.7.2.2. MASAS TROPICALES CONTINENTALES:

Como es sabido tienen su origen en el enfriamiento de la masa de aire sobre la tierra y soplan siempre de la tierra al mar, por consiguiente de noche o las primeras horas de la mañana, se caracterizan por bajas temperaturas y contenido menor de humedad, su lugar de origen son las planicies del Litoral.

1.7.2.3. MASAS TEMPLADAS

Estas masas de aire se caracterizan por bajas temperaturas y un contenido muy irregular de humedad, se originan en los valles interandinos cuando la atmósfera se enfría y contrae por re irradiación de calor al espacio.

1.7.2.4. MASAS DE AIRE FRIAS

Estas masas se asientan en las mesetas andinas y en las cimas de las altas montañas (mas de 3000 m de altura), las temperaturas son menores o iguales a 0 °C y la humedad depende de la influencia de las masas de aire que recibe.

Resumiendo lo antes expuesto la región de la Sierra se encuentra bajo la influencia alterna de Masas de Aire Tropical Marítimo (MATM) y Masas de Aire Tropical Continental (MATC).

Desde inicios de Septiembre la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que se encuentra en esa época del año sobre el hemisferio norte y en proceso de alcanzar el Ecuador, después de rechazar los alisios de Sudeste, moviliza al continente las MATM, estos al sumarse a los alisios del Nordeste dan inicios a la estación lluviosa.

A fines de Diciembre los ZCIT, que aun se encuentran en el hemisferio norte, detienen el movimiento anterior, y sin que haya mayor ingreso de aire húmedo marítimo, provoca una pequeña recesión de la pluviometría. Mientras tanto debido a las fuertes temperaturas, las MATC de la llanura amazónica siguen.

1.7.2.5. BRISAS

El movimiento del aire **tierra-mar** en las costas, o **tierra-agua** en los lagos durante el día y la noche, en las faldas de las montañas el aire se calienta durante el día y se va hacia las alturas, mientras que en la noche el aire frío, más pesado, baja hacia los valles. (Ver figura 1.14)

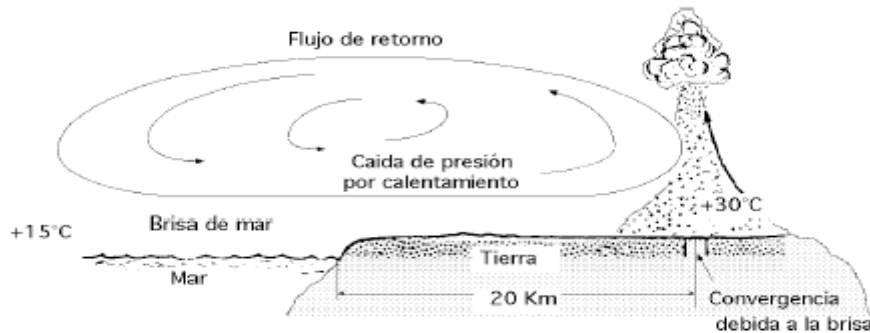


Fig.1.14. Esquema general de un viento particular tierra-mar y viceversa (brisas)

Los movimientos característicos del aire (tierra-mar) en las costas o (tierra-agua) en los lagos durante el día y la noche dan lugar a las **brisas**. Por la noche se invierte el gradiente de temperatura debido al más rápido enfriamiento de la superficie del terreno; el gradiente de presión es ahora de la tierra hacia el mar, motivando un flujo de aire hacia el océano (la brisa terrestre. Figura 1-15.

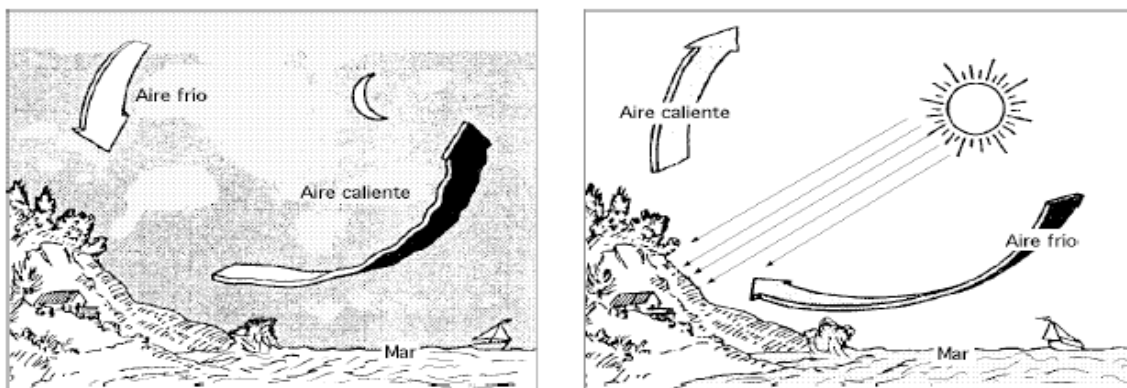


Fig.1.15. Vientos particulares y locales. Brisas de mar

Los valles y las zonas entre dos montañas afectan enormemente al citado potencial al aumentar considerablemente la acción del viento, que varía notablemente con la altura.

Esta variación es consecuencia de la capa límite que se produce en el contacto de los fluidos viscosos con las superficies (aire y tierra). (Ver figura 1.16)

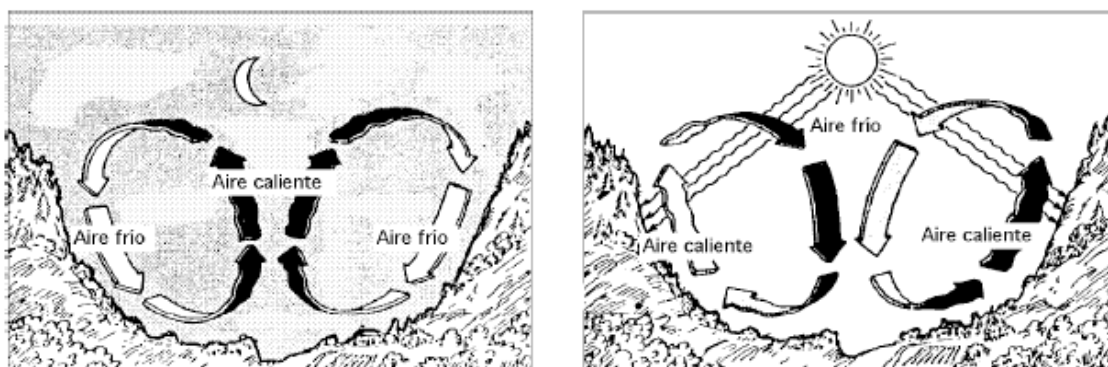


Fig.1.16. Vientos de valles y montañas

1.7.2.6. VIENTOS CATABATICOS Y ANABATICOS

El viento **catabático** indicado en la figura 1.17, es el producido por el descenso de aire fresco desde regiones elevadas hacia regiones más bajas, en forma de brisas, a través de laderas y valles.

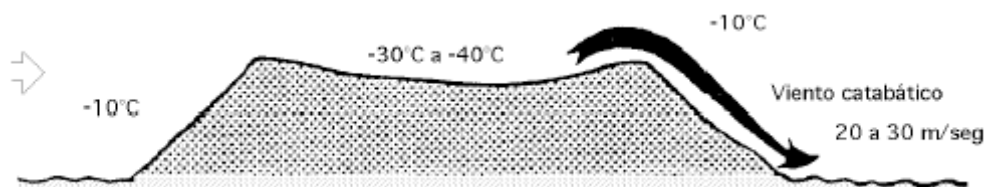


Fig.1.17. Viento catabático

1.7.2.7. FÖHN

El **föhn** es un viento fuerte, seco y cálido, que se produce en ocasiones en la ladera de sotavento (contraria a la que sopla el viento) de los sistemas montañosos como esta indicado en la figura 1.18.

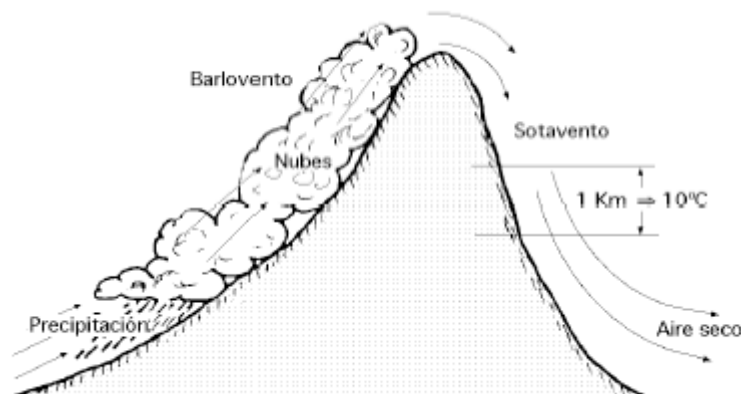


Fig.1.18. Efecto fon

También influye grandemente en la velocidad del viento la forma del relieve de la superficie de la tierra por donde discurre la corriente. Superficies de pendientes suaves y desnudas de obstáculos son los mejores lugares de potencial eólico, puesto que se van juntando las líneas de corriente del fluido y hacen que su velocidad aumente. La siguiente figura 1.19 nos indica la influencia de los obstáculos topográficos sobre el viento.

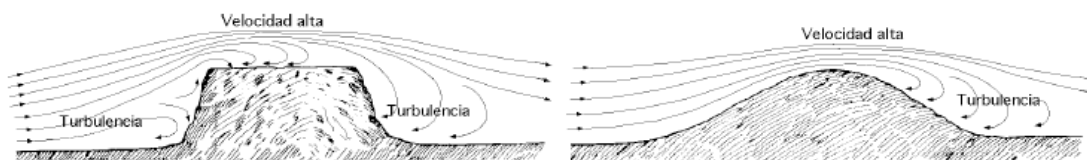


Fig.1.19. Influencia de obstáculos topográficos sobre la velocidad del viento

1.7.3. VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/seg, según diversas situaciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/seg, así como en algunos valles más o menos estrechos. En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/seg, siendo bastante más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía.

La velocidad media del viento es más débil durante la noche, variando muy poco, aumenta a partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares.

Para realizar la medida de las velocidades del viento se utilizan los anemómetros; existen muy diversos tipos de estos aparatos, que en un principio se pueden clasificar en anemómetros de rotación y anemómetros de presión. (Ver figura 1.20)

El anemómetro de rotación más característico es el de Papillon, que es un molino de eje vertical con cazoletas en forma de semiesfera o el de aletas oblicuas de Jules Richard.

El anemómetro de presión se basa en el método del tubo de Pitot.

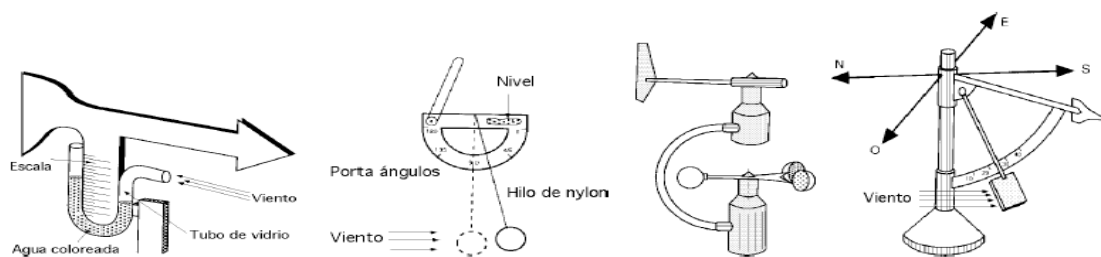


Fig.1.20. Diversos tipos de anemómetros

La dirección del viento se comprueba mediante una veleta, mientras que la velocidad se mide con un anemómetro.

Según sea la velocidad se pueden considerar tres tipos de definiciones:

- Viento instantáneo;** se mide la velocidad del viento en un instante determinado.
- Viento medio aeronáutico;** se mide la velocidad media durante 2 minutos
- Viento medio meteorológico;** se mide la velocidad media durante 10 minutos

Hay que distinguir también entre:

◆ **Fenómenos instantáneos: Ráfagas.**

Son difíciles de caracterizar; para tener una idea aproximada de estas variaciones, se necesitan registros meteorológicos de vientos periódicos, de por lo menos 20 años hacia atrás.

Por lo tanto, cuando se quiere utilizar la energía eólica, es importante tener en cuenta las ráfagas. Así, las variaciones bruscas de la velocidad del viento originan variaciones muy considerables de la energía aplicada al aerogenerador.

Un viento presentado en ráfagas, impondrá condiciones que se deberán tener en cuenta durante la utilización del aerogenerador y en el cálculo de su soporte; casi todos los sistemas de regulación tienen generalmente una inercia muy superior a la duración de una ráfaga.

◆ **Fenómenos diarios.**

Se deben a los fenómenos térmicos producidos por la radiación solar. Las variaciones de temperatura con la altitud crean corrientes ascendentes. La velocidad media del viento es más débil por la noche, con pocas variaciones. Aumenta a partir de la salida del sol y alcanza su máximo entre las 12 pm. y las 16 pm. Horas.

1.7.4. DIRECCIÓN DEL VIENTO

La dirección, depende directamente de la distribución de las presiones, pues aquel tiende a soplar desde la región de altas presiones hacia la de presiones más bajas.

Se llama dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla. Para distinguir uno de otro se les aplica el nombre de los principales rumbos de la brújula, según la conocida rosa de los vientos. Los cuatro puntos principales corresponden a los cardinales: Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (W). Se consideran hasta 32 entre estos y los intermedios, aunque los primordiales y más usados son los siguientes con su equivalencia en grados del azimut (Ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo).

1.8. EMPLAZAMIENTO

1.8.1. LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DE LOS AEROGENERADORES

Para todo tipo de aeromotor la elección del emplazamiento es un elemento determinante, los parámetros varían según la potencia del aeromotor.

- ◆ Para las grandes máquinas ($P > 100$ Kw), el número de emplazamientos es casi limitado, puesto que el criterio esencial de elección es: el coste de la unidad de energía kilowatt hora (Kw) producida debe ser competitiva con otras fuentes de

energía. Es por lo tanto necesaria una gran cantidad de energía potencial y también un previo estudio profundo del viento en diferentes partes del lugar de emplazamiento.

- ◆ Para pequeñas potencia ($P < 10$ Kw); el número de emplazamientos es también limitado, puesto que el criterio esencial es en este caso es la proximidad al usuario. No es indispensable una gran cantidad de energía potencial.

Trataremos desde ahora, criterios para la elección de emplazamientos para pequeños aerogeneradores. Es decir no teniendo en cuenta el precio del terreno

1.8.2. DETERMINACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

La evaluación de la energía recuperable en un lugar debe conocerse o estimarse antes de cualquier otro trabajo. El usuario debe estar seguro de si el viento puede abastecer sus necesidades energéticas, y que la inversión no será desproporcionada al rendimiento del aerogenerador.

Es necesario un pequeño estudio económico cuando en el posible emplazamiento se dispone de otra fuente de energía; como una línea de distribución, etc. Aunque este sería un estudio con una aplicabilidad de grandes envergaduras.

1.8.3. OBSTÁCULOS DE LOS ALREDEDORES.

1.8.3.1. PERTURBACIONES DEL VIENTO CON EL TERRENO

Cada vector representa la dirección y el valor de la velocidad a la altura considerada.

- Colinas de pendientes suaves y cima redondeada: lugar muy favorable, el incremento de velocidad puede llegar a un 20%.
- Colinas de pendientes fuertes y cima acantilada: lugar provocante de la destrucción del aeromotor en un tiempo breve.

- Peñón, árbol, edificio, casa, etc. Producen mucha turbulencia.

En el suelo las perturbaciones aumentan con el viento.

Cuando se conozca la viabilidad de la energía eólica, será necesaria una selección del emplazamiento en función de las distancias a los posibles obstáculos y sobre todo en dirección de los vientos predominantes.

Siempre que sea posible, se emplazará el aeromotor en lugares no perturbados por los vientos dominantes y en caso contrario a una distancia que depende de la forma del obstáculo y su tamaño. Se tomara en cuenta las siguientes recomendaciones:

Torre (cuadrada o cilíndrica): 10 veces el diámetro.

Muro : 10 veces la altura.

Arboles : 6 veces la altura.

Aerogenerador cercano: 6 veces el diámetro. (min.)

12 veces el diámetro. (Máx.)

En el caso particular del relieve se debe hacer el emplazamiento en lugares poco accidentados.

1.9. ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE EL PERFIL. POTENCIA ÚTIL Y RENDIMIENTO DE PALAS PERFILADAS

El elemento básico de una aerogenerador es el rotor, que está formado por una o varias hélices o palas, (su teoría de cálculo elemental es análoga a la de las hélices de avión). En el rotor están situadas las palas, cuyo número es variable según los casos; cada pala tiene un perfil que tiene forma aerodinámica; éstos perfiles tienen un extremo romo, que es el borde de ataque mientras que el otro extremo, de forma afilada, es el borde de salida.

Los perfiles tienen distintos nombres según su geometría. Se denominan biconvexos si el intradós y el extradós son convexos y plano-convexos si tienen el extradós convexo y el intradós plano y de doble curvatura si el intradós y el extradós son cóncavos.

En general, los tipos de perfiles utilizados en las máquinas eólicas rápidas son de la serie NACA (**National Advisory Committee of Aeronautics**), y vienen determinados por un conjunto de cifras que definen su geometría. (Ver figura 1.21)

1.10. NOMENCLATURA DE PERFILES NACA-4 CIFRAS

La primera cifra tiene un significado geométrico, e indica la máxima flecha de la línea media de la cuerda en %, proporcionando la máxima curvatura.

- La segunda cifra tiene un significado geométrico, e indica su posición, es decir, la distancia desde el borde de ataque hasta la posición de la máxima flecha de la línea media o máxima curvatura.

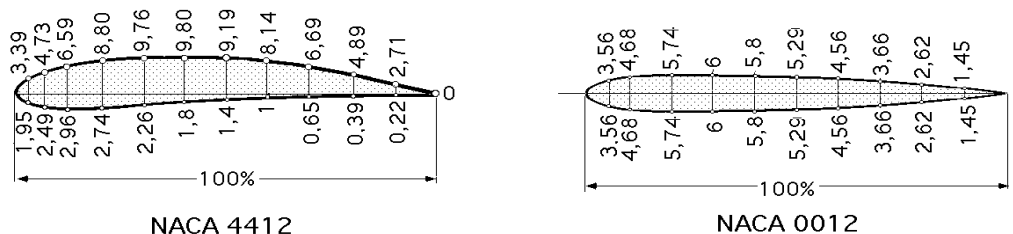


Fig.1.21. Espesor relativo máximo del perfil en % respecto a la cuerda.

Las dos últimas cifras indican el espesor relativo máximo del perfil en % respecto a la cuerda.

1.10.1. ÁNGULOS DE LA CUERDA

La pala de una hélice de un aerogenerador eólico es una pala perfilada que transforma la energía cinética del viento en energía mecánica de rotación. Las fuerzas que actúan sobre un elemento de longitud de pala dx en rotación, se obtienen estudiando la acción del viento relativo que recibe la pala de velocidad c (viento aparente o estela), que se puede considerar suma del viento real de velocidad v , y de un viento originado por el movimiento de rotación de la pala, de velocidad u , Fig. 1.22

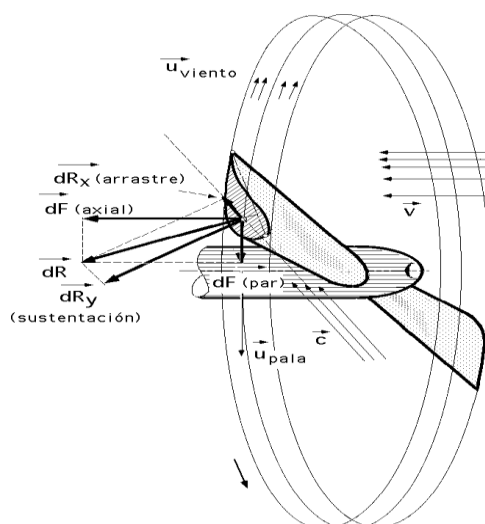


Fig.1.22.- Fuerzas que actúan sobre un elemento de pala en rotación

Si se trata de una hélice de avión (propulsiva), como el viento incidente es un viento relativo debido al desplazamiento del avión, existe una diferencia en la posición de la pala respecto a la del aerogenerador, como se indica en las Fig. 1.23 (a y b), en las que:

β es el ángulo que forma una cuerda del perfil con el plano de rotación; es el ángulo de calaje o de inclinación (cuerda/u)

α Es el ángulo que forma la cuerda del perfil con la velocidad aparente del viento c , (ángulo de incidencia o de ataque).

θ es el ángulo que forma el plano de rotación con la dirección aparente del viento que pasa por el borde de ataque; se conoce como ángulo aparente del viento.

Se tiene que:

$\beta = \theta - \alpha$, para una hélice de aerogenerador

$\beta = \theta + \alpha$, para una hélice de avión

$r u$ es la velocidad del viento creada por el desplazamiento (giro) de la pala

$v v$ es la velocidad del viento real (velocidad nominal)

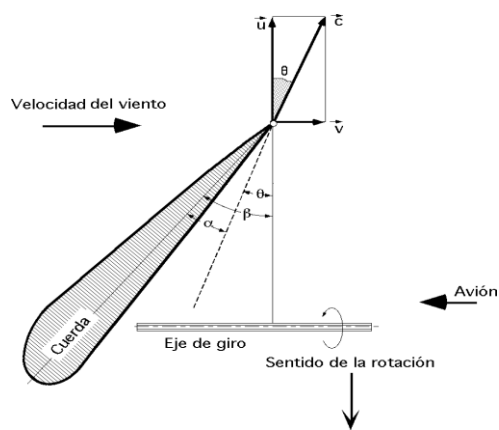


Fig. 1.23 a. Pala de hélice de avión

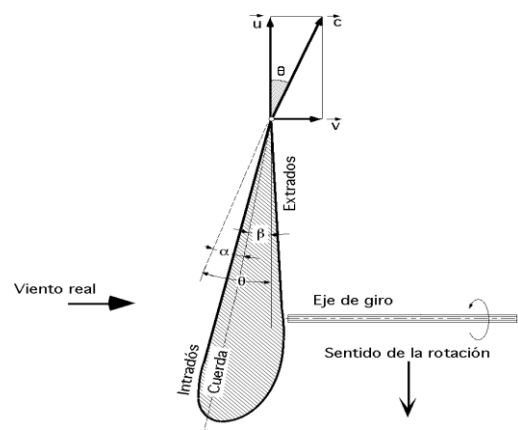


Fig. 1.23 b. Pala de hélice de aerogenerador

El **cabeceo** es una medida de la tendencia de un perfil de ala a bajar su borde de ataque en una corriente frontal del viento, dato importante a la hora de diseñar la estructura de las palas, mecanismos de hélices, etc.; algunos perfiles son neutros porque no tienen momento de cabeceo. La pala de un aerogenerador es más sencilla y fácil de construir que la de un avión, ya que es más lisa, presentando al viento una superficie casi plana, mientras que una hélice de avión girando en las mismas condiciones que la hélice de un aerogenerador, no tendría apenas aplicación para la transformación de la energía eólica.

La anchura de las palas no interviene prácticamente en la potencia generada por el viento; las palas finas permiten una velocidad de rotación muy grande, gracias a la disminución de su masa y del rozamiento con el aire; sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy frágiles y el de no presentar una superficie frontal suficiente para proporcionar un par de arranque adecuado. Se suele tomar una anchura de pala (cuerda) del orden de $1/20 \div 1/25$ del diámetro D descrito por ellas, estando comprendido el ángulo de incidencia del viento sobre el perfil de la pala entre 8° y 15° .

La ventaja de elegir un TSR alto (para el caso de una hélice bipala del orden de 10), es la de obtener una máquina eólica ligera, simple y barata.

Por otro lado, como estas máquinas suelen ir acopladas a generadores eléctricos que requieren, en general, una velocidad de rotación sincrónica, precisan de un sistema

multiplicador de revoluciones con un mínimo de engranajes, con lo que las pérdidas por rozamiento disminuyen simplificando la transmisión. En general, el rotor se puede construir con palas fijas o con palas de paso variable. El primer sistema presenta la ventaja de la robustez. El segundo es más frágil y requiere de mayores cuidados. En la escala de grandes potencias las experiencias americanas y danesas muestran que la mejor solución consiste en utilizar palas de paso fijo cerca del cubo y de paso variable en la otra extremidad

1.11. COMPLEMENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA

1.11.1. GENERADOR ELÉCTRICO

El aerogenerador puede accionar directamente o indirectamente (a través de un multiplicador), dos tipos de generador eléctrico:

- Generador de corriente continua (dínamo).
- Generador de corriente alterna (alternador).

Estos transformarán la energía mecánica en energía eléctrica, teniendo en cuenta las pérdidas ocurridas dentro el generador.

1.11.2. GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA

La máquina está formada por dos partes bien diferenciadas:

- El circuito magnético (bobina de inducción) que crea un campo de inducción en el entrehierro y recibe el nombre de inductor.
- El bobinado de inducido en el que se recupera la energía eléctrica producida por la rotación del rotor accionado por el aerogenerador.

Para recuperar esta energía, el inducido va provisto de un colector, que en la mayoría de los casos va provisto por dos sectores aislados de 180°

Dos escobillas, situadas una frente a otra, se ponen en contacto sucesivamente con el sector A después con el sector B, lo que permite que la corriente circule siempre en el mismo sentido en la utilización. En realidad, el colector consta de un gran número de Sectores, que corresponden a otros tantos conductores, pero su papel es el mismo: hacer

circular una corriente de igual sentido por todos los conductores de un mismo polo. Si se considera que ese flujo producido por la bobina de excitación es constante (máquina compensada), la corriente proporcionada es proporcional a la velocidad de rotación. La relación entre la tensión en bornes de la máquina y la corriente es:

$$u = E - R * i \quad \text{(Ecuación 1.1)}$$

Donde:

E: fuerza electromotriz de la dínamo.

R: resistencia de inducido.

i: Corriente suministrada a la carga.

1.11.3. GENERADOR SINCRONO DE CORRIENTE ALTERNA.

La máquina consta de las siguientes partes.

- La bobina de excitación que crea el campo magnético en el cual el entrehierro es móvil, es el rotor accionado por el aeromotor. Puede ser de dos tipos
 - Rotor bobinado alimentado por dos colectores continuos en los que la corriente circula siempre en el mismo sentido.
 - Rotor de imanes permanentes, con lo que se suprimen escobillas y colectores, que pueden ser causa de averías.
- El inducido, en el que se recupera la energía, solidario a la carcasa, y conectado a la utilización. Este al estator, y puede ser monofásico o trifásico. El trifásico permite obtener una tensión alterna casi sinusoidal (curva representativa de los valores del seno) y, por tanto, mejor rendimiento.

1.11.4. LA DINAMO

Hasta ahora hemos conocido los fundamentos de la acción de la máquina dinamo eléctrica y la teoría sobre el funcionamiento de los generadores elementales de corriente alterna y continua. Ahora está en condiciones de aprender dinamos de verdad y de cómo están construidas. Hay varios componentes que son esenciales en el

funcionamiento de una dinamo completa. Una vez que aprenda a reconocer estos componentes y se familiarice con su funcionamiento, estos datos le serán de utilidad para investigar los desperfectos y atender las dinamos.

Todos los generadores sean de CA o de CC consisten en una parte giratoria denominada rotor y una parte estacionaria denominada estator. En la mayoría las dinamos de CC el bobinado del inducido está montado en el rotor y las bobinas de campo en el estator. En los generadores de CA, en cambio, ocurre a la inversa, pues las bobinas de campo están en el rotor y el bobinado del inducido en el estator.

En ambos casos existe un movimiento relativo entre las bobinas del inducido del campo, de manera que el bobinado del inducido atraviesa las líneas de fuerza del campo. A raíz de esto se induce una FEM en el Inducido, haciendo que se produzca un flujo de corriente por la carga externa. Dado que la dinamo suministra energía eléctrica a una carga, se debe impartir energía mecánica a la dinamo para que el rotor gire y produzca electricidad. La dinamo convierte sencillamente energía mecánica en energía eléctrica. En consecuencia, todas las dinamos tienen que tener maquinarias que les den la energía mecánica necesaria para hacer girar los rotores. Esas máquinas se denominan ‘propulsores primarios’ y pueden ser máquinas de vapor, turbinas de vapor, motores eléctricos, motores de explosión, etc.

La relación entre los distintos componentes que constituyen la dinamo aparece en la figura 1-24. Al armar la dinamo, los campos se montan en estator y se sujetan con pernos un casquete (que no aparece en la figura 1-24) sobre la estructura del estator. Entonces se inserta la armadura o inducido entre polos del campo y el casquete, colocándose los juegos de escobillas al final. Estas partes son:

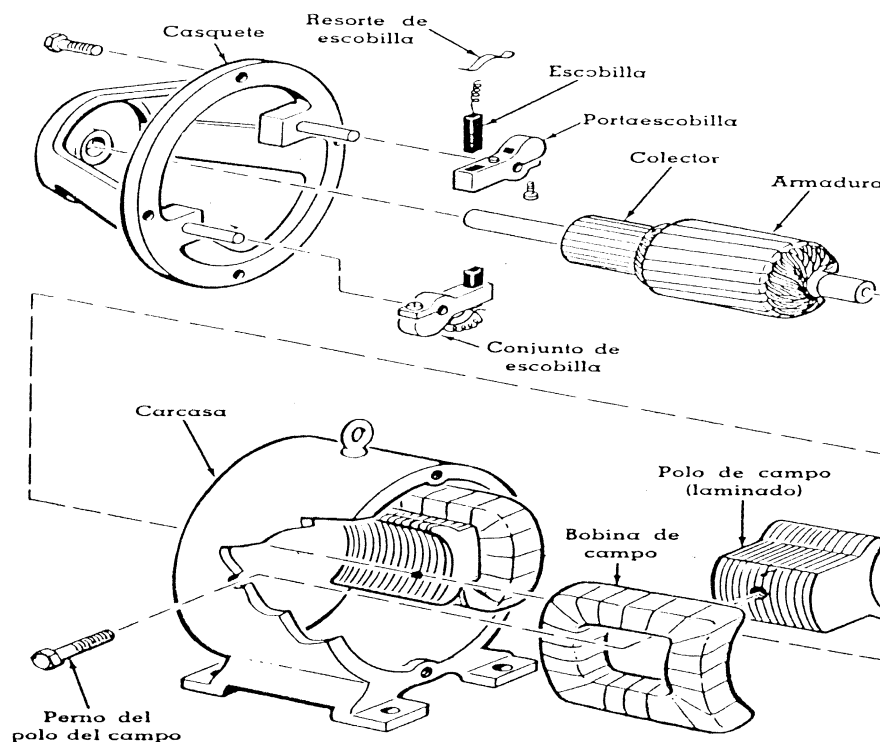


Fig.1-24. En la ilustración aparece una dinamo de CC típica con las piezas principales en el estator. Cada pieza y su función representan el equivalente de la dinamo elemental.

- ◆ **Carcasa.** A la carcasa se la llama a veces yugo. Es el cimiento de la máquina y sostiene a todos los demás componentes. Además sirve para completar el campo magnético entre las piezas polares.
- ◆ **Piezas polares:** Las piezas polares están formadas por muchas capas delgadas de hierro o acero llamadas laminaciones unidas entre sí y bulonadas por dentro de la carcasa. Estas piezas polares sostienen las bobinas de campo y están diseñadas para producir un campo concentrado. Laminando los polos se reducen las corrientes parásitas.
- ◆ **Bobinados de campo:** Los bobinados de campo, cuando están montados sobre las piezas polares, forman electroimanes que suministran el campo magnético necesario para el funcionamiento de la dinamo. Los bobinados y las polares se designan a menudo con el nombre de “campo”. Los bobinados son bobinas de alambre aislado que ha sido arrollado de manera que encajan en forma ajustada alrededor de las piezas polares. La corriente que circula por esas bobinas produce el campo magnético. La dinamo puede tener sólo dos polos o varios pares de polos. Cualquiera sea el número de polos, los alternos siempre tendrán

polaridad contraria. Los bobinados de campo pueden estar conectados en serie o en paralelo (o “shunt”, como se llama con frecuencia a la conexión en paralelo). Los bobinados de campo en paralelo constan de muchas espiras de conductor delgado, mientras que los bobinados en serie están compuestos por menos espiras de un conductor de calibre bastante grueso.

- ◆ **Casquetes:** Estos casquetes están montados en los extremos del bastidor principal y contienen los cojinetes de la armadura. El casquete posterior suele sostener el cojinete solo mientras el anterior sostiene el juego de escobillas.
- ◆ **Porta escobillas:** Este componente consiste en una pieza de material aislante que sostiene las escobillas y sus conductores respectivos. Los porta escobillas vienen asegurados con grapas al casquete delantero. En algunas dinamos las porta escobillas pueden hacerse girar alrededor del árbol para su ajuste.
- ◆ **Inducido:** Prácticamente en todas las dinamos de CC el inducido gira entre los polos del estator. El inducido está formado por el eje, núcleo, bobinas y colector. El núcleo del inducido está laminado y tiene unas ranuras en las cuales van colocadas las bobinas. Estas bobinas suelen devanarse en un molde, para darles la forma adecuada, y montarse después en las ranuras del núcleo. El colector está hecho con segmentos de cobre aislados entre sí. Estos segmentos llamados delgas, están asegurados con anillos de retención para impedir que patinen debido a la fuerza de rotación. En los extremos de las delgas hay unas pequeñas ranuras a las cuales se sueldan las bobinas del inducido.

Entre el inducido y las piezas polares hay un pequeño espacio llamado “entrehierro” para impedir el rozamiento entre esas partes durante la rotación. El entrehierro siempre es mínimo para que la fuerza del campo sea máxima.

- ◆ **Escobillas:** Las escobillas rozan sobre el colector y transportan el voltaje generado a la carga. Las escobillas suelen estar hechas de grafito duro y son mantenidas en sus sitios por los porta escobillas. Las escobillas pueden subir y bajar dentro de los porta escobillas para seguir las irregularidades de la superficie del colector. Un conductor aislado flexible, denominado “chicote”, conecta cada una de las escobillas con el circuito externo.

1.11.4.1. CLASIFICACION DE LAS DINAMOS

Las dinamos de CC se clasifican según el método de excitación de campo que se emplee. Las dinamos de excitación separada se surten de una fuente externa de corriente continua para imantar los campos. Las dínamos de autoexcitación aprovechan la salida de la dinamo misma para excitar el campo.

Las dinamos de autoexcitación se dividen, además, en distintas categorías, dependiendo de las conexiones del bobinado de campo.

1.11.4.1.1. DINAMO EN SERIE

En este caso el campo tiene unas pocas espiras de alambre grueso y está conectado en serie con el inducido. Trabaja en la parte de intensidad constante de su curva de voltaje de salida, para suministrar una corriente de salida constante.

1.11.4.1.2. DINAMO EN DERIVACION

El campo consta de muchas espiras de alambre delgado y está conectado directamente con el inducido. El voltaje de salida cae cuando aumenta la corriente de carga.

1.11.4.1.3. DINAMO COMPOUND

El campo tiene dos juegos de bobinas: el campo en paralelo y el campo en serie. El efecto combinado de los dos campos suministra un voltaje de salida casi constante, independientemente de la corriente de carga.

1.11.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES.

El principal inconveniente de la dínamo es la presencia de escobillas y colectores, que requieren un mantenimiento periódico. Por otra parte, la dínamo es más pesada y cara que un generador de corriente alterna. Pero no necesita ningún dispositivo complicado para la carga de baterías.

Un simple diodo, (válvula de vacío termoiónica formada por dos electrodos; conectada a un circuito permite el paso de la corriente en un solo sentido), que soporte la intensidad nominal de la dínamo, será suficiente para evitar que la batería pueda ser cortocircuitada por el inducido, cuando esté parado.

El alternador, principalmente del tipo de rotor de imanes permanentes, presenta muchas ventajas. Su mantenimiento es nulo debido a la total ausencia de piezas en rozamiento. Para una misma potencia es más ligero y económico.

Pero debe girar a una velocidad más elevada y más estable que la dínamo (en general 3000 rpm) y además requiere un rectificador para la carga de baterías. A pesar de los inconvenientes propios de alternador, su utilización está generalizada, excepto para aeromotores de pequeña potencia, en los que la estabilidad de la velocidad de rotación no es suficiente.

En general, se utilizan alternadores trifásicos de imanes permanentes.

1.12. MULTIPLICADOR

Se comprobó que el empleo de alternadores obliga a utilizar un multiplicador.

Efectivamente, los rotores de diámetro superior a los 5 metros, tienen velocidades de rotación demasiado bajas (<200rpm) para poder accionar directamente un alternador clásico.

Por tanto, para estas máquinas, es imprescindible intercalar un multiplicador entre el aeromotor y el generador.

Hay tres tipos de multiplicador que pueden utilizarse con los aeromotores.

- El más sencillo es el multiplicador de engranajes, de uno o varios ejes de ruedas dentadas cilíndricas. Es económico, pero de construcción embarazosa para conseguir relaciones de multiplicación elevadas.
- El empleo de trenes planetarios permite obtener multiplicaciones elevadas en un espacio reducido. La repartición de pares y esfuerzos entre varios satélites, así como la disposición coaxial, (perteneciente al eje o concerniente a él), de los ejes de entrada y salida facilitan una construcción compacta y

relativamente ligera. Los satélites, arrastrados por un tren, engranan por una parte con el piñón colocado en el eje de salida, y por otra con una corona exterior fija. El eje de entrada es solidario con el tren que mueve satélites.

- El reductor de acoplamiento cónico, permite disponer el eje de salida perpendicular al de entrada.

En todos los casos, los dientes helicoidales aseguran un mejor rendimiento y también un funcionamiento más silencioso.

1.13. RECUPERACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL SOPORTE FIJO.

1.13.1. MAQUINAS SIN MULTIPLICADOR

El generador eléctrico está siempre colocado en la parte móvil de la máquina. La energía eléctrica se transmite al soporte fijo mediante un conjunto de colectores y escobillas, generalmente sobredimensionados para evitar pérdidas inútiles por resistencia en los contactos demasiado elevada.

1.13.2. MAQUINAS CON MULTIPLICADOR

En este caso, puede estudiarse la solución del multiplicador colocado en la base, sobre todo para la recuperación de la energía mecánica. El multiplicador tiene entonces dos ejes perpendiculares, el eje horizontal y el vertical. Pero los problemas de estancamiento en el eje vertical son graves. En el caso de recuperación de energía eléctrica, interesa siempre utilizar el sistema de colectores escobillas.

1.14. MECANISMOS DE ORIENTACIÓN

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

cantidad posible de energía cinética; con este fin existen diversos sistemas que permiten la orientación de la máquina, como:

- a) Una cola o veleta que es un método muy eficaz sobre todo en máquinas pequeñas. Figura 1-25.

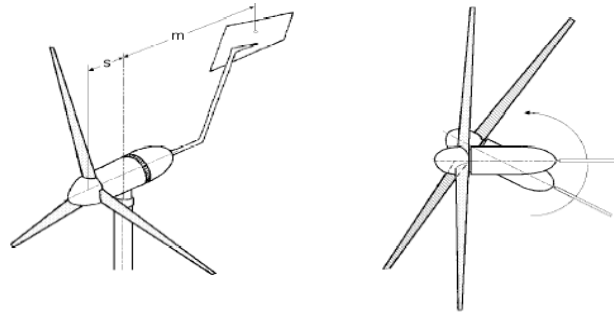


Fig.1-25. Orientación del rotor mediante timón de cola

- b) Un sistema de orientación accionado por rotores auxiliares. Figura 1-26.

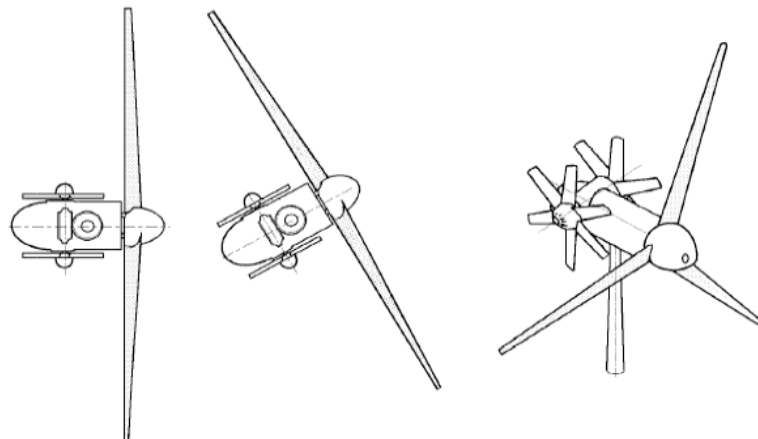


Fig.1-26. Orientación del rotor por efecto de rotores auxiliares

- c) Un servomotor controlado electrónicamente
 d) Un sistema de orientación por efecto de la conicidad que se da a las palas en su disposición y montaje sobre el cubo del rotor. Figura 1-27.

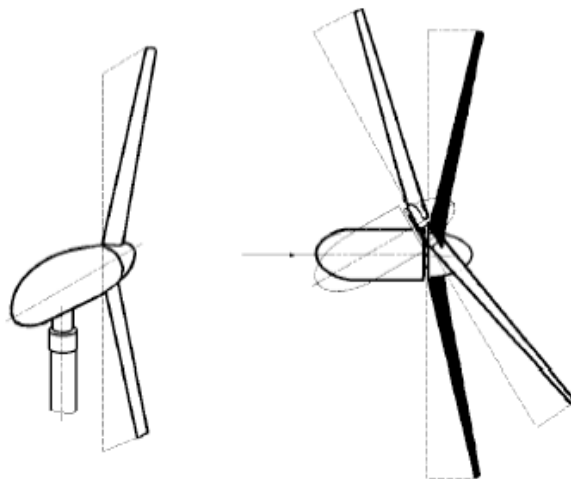


Fig.1-27. Orientación del rotor por efecto de la conicidad

Las **veletas o timones** son dispositivos de orientación situados en la prolongación del eje del rotor y tienen por misión orientar el aerogenerador en la dirección del viento. Están constituidas por una superficie plana metálica o de madera, sobre la que el viento ejerce una presión en el momento en que no están orientadas paralelamente en la dirección del mismo, provocando un par de giro que orienta la máquina.

Si llamamos m a la distancia entre el centro de gravedad de la placa que conforma la veleta y el eje de giro vertical de la máquina y s a la distancia entre el plano barrido por las palas y dicho eje de giro se debe cumplir que ($m = 4 s$).

Otro procedimiento de orientación de las máquinas eólicas consiste en la utilización de **rotores auxiliares** colocados en un plano ortogonal al plano del rotor del aerogenerador; cuando éste no esté orientado correctamente, los rotores eólicos auxiliares comienzan a girar y hacen que la máquina principal se oriente correctamente.

Una máquina eólica se puede auto orientar, sin más, colocando el rotor a sotavento de la torre, de forma que el viento incida antes en la góndola del aerogenerador que en el rotor; este procedimiento implica una interferencia al estar el rotor situado detrás de la torre y, por ello, hay que construir góndolas y torres que presenten poca resistencia.

El aerogenerador se puede orientar también mediante un servomecanismo que actúe sobre él al recibir información de la dirección del viento por medio de una veleta. Este

procedimiento es adecuado para su utilización en grandes máquinas o en granjas eólicas con varias máquinas.

Cuando la torre es cilíndrica y de diámetro grande, es mejor colocar el rotor delante de la torre debido a la estela producida por ésta.

Cuando el soporte es un pilón de acero o una torre de diámetro pequeño, la hélice se puede colocar detrás.

Cuando el rotor gira delante de la torre, es necesario un motor de orientación. Cuando el rotor gira detrás, la máquina se puede orientar sola y no es necesario motor; en este caso, se aconseja utilizar un amortiguador.

1.15. MECANISMOS DE TRANSMISIÓN

Mediante el mecanismo de la transmisión, el rotor se acopla al generador eléctrico o al sistema de bombeo de agua, pudiéndose hacer de muchas formas, de entre las que destacamos las siguientes:

- a) Dispositivos mecánicos, mediante engranajes, bielas, correas de transmisión, etc.
- b) Dispositivos eléctricos, que proporcionan la velocidad adecuada a la dinamo o al alternador
- c) Dispositivos hidráulicos, según los cuales el rotor acciona una bomba rotativa o aspirante-impelente
- d) Dispositivos neumáticos que producen una eyección de aire a través de las palas huecas del rotor, provocando una corriente de aire que acciona una turbina eólica, como en el generador eólico Andreu-Enfield.

1.16. PROTECCIÓN CONTRA LOS RAYOS

Los aerogeneradores se colocan generalmente en puntos elevados, y además deben ser más altos que los obstáculos de sus alrededores. Por tanto, frecuentemente constituyen los puntos de descarga de electricidad estática durante las tormentas.

Aunque, por propia constitución el generador está protegido contra las descargas eléctricas, por estar encerrado en una estructura metálica conectada a tierra (caja de Faraday), la instalación a la que está conectada puede ser destruida por las sobretensiones que se propagan por el cable eléctrico de alimentación colocado entre el aerogenerador y la utilización. El generador eléctrico puede resultar dañado por contracorriente, en caso de que la utilización quede en cortocircuito.

Por tanto, para emplazamientos expuestos a posibles descargas atmosféricas, es indispensable:

- Conectar la torre soporte a una buena toma de tierra.
- Colocar disyuntores de gas en el punto de conexión de la utilización, con los cables eléctricos del aerogenerador. La tensión de cebado de los disyuntores debe ser aproximadamente el doble de la tensión máxima del generador eléctrico:

Estos disyuntores deben estar conectados a la toma de tierra por una línea lo más directa posible.

1.17. DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO

Dado que una característica esencial del viento es su discontinuidad dirección y velocidad, se han realizado diversos estudios destinados a desarrollar sistemas que permitan almacenar la energía producida por el viento y no utilizada directamente durante los períodos de producción a fin de restituir una parte, la mayor posible, durante los días de calma.

Este aspecto de la energía eólica es, aún hoy, uno de los que más frenan su desarrollo, ya que este almacenamiento, tanto más importante cuanto más irregular sea el régimen de vientos, constituye frecuentemente una parte importante (> 20%) del costo de una instalación de producción de energía eléctrica a partir del viento.

Hay que remarcar que todos los dispositivos de almacenamiento, incluidas las baterías de acumuladores, tienen rendimientos entre el 70 y el 80%.

1.17.1. ACUMULADORES

El tipo de acumulador de plomo que conviene utilizar, fue puesto a punto de 1860 por Planté. Desde entonces no ha sufrido más modificaciones que las destinan a mejorar sus prestaciones, pero el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo.

- **Construcción.**

- El recipiente es de material aislante, vidrio o plástico.
- Las placas están formadas por rejillas de plomo-antimonio en las mallas de las cuales se encuentra la materia activa en forma de pasta.
- Electrodo positivo-ánodo: 75% de minio + 25% de litargio.
- Electrodo positivo-cátodo: 25% de minio + 75% de litargio.
- El electrolito es una solución de ácido sulfúrico cuya densidad es máxima al final de la carga (30%) y mínima al final de la descargar (16%).

El rendimiento de la batería conveniente, cuando las instalaciones se alimenten exclusivamente de la energía almacenada en las baterías, distribuir la descarga de las mismas, y no descargarlas simultáneamente siempre que sea posible (ver también las características de los fabricantes).

- Vida útil: 10 a 20 años según la calidad de acumulador.
- Número de ciclos de carga durante la vida útil del acumulador: ~ 1500.
- Resistencia interna de un elemento, siendo la masa en kilogramos de un elemento de acumulador.
- Masa: 1 kg para 20 a 40 KW.
- Rendimiento-capacidad: Estas dos características dependen en gran medida del régimen de carga-descarga (valor típico para cálculos: 80%).

Todos cuando antecede es cierto para los acumuladores son preferibles las baterías de tipo estacionario o semifijo de 2 V por elemento y no las baterías de arranque (para automóviles), que tienen una vida útil más corta, capacidad nominal más baja y sobre todo, que soportan mal los ciclos de carga-descarga.

1.17.2. CONTROL DEL ESTADO DE LA CARGA CIRCUITOS ELÉCTRICOS ASOCIADOS

1.17.2.1. EQUIPAMIENTO CON GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA

Contiene los siguientes dispositivos de protección, en serie con el circuito de carga de la batería de acumuladores:

- Obligatoriamente, un diodo de potencia que evite que la batería pueda descartarse a través del generador, cuando esté parado por la falta de viento o por estar frenado.
- Un interruptor y un fusible en el circuito de carga del aerogenerador, que pueden estar colocados en la misma caja. El interruptor permite abrir el circuito de carga, cuando las baterías estén totalmente cargadas. El fusible protege a los componentes en caso de falsas maniobras o de fallo de un componente; debe estar calibrado en función de la corriente máxima que puede proporcionar el aerogenerador.
- Un interruptor y un circuito de utilización (optativo) que proteja las baterías y el circuito eléctrico en caso de cortocircuito prolongado en la utilización.
- Dispositivo de control (optativos):
- Un voltímetro calibrado según la tensión de la batería y que sirve para verificar su estado de carga.
- Un amperímetro o testigo de carga montado en serie en el circuito de carga, que permita medir la corriente suministrada por el aerogenerador.

Empleando un amperímetro de cero central, podemos medir la corriente suministrada por el aerogenerador y la consumida por la utilización, pudiendo verificar así los cálculos de autonomía.

1.17.2.2. EQUIPAMIENTO CON ALTERNADOR

El diodo es sustituido por un rectificador monofásico o trifásico según el alternador utilizado.

Entre el alternador y el rectificador, puede intercalarse un transformador para adaptar la tensión de salida del alternador a la de la batería de acumuladores.

En todos los casos, el estado de carga de las baterías, debe ser comprobado periódicamente, verificando la concentración del electrolito del acumulador con un ácido graduado en densidad o en grados Baumé.

1.17.2.3. EMPLEO DE CONTADOR DE AMPERIOS – HORA

Otra posibilidad, válida para cualquier tipo de generador, consiste en emplear un contador reversible que nos dé en cada instante el número de Ah almacenados en la batería. Este contador va provisto de los índices regulables que pueden colocarse en los niveles de frecuencia elegidos como umbral de carga o descarga. Estos índices, asociados a contactos, pueden gobernar:

- Un contador.
- La puesta en marcha de la fuente de energía.
- Una sirena...

Además, el contador está afectado por el rendimiento de la batería, cuyo valor puede elegirse en el momento de instalarlo.

1.17.3. VALORES DE LA TENSIÓN FINAL DE CARGA Y DESCARGA

Las indicaciones más importantes vienen especificadas por el fabricante: por una parte, para las tensiones y, por otra, para la densidad volumétrica.

Sin embargo, las siguientes indicaciones, permiten conseguir una regulación adaptada al tipo de utilización.

1.17.3.1. VALOR DE LA TENSIÓN FINAL

El valor de la tensión cuando "hierve" un elemento acumulador de plomo de tipo semifijo es de 2,35 V aproximadamente, a 25°C. SI se elige este valor como límite de

final de carga, el consumo de agua por electrólisis será verdaderamente importante en caso de largos períodos de viento. La elección del valor umbral de final de carga, dependerá de las características propias de la instalación:

- ◆ **El régimen de vientos:** un régimen de vientos regular permite acercarse al funcionamiento en flotación y el nivel final de carga se alcanzará difícilmente. Es el régimen de funcionamiento más favorable, pero desgraciadamente no el más generalizado. Un régimen de vientos irregular implica el funcionamiento de la batería en ciclos de carga-descarga. el nivel de final de carga se alcanza frecuentemente, y es importante que la regulación está bien hecha.
- ◆ **Capacidad de la batería de acumuladores (C) con relación a la corriente de la In del generador.** Cuanto mayor sea la relación C/I_n , menor será el riesgo de que la batería se sobrecargue en régimen de vientos irregulares.
- ◆ **Tipo de utilización.** Es más favorable un funcionamiento continuo que secuencial.

Por tanto el funcionamiento de la instalación será más satisfactorio cuanto más regulares sean el régimen de vientos y la utilización, ya que entonces nos acercaremos más a una utilización directa de la energía producida por el aerogenerador, sin pasar por la batería de acumuladores.

Cualquiera que sea el ajuste, es importante que al final de la carga, la densidad del electrolito alcance el valor especificado por el fabricante de la batería.

1.17.3.2. VALOR DE LA TENSIÓN DE DESCARGA

Depende del tipo de acumulador empleado, pero para acumuladores plomo de tipo semifijo es importante no descender por debajo de los 1,8 V por elemento, para evitar la formación de depósitos de óxido no soluble en la recarga y, por tanto, una disminución importante de la capacidad. El valor de 1,8 citado, es un mínimo para una corriente de descarga inferior o igual a $C/10$. Este valor de tensión corresponde a una densidad volumétrica del electrolito de 1180 kg/m³.

Además de los fenómenos de oxidación, el electrolito de las baterías descargadas se congela a temperaturas más altas. Según el emplazamiento, el valor elegido como umbral de descarga deberá tener en cuenta la posibilidad de congelación del electrolito, que puede provocar la rotura de los recipientes en los que están colocadas las placas y el electrólito.

Por otra parte, este valor de 1,8 V por elemento puede ser incompatible con el buen funcionamiento de los aparatos de instalación; en tal caso, el final de descarga vendrá evidentemente condicionado por el nivel de no funcionamiento de los aparatos.

1.18. LOS CONVERTIDORES

Los convertidores son de dos tipos:

- **Continua-continua.** Generalmente formados por reductores o elevadores de tensión a transistores o tiristores. Permiten adaptar la tensión de la batería a la de utilización.
- **Continua-alterna.** Pueden ser ondulares estáticos, a transistores o tiristores, o bien convertidores rotativos.

Los onduladores a transistores o tiristores son: para potencias inferiores o iguales a 1000 W y a transistores; para potencias superiores se emplean tiristores. Estos onduladores tienen un rendimiento cercano al 60% y son muy sensibles a las sobrecargas. En particular, soportan mal las sobre intensidades de arranque de los motores. Además, ellos mismos presentan intensidades de arranque 5 a 6 veces superiores a la intensidad nominal, lo que implica que los dispositivos de mando (fusibles, seccionadores, Contactores,...) deben estar bien dimensionados.

Los convertidores rotativos esencialmente constan de un motor de corriente continua acoplado a un alternador. La tendencia es sustituirlos por los estáticos. En utilizaciones con sobre intensidades de arranque frecuentes, pueden todavía emplearse con ventaja. Pudiéndose comprar fácilmente de ocasión.

1.19. CONCLUSIONES

Después de desarrollar el contenido teórico correspondiente al capítulo I y con la breve explicación teórica se pueden considerar las siguientes conclusiones:

- Dadas las condiciones eológicas en la provincia de Loja y conscientes de la problemática mundial sobre el calentamiento global y en sí de el consumo de residuos sólidos para la generación de energía, presentamos la recopilación de información técnica que nos proporcionaran los primeros pasos para el desarrollo del cálculo del aerogenerador.

- Al analizar las potencialidades eólicas en algunos sectores en la provincia de Loja se estableció una estructura para el diseño del aerogenerador y en sí su construcción.

CAPITULO II

CAPITULO II SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

2.1. SISTEMA BÁSICO DE MEDICIÓN

Esta compuesto principalmente por un transductor, acondicionador de señal y una unidad de grabado, almacenamiento o indicación.(Ver figura 2.1).

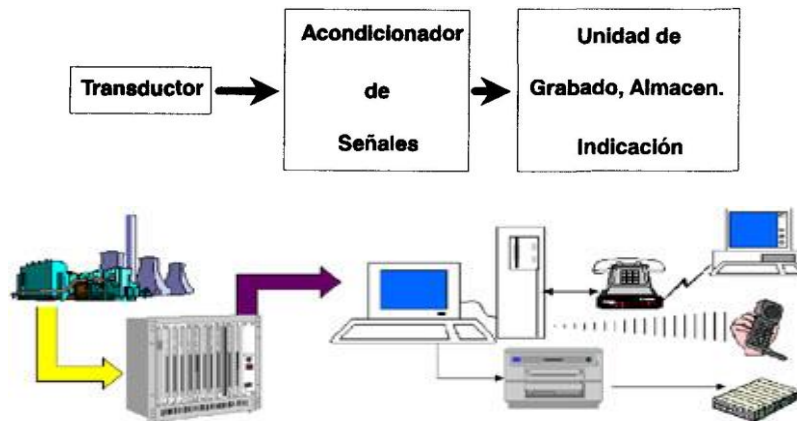


Fig.2.1. Sistema básico de medición

El transductor o detector primario (ó sensor) es el elemento o grupo de elementos que responde a la cantidad física a ser medida y utiliza energía de dicha cantidad para transformar su propio estado en tal forma que el resultado de dicha transformación pueda ser utilizado como información útil y representativa de dicha cantidad.

Una célula fotovoltaica es un caso típico de transductor que toma la energía proveniente de la luz y produce a su salida (bajo condiciones de corto circuito) una corriente proporcional a la intensidad de la luz incidente en un ancho de banda dado. En este caso la información que se quiere medir ha sido transformada en una variable que puede ser manipulada.

Sin embargo, antes de poder ser almacenada, indicada, transmitida o usada como acción de control, será necesaria una etapa intermedia con el objeto de producir niveles y formas de señal apropiadas para dichas tareas.

Los sistemas de adquisición de datos se utilizan para medir y registrar señales obtenidas básicamente de dos maneras:

- ◆ Aquellas que se originan a partir de la medición directa de cantidades eléctricas, que pueden incluir voltajes de CD y CA, frecuencia o resistencia; suelen hallarse en las áreas de prueba de componentes electrónicos, estudios ambientales y trabajos de control de calidad.
- ◆ Señales que se originan a partir de transductores, como galgas extensiométricas y termopares.

2.2. LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN ANALÓGICOS Y DIGITALES

Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos clases principales: Analógicos y Digitales.

- Los sistemas analógicos tratan en forma analógica la información de mediciones. Un sistema analógico se puede definir como una función continua, como una gráfica de voltaje contra tiempo, o desplazamiento contra presión.
- Los sistemas digitales manejan la información en forma digital. Una cantidad digital puede consistir en un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referente a la magnitud o naturaleza de la cantidad.

Un sistema de adquisición de datos digital puede incluir algunos o todos los elementos que se muestran en la figura 2.2. Las operaciones esenciales dentro de un sistema digital incluyen manipulación de señales analógicas, medición, conversión y manejo de datos digitales, y programación y control interno.

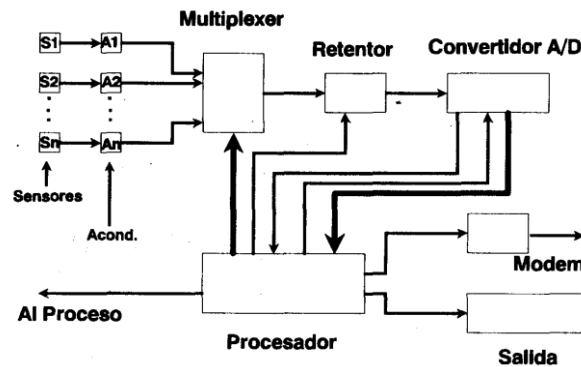


Fig.2.2. Sistema generalizado de adquisición de datos

La función de cada elemento del sistema se describe a continuación.

- **Transductor.** Transforma parámetros físicos en señales eléctricas aceptables para el sistema de adquisición. Algunos parámetros son la temperatura, presión, aceleración, desplazamiento de pesos y velocidad; también es factible medir directamente cantidades eléctricas, como voltaje, resistencia, o frecuencia.
- **Acondicionador de señal.** Para la amplificación, modificación o selección de ciertas partes de estas señales. Por lo general incluye la circuitería de soporte para el transductor. Esta circuitería puede proporcionar la energía de excitación, circuito de equilibrio y elementos de calibración. Un ejemplo de acondicionador de señal es un puente balanceado con una galga extensométrica y unidad de fuente de energía.
- **Explorador o multiplexor.** Acepta múltiples entradas analógicas y las conecta secuencialmente a un instrumento de medición.
- **Convertidor de señal.** Transforma la señal analógica en una forma para el convertidor analógico-digital. Un ejemplo de este dispositivo es un amplificador de voltajes de bajo nivel generados por termopares o galgas extensiométricas.
- **Convertidor analógico-digital (ADC).** Convierte el voltaje analógico a su forma digital equivalente. La salida del convertidor A/D se puede desplegar

visualmente y estar disponible como voltaje en pasos discretos para procesamiento posterior o grabación en un registrador digital.

- **Equipo auxiliar.** Esta sección contiene instrumentos para funciones de programación de sistemas y procesamiento digital de datos. Las funciones auxiliares incluyen linealización y comparación de límites.
- **Registrador digital.** Registra información digital en tarjetas perforadas, cinta de papel perforado, cinta magnética, páginas mecanografiadas o una combinación de estos sistemas.
- **Dispositivos de presentación visual** Para monitoreo continuo de las señales de entrada. Estos dispositivos pueden incluir osciloscopio de varios canales o de un solo canal, osciloscopio de almacenamiento, panel de medidores, desplegados numéricos, etcétera.
- **Instrumentos de registro de gráficas** Para obtener un registro permanente de los datos de entrada. Estos incluyen registradores de tinta y plumilla para proporcionar registros continuos en cortes de papel, sistemas de registro óptico como los registradores de galvanómetro de espejo y los registradores ultravioleta.

Los sistemas de adquisición de datos se utilizan en un gran número de aplicaciones (en constante aumento), en una variedad de áreas industriales y científicas, como la industria biomédica, aeroespacial y telemetría. El tipo de sistema de adquisición de datos, analógica o digital, depende del uso de los datos registrados.

En general, los sistemas de datos analógicos se utilizan cuando se requiere un amplio ancho de banda o cuando se puede tolerar poca exactitud. Los sistemas digitales se aplican cuando el proceso físico que en estudio varía poco (ancho de banda angosto) y cuando se necesita una exactitud alta y bajo costo por canal.

Los sistemas digitales varían en complejidad desde sistemas de un solo canal para medición y registro de voltajes de CD hasta sistemas automáticos de múltiples canales, los cuales miden un gran número de parámetros de entrada, los comparan con respecto a condiciones o límites preestablecidos y llevan a cabo cálculos y toman decisiones sobre la señal de entrada. Los sistemas digitales en general son más complejos que los analógicos, tanto en términos de volumen y complejidad de los datos de entrada que pueden manejar.

2.3. SISTEMA GENERALIZADO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

En muchos casos, la señal o información resultante puede requerir un procesamiento que generalmente está a cargo de un microprocesador, microcomputador o minicomputadora, dependiendo esto de muchos factores que van desde las consideraciones económicas, a las puramente técnicas.

Por otra parte, un multiprocesamiento de la información proveniente de más de una parte del proceso o de varios procesos puede ser necesario.

El sistema básico de medición queda entonces como se muestra en la figura 2.2.

En primer lugar, se intenta obtener información acerca de varios transductores mediante el uso de un solo convertidor Analógico/Digital (AID), así como también, un solo elemento de procesamiento. La razón inmediata es fundamentalmente económica, ya que, en general, el elemento más costoso en cualquier sistema de adquisición de datos que manipule a la señal en forma digital, es el convertidor AID, apartando por supuesto el costo del procesador.

Todos los convertidores A/D, como señales deberán ser procesadas. Esta puede ser una solución necesaria en casos de señales que varíen rápidamente con el tiempo.

El sistema generalizado de adquisición de datos trabaja como sigue: El procesador es el centro del sistema y es responsable no solamente del procesamiento propiamente dicho de la información, sino también, se encarga del control de los demás bloques del sistema con el objeto de que operen en forma coordinada. Los transductores son

elementos que obtienen energía de la cantidad física a ser medida y producen una señal eléctrica (tensión o corriente) que pueda ser tratada electrónicamente.

La señal eléctrica proveniente de los sensores debe ser acondicionada con el objeto de que presente características adecuadas desde el punto de vista de ancho de banda, nivel, impedancia y ruido para que pueda ser muestreada en el muestreador.

El muestreador ("Multiplexer") es responsable de la selección en el momento oportuno (requerido por el procesador) de una de las señales provenientes de los acondicionadores. Con el objeto de que la señal permanezca constante durante el tiempo de conversión, ésta es mantenida con el nivel que tenía al momento de su muestreo, mediante el dispositivo de retención, el cual actúa como una memoria analógica.

El convertidor Analógico/Digital (A/D), se encarga de llevar las señales analógicas presentes en el retentor, a forma digital de manera que puedan ser procesadas por el procesador.

La información obtenida por éste, podrá ser filtrada digitalmente, así como también, usada para controlar algún sistema, almacenada, mostrada o transmitida a lugares remotos.

2.4. SENSORES Y ACONDICIONADORES

2.4.1. HISTORIA DE LOS SENSORES

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores existen desde siempre, y nunca mejor dicho, porque el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos.

El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o flojo, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frígido, fresco, tibio, templado, caliente, tórrido. Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas

2.4.1.1. SENSORES ELECTRONICOS

Los sensores electrónicos han ayudado no solo a medir con mayor exactitud las magnitudes, sino a poder operar con dichas medidas. Pero no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, ya normalmente los sensores ofrecen una variación de señal muy pequeña y es muy importante equilibrar las características del sensor con las del circuito que le permite medir, acondicionar, procesar y actuar con dichas medidas.

Este trabajo pretende hacer una recopilación de los sensores, acondicionadores y procesadores actuales, así como su evolución.. Por supuesto, la rápida evolución de estos componentes hace que este trabajo nunca esté al día ni terminado, por lo que hay que consultar en cada momento el estado actual de los mismos.

2.5. TIPOS DE SENSORES

Existe una gran cantidad de sensores en el mercado, para poder medir magnitudes físicas, de los que se pueden enumerar los siguientes:

- | | | |
|---------------|-----------------|---------------|
| ◆ Temperatura | ◆ Imagen | ◆ Aceleración |
| ◆ Humedad | ◆ Corriente | ◆ Velocidad |
| ◆ Presión | ◆ Conductividad | ◆ Inclinación |
| ◆ Posición | ◆ Resistividad | ◆ Químicos |
| ◆ Movimiento | ◆ Biométricos | ◆ Dirección |
| ◆ Caudal | ◆ Acústicos | |
| ◆ Luz | ◆ Imagen | |

2.5.1. TERMINOLOGIA

En general se habla de sensores, pero se pueden distinguir las siguientes definiciones:

- **Sensor:** Es un dispositivo que recibe una señal o estímulo y responde con una señal eléctrica. Además los sensores pueden ser *activos* o *pasivos*. *Sensor activo:*

Es un sensor que requiere una fuente externa de excitación como las RTD o células de carga. *Sensor pasivo*: Es un sensor que no requiere una fuente externa de excitación como los termopares o fotodiodos.

- **Transductor**: Es un convertidor de un tipo de energía a otra.

2.6. ACONDICIONADORES Y PROCESADORES DE SEÑAL

No se puede hablar de los sensores, como componentes electrónicos básicos, sin ver como se pueden adaptar a un sistema de adquisición y control. Por lo que se tendrán que ver las nuevas tecnologías de adaptación de estos sensores que como parte de una cadena de dispositivos, forman un sistema.

Estos adaptadores, como acondicionadores de señal, son los amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje, pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales de analógico a digital para posteriormente ser procesados los datos con un DSP o Microcontrolador y actuando por medio de las salidas lógicas del procesador o por medio de un convertidor digital a analógico.

2.7. SENSORES DE TEMPERATURA

2.7.1. INTRODUCCION

Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más común que se mide en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura, ésta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada.

La diversidad de sus aplicaciones ha condicionado igualmente una gran proliferación de dispositivos sensores y transductores, desde la sencilla unión bimetálica de los termostatos, hasta los dispositivos semiconductores más complejos.

2.7.2. TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA

- ◆ **Termopares:** Los termopares utilizan la tensión generada en la unión de dos metales en contacto térmico, debido a sus distintos comportamientos eléctricos.
- ◆ **Resistivos:** Lo constituyen las RTD (Resistance Temperature Detector) o PT100 basadas en la dependencia de la resistividad de un conductor con la temperatura, están caracterizadas por un coeficiente de resistividad positivo PTC (Positive Thermal Coefficient). También lo son las NTC (Negative Thermal Coefficient), que se llaman termistores y están caracterizadas por un coeficiente de temperatura negativo.
- ◆ **Semiconductores:** Se basan en la variación de la conducción de una unión p-n polarizada directamente.

2.7.2.1. SENSORES DE TEMPERATURA CON TERMOPARES

Los termopares son baratos y robustos, tienen una estabilidad bastante buena a lo largo del tiempo.

Debido a su pequeño tamaño, responden rápidamente a los cambios de temperatura. Funcionan sobre rangos de temperatura criogénicos, tiene una linealidad y exactitud razonable. Debido a que el número de electrones libres en un metal depende de la temperatura y de la composición del metal, dos metales de desigual isoterma, dan una diferencia de potencial que es una función repetible de la temperatura. El voltaje resultante depende de las temperaturas, T_1 y T_2 , de una manera repetible.

Puesto que el termopar es básicamente un dispositivo de medida diferencial, se necesita una temperatura de referencia conocida para una de las uniones, así la temperatura de la otra unión será deducida del voltaje de salida. Los termopares están fabricados de materiales especialmente seleccionados que se han caracterizado exhaustivamente en términos de voltaje con la temperatura de comparación, que normalmente es la del punto de agua/hielo de 0°C .

En la tabla 2.1 se muestra los distintos tipos de termopares con su rango típico, su sensibilidad y la designación estándar.

Material de la unión	Rango Típico (°C)	Sensibilidad ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Designación
Pt6%/Rodio – Pt(30%)/Rodio	38 a 1800	7.7	B
Tungsteno(5%)/Renio–Tungsteno(26%)/Renio	0 a 2300	16	C
Cromo- Constantan	0 a 982	76	E
Hierro – Constantan	0 a 760	55	J
Cromo – Aluminio	-184 a 1260	39	K
Pt(13%)/Rodio – Pt	0 a 1593	11.7	R
Pt(10%)/Rodio – Pt	0 a 1538	10.4	S
Cobre- Constantan	-184 a 400	45	T

Tabla 2.1 distintos tipos de termopares con su rango típico

En la figura 2.3 se muestra la curva de algunos termopares con sus características eléctricas.

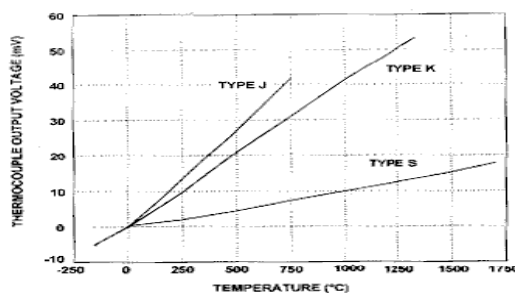


Fig.2.3. Curva de termopares con sus características eléctricas

El hecho de que los termopares sean dispositivos de bajo nivel de tensión, a la vez que de baja impedancia, hace que el acondicionador de señal sea totalmente imprescindible. Además, la linealidad en algunos tipos es pobre, aunque el hecho de ser predecible y repetible, lo que permite que puedan ser compensados analógicamente y/o digitalmente.

2.7.2.2. SENSORES DE TEMPERATURA CON ELEMENTOS RESISTIVOS

2.7.2.2.1. RTD (Resistance Temperature Detector)

Los dispositivos RTD más comunes están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, aunque también se utilizan otros materiales cuyas características se recogen en la tabla siguiente.

Típicamente tienen una resistencia entre 20Ω y $20k\Omega$. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre -200°C y 850°C . Tabla 2.2.

Material	Rango de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Variación coef ($\%/^{\circ}\text{C}$ a 25°C)
Platino	-200 a + 850	0.39
Niquel	-80 a 320	0.67
Cobre	-200 a +260	0.38
Niquel-acero	-200 a +260	0.46

Tabla 2.2. Variación del coeficiente según el rango de temperatura

La figura 2.4 muestra la respuesta de la resistencia de la RTD con la temperatura y la comparativa respecto a un termopar tipo S.

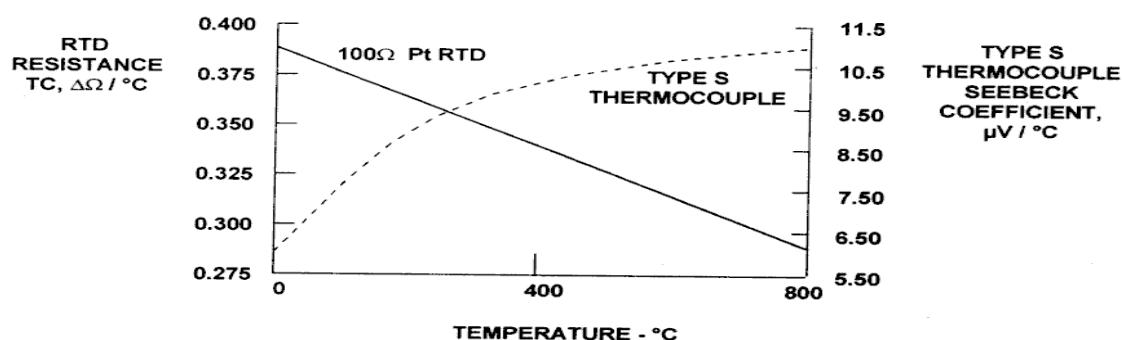


Fig.2.4. Respuesta de la resistencia de la RTD con la temperatura y la comparativa respecto a un termopar tipo S.

2.7.2.3. TERMISTORES

Otros sensores resistivos mucho más económicos que las RTD son los termistores, aunque no son lineales son mucho más sensibles, pueden tener un coeficiente de temperatura positivo o negativo, estos últimos son los más usados y se denominan NTC.

2.7.2.3.1. NTC (Negative Thermal Coefficient)

Los termistores NTC son resistencias sensibles a la temperatura, están fabricados de una mezcla de óxidos de Mn, Ni, Co, Cu, Fe y están moldeados en un cuerpo cerámico de varios tamaños, típicamente tienen una resistencia entre 50Ω y $1M\Omega$ a 25°C y una sensibilidad del $4\%/^{\circ}\text{C}$ a 25°C . El efecto de Coeficiente Negativo con la Temperatura puede resultar de un cambio externo de la temperatura ambiente o un calentamiento

interno debido al efecto Joule de una corriente que fluye a través del termistor. La curva del termistor se puede linealizar con una resistencia montada en paralelo con la NTC figura 2.5.

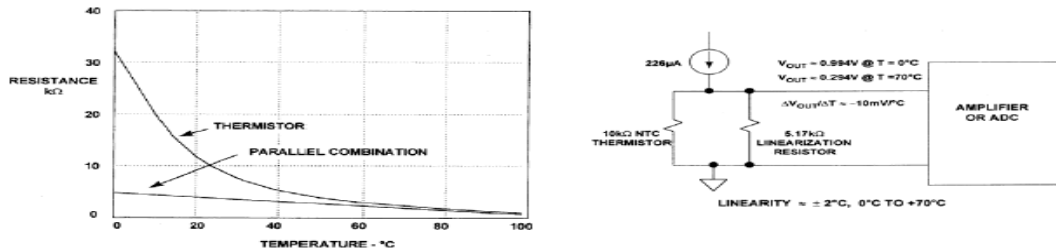


Fig.2.5 Característica de resistencia con respecto a la temperatura

2.7.2.3.2. PTC (Positive Temperature Coefficient)

Los termistores PTC son resistencias que principalmente están compuestas de bario y estroncio con titanio. La adición de dopantes hace que la componente semiconductor dé una característica de resistencia con respecto a la temperatura, aunque son muy poco utilizados.

2.7.2.4. SENSORES DE TEMPERATURA CON SEMICONDUCTORES

Como anteriormente se ha mencionado, la corriente de conducción de una unión **p-n** polarizada directamente, responde exponencialmente con la tensión de forma directa, e inversa con la temperatura. Si se recuerda la ecuación característica de funcionamiento de un diodo.

$$I = I_{sat} \times e^{q/kT \cdot V} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

eq = carga del electrón,

k = constante de Boltmann,

T = temperatura

I_{sat} = corriente de saturación.

V = Voltaje

De esta ecuación se desprende que, a corriente constante, la tensión varía a razón de -2.2 mV por cada grado centígrado ($^{\circ}\text{C}$), lo que la conveniente de la *no linealidad*.

Considerando el diodo formado por la unión base-emisor de un transistor bipolar.

Pero además de la variación con T, mantiene una fuerte dependencia de **I_{sat}** con la temperatura, lo que hace que no sea directamente utilizable debido a la compleja forma de dependencia con la temperatura. Si se toman N transistores idénticos al primero sobre los que se reparte igualmente la misma corriente **I_{c}** .

Si se toma la tensión diferencia entre ambos conjuntos, se tendrá una tensión proporcional a la temperatura absoluta pero sin tener dependencia alguna con **I_{sat}** .

De esta manera, puede construirse un circuito conteniendo N+1 transistores NPN, un espejo de corriente PNP y una resistencia estable con la temperatura.

2.7.2.5. SENSORES DE TEMPERATURA CON SALIDA DE CORRIENTE

Son dispositivos de dos terminales cuya corriente de salida es proporcional a la temperatura, variando a razón de $1\mu\text{A}$ por cada $^{\circ}\text{K}$ de variación y un offset de $273.2\mu\text{A}$ a una temperatura de 273.2°K (0°C).

2.7.2.5.1. LINEALIZACION DEL SENSOR DE TEMPERATURA

La característica de resistencia/temperatura de los sensores de temperatura de silicio es casi lineal, pero en algunas aplicaciones es necesario mejorar esta linealización, como en sistemas de control que requieren una alta exactitud. Una manera simple de hacer esto, es poner la resistencia del sensor ' R_{T} ' en paralelo con una resistencia fija ' R_{L} ', figura 2.6 (a). La resistencia final de la combinación en paralelo, $R_{\text{L}} \times R_{\text{T}} / (R_{\text{L}} + R_{\text{T}})$, es en una función lineal con la temperatura y el voltaje de salida será linealmente proporcional a la temperatura.

Si el circuito está alimentado por una fuente de tensión constante, figura 2.6 (b), se puede conectar una resistencia de linealización en serie con el sensor. El voltaje en el sensor, será de nuevo una función casi lineal de la temperatura.

En la práctica, una fuente de corriente es demasiado cara, entonces se puede usar un voltaje fijo de 5 o 12 V para conseguir una corriente de trabajo de 1mA, por ejemplo. En este caso, la linealización se puede conseguir por una combinación de resistencias serie/paralelo con el sensor, figura 2.6 (c). La resistencia de la combinación en paralelo (R_P , R_T) y la resistencia R_S es igual a la resistencia R_L de linealización óptima, calculada previamente.

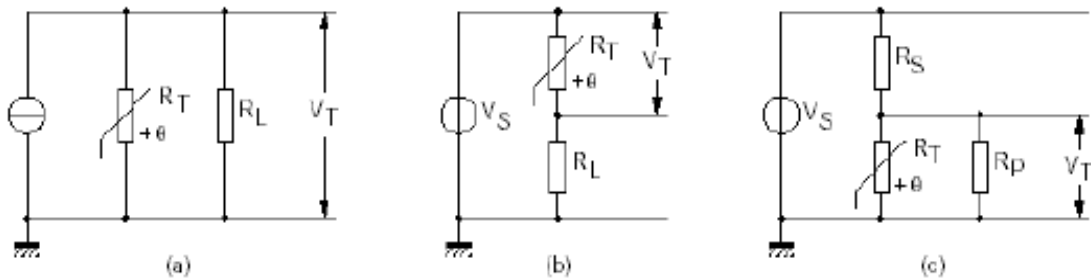


Fig.2.6. Linealización de los sensores de temperatura

Entonces sabemos que existen tres formas para la linealización al sensor de temperatura debiendo buscar la más conveniente para realizarlo:

(a) Con una resistencia 'RL' en paralelo con el sensor.

(b) Con una resistencia 'RL' en serie con el sensor y alimentado por una fuente de tensión constante.

(c) Con una resistencia 'RS' en serie y una resistencia 'RP' en paralelo y alimentado por una fuente de tensión constante.

2.7.2.5.2. HISTERESIS DE LA TEMPERATURA

La histéresis de temperatura, es el número de grados en que ha de sobrepasarse el punto seleccionado de temperatura original que debe ser sentido antes que el comparador sea puesto a cero y la salida inhabilitada. La figura muestra el ciclo de histéresis para los dos comparadores. La salida del comparador permanecerá "ON" hasta que la tensión de entrada, ahora igual a la VPTAT (Tensión de salida del sensor de temperatura) sumada al offset de histéresis, haya vuelto al punto de tensión programada. Entonces el comparador pasa a "OFF" desactivando la salida de colector abierto. Fig. 2.7.

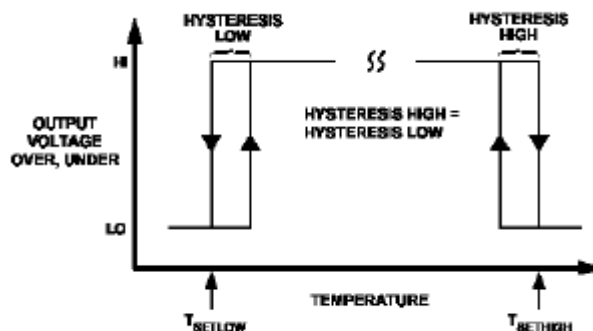


Fig.2.7. Ciclo de histéresis para los dos comparadores

El sensor utilizado en este proyecto de investigación es: Sensor de temperatura RTD PT100, con recubrimiento de acero inoxidable marca **BERNOLLI**.

2.8. SENSORES DE HUMEDAD

2.8.1. SENSORES DE HUMEDAD CAPACITIVOS

El sensor de los sensores lo forma un condensador de dos láminas de oro como placas y como dieléctrico una lámina no conductora que varía su constante dieléctrica, en función de la humedad relativa de la atmósfera ambiente. El valor de la capacidad se mide como humedad relativa.

Las mediciones de humedad atmosférica determinan la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera mediante peso, volumen, presión parcial o a través de una fracción (porcentaje) de la saturación de la presión de vapor con respecto a una superficie plana de agua pura.

Los higrómetros eléctricos son sensores de absorción que toman el agua, la cual causa un cambio en un parámetro eléctrico como la resistencia o la capacitancia. El sensor capacitivo incluye un sustrato de vidrio para darle resistencia mecánica, una delgada capa de oro (una de las placas del capacitor), una delgada placa de polímero (la placa de absorción) y una muy delgada capa de oro (la otra placa del capacitor). Esta placa debe ser bastante delgada para que permita fácilmente el transporte del vapor de agua, o debe ser dispuesta en bandas. El polímero tiene una constante dieléctrica baja, aproximadamente de 4. El agua tiene una constante dieléctrica de cerca de 80, (la cual

es sensible a la temperatura) de manera que la absorción de pequeñas cantidades de agua entre las placas afectará la capacitancia.

2.8.2. SENSORES DE HUMEDAD RESISTIVOS

Un electrodo polímero montado en tándem censa la humedad en el material. Además un circuito acondicionador y linealizador dan una salida estándar. Fig. 2.8.

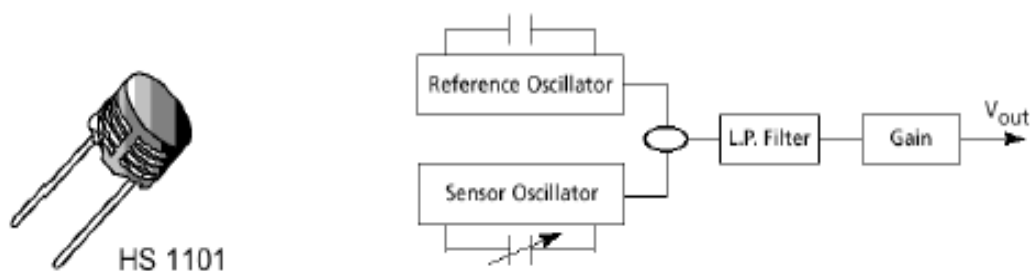


Fig.2.8 Sensor de humedad

2.8.3. APLICACIONES DE LOS SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA.

Los sensores de humedad relativa tienen múltiples aplicaciones como constan a continuación: Alarmas en lavadoras, acondicionadores de aire, humidificadores, higrómetros, incubadoras, sistemas respiratorios en medicina, etc.

2.8.4. ACONDICIONADORES DE SEÑAL PARA SENSORES DE HUMEDAD

Estos sensores proporcionan una señal de tensión proporcional a la humedad relativa y puede ser acondicionada por la entrada del convertidor A/D de cualquier microcontrolador.

El sensor utilizado en este proyecto es el modelo HMP45D, marca Vaisala, con un sensor Humicap 180, uno de los más confiables en el mercado.

2.9. SENSORES DE VELOCIDAD Y DIRECCION DE VIENTO

La función de un anemómetro es medir alguna o todas las componentes de la vector

velocidad de viento. Es común expresar el viento como un vector horizontal bidimensional, ya que la componente vertical de la velocidad del viento es usualmente pequeña cerca de la superficie de la tierra. De manera alternativa, el vector puede describirse mediante una velocidad y una dirección. En el caso horizontal, la dirección del viento es la dirección en la que fluye el aire, medido en grados en sentido horario desde el Norte. El instrumento de medición de viento debe responder tanto a la más ligera brisa, como a los vientos bastante fuertes para soportar los vientos de huracanes.

En este proyecto se ha utilizado un anemómetro de copas cuya salida directa es la velocidad de rotación mecánica de la copa y del eje que la soporta. El eje está acoplado a un transductor óptico que genera una serie de pulsos al interrumpirse un haz óptico. La velocidad de los pulsos es proporcional a la velocidad de rotación. Los anemómetros de copa son lineales sobre casi todo su intervalo de respuesta, con excepción de su límite inferior.

El sensor de dirección es la veleta de viento, la cual es una placa plana u hoja de metal que puede girar sobre un eje vertical y, en equilibrio estático, se orienta a lo largo del vector de viento. Tiene por lo general un contrapeso para balancearla sobre el eje vertical. El transductor eléctrico más sencillo es un potenciómetro montado concéntricamente con el eje vertical para convertir el ángulo de azimut (0° a 360°) a un voltaje proporcional al ángulo. La única fuente de error estático es el producido por una veleta desalineada.

El sensor consiste de una veleta potenciométrica de $10k\Omega$ ligera y un contrapeso, unidos a un eje que está acoplado a un potenciómetro de precisión. La dirección del viento a través de la posición de la veleta se convierte a un voltaje de directa proporcional. En este proyecto se ha utilizado un sensor de dirección y velocidad de viento ANEMOMETRO MAXIMUM 40 Hall Efecto Y VELETA 200P marca NRG SYSTEMS de la figura.2.9 el cual proporciona un umbral de disparo bajo, rápida respuesta dinámica y alta exactitud sobre un amplio intervalo de operación.



Fig. 2.9. ANEMOMETRO MAXIMUM 40 Hall Efecto Y VELETA 200P marca NRG SYSTEMS

ANEMOMETRO MAXIMUM 40 Hall Efecto .Un interruptor de efecto Hall reemplaza al bobinado. En este caso el voltaje de salida es una onda cuadrada cuya frecuencia guarda relación con la velocidad de viento como en el caso del sistema bobinado .Necesita de 5 a 24 VDC de tensión de alimentación con 5mA de corriente.

2.9.1. SENSORES DE EFECTO HALL

El fenómeno Efecto Hall fue descubierto en 1879. Si una corriente fluye en un conductor (o semiconductor) y se le aplica un campo magnético perpendicular a dicha corriente, entonces la combinación de corriente y campo magnético genera un voltaje perpendicular a ambos. Este fenómeno se denomina **Efecto Hall** ilustrado en la figura 2.10. V_H es una función de la densidad de corriente, el campo magnético, y la densidad de carga y movilidad portadora del conductor.

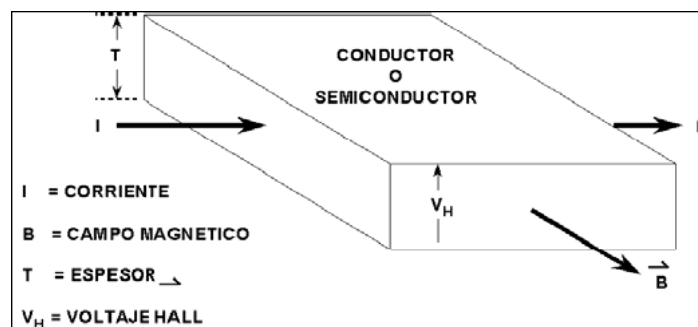


Fig. 2.10 Efecto Hall

El efecto Hall se usa para hacer sensores de movimiento, particularmente en aplicaciones de posición y movimiento, lineal o rotatorio.

2.10. LINEALIZACION DE OTROS TIPOS DE SENSORES

La linealidad de un sensor ó de la electrónica asociada, es uno de los factores más importantes en la adquisición de datos. La proporcionalidad entre las variaciones del parámetro y las variaciones del sensor es fundamental para el establecimiento de la medida.

La no linealidad de una medición puede deberse a dos factores:

- De los sensores. Cuando éstos no entregan una variación proporcional al parámetro.

Dentro de las distintas técnicas de linealización, destacamos la aplicada a sensores resistivos, consistentes en la utilización de una resistencia en paralelo con el mismo. Ya tenemos la idea de que un error deja de serlo cuando permanece por debajo del margen de tolerancia admitido. Esta técnica consiste en “aplanar” la curva no lineal, en el tramo efectivo, hasta conseguir que su distancia máxima con la recta ideal permanezca por debajo del error admitido.

- De los acondicionadores.

A veces, la no linealidad de la información no proviene del sensor, sino que lo hace del acondicionamiento. En estos casos se aplicarán técnicas de compensación específicas. Destacamos la linealización de los puentes de medida por su gran campo de aplicaciones:

En un puente, la no linealidad del mismo proviene en la variación que sufre la corriente que lo atraviesa, al variar la resistencia. Por ello una de las técnicas más empleada consiste en la utilización de generadores de corriente constante, generalmente asociados al propio amplificador. (Amplificadores de puente)

En el entorno de la linealización podemos también nombrar la linealización que puede efectuarse por programa, ya en el procesador. Si la información no es lineal pero su variación sigue alguna regla conocida (exponencial, logarítmica...) la corrección puede hacerse en el procesador mediante el programa adecuado o tablas de conversión.

2.11. FILTROS

Otro acondicionamiento de señal típico a prever ó incluir en los diseños será el filtrado de la señal para la eliminación de todo ruido fuera de la banda de la información. Este ruido producido por vibraciones o por muchos otros factores permite que la información se distorsione cambiando y entregando otros valores que en la realidad no son los generados por los instrumentos de medida.

2.12. AISLAMIENTO

Razones para el aislamiento eléctrico entre sensores y S.A.D.:

- Medidas de seguridad.
- Normas.
- Potenciales elevados.
- Entornos específicos (electro medicina,...)
- Eliminación de ruidos. (Interrupción de retornos comunes,...)

Aislamiento de señales digitales y/o analógicas:

Digitales: Optoaisladores. Relés. Transparencias reales. (Transistor en corte/saturación)

Analógicas: Circuitos lineales optoacoplados.

Transformadores. (Voluminosos, rendimientos,...)

2.13. HARDWARE

Es el conjunto de elementos que componen un ordenador, también son los componentes físicos de una computadora tales como el disco duro, CD-ROM, lectores de memoria, floppy, etc. En dicho conjunto se incluyen los dispositivos electrónicos y electromecánicos, circuitos, cables, tarjetas, armarios o cajas, periféricos de todo tipo y otros elementos físicos que lo componen.

2.14. COMUNICACIÓN CON TARJETAS DAQ

Las tarjetas DAQ son tarjetas insertables que permiten la entrada y salida de datos del computador a otros aparatos, donde se conectan sensores, y actuadores, para interactuar con el mundo real. Los datos que entran y salen pueden ser señales digitales o análogas, o simplemente conteos de ocurrencias digitales, tanto de entrada, como de salida.

Las tarjetas se comportan como si fueran un puerto más en el computador, y poseen todo un protocolo y sistema de manejo, por lo que entender cada tarjeta, como su funcionamiento, al igual que cualquier instrumento, requiere de tiempo y cuidado.

Existen tarjetas de alto desempeño, y de bajo. Las de alto son programables, y facilitan altas rutas de manejo de información, pues son en cierta forma inteligentes y suficientes, tal como un sistema Stand Alone, y por tanto no comprometen mucho la velocidad y rendimiento del computador.

Las tarjetas de bajo desempeño requieren de un control directo del computador, y se ven limitadas por la velocidad de éste. El Windows en cierta forma es un sistema operativo que no trabaja en tiempo real, para operaciones donde la rata de muestreo es muy alta, como en aplicaciones de audio, radar, vibraciones y video, aunque para aplicaciones de lentitud considerable es bueno, como en controles de hornos.

Para aplicaciones de alta velocidad y tiempo real, se requiere de hardware especial, ósea tarjetas inteligentes, que se programen, y transfieran los datos a memoria, ya sea por rutinas de DMA (acceso directo a memoria), o por rutinas de interrupciones al procesador.

Las tarjetas como cualquier otro periférico, requiere de sus parámetros de programación, y hasta protocolos de comunicación, por lo que se requiere de un software Driver que maneje lo bajo de programación, y deje en la superficie, la posibilidad de programar aplicaciones con los beneficios de dichas tarjetas, de una forma sencilla. Labview ofrece acceso a los driver desde las rutinas de configuración. Los driver disponibles son para las tarjetas de la NI National Instruments, pero en el mercado se consiguen driver para otras marcas como PC-LAB.

La configuración se hace a través del programa anexo a Labview, NI-DAQ.

2.15. DESCRIPCION DEL EQUIPO FISICO (NI USB-6008)

Los dispositivos NI USB-6008 de National Instruments y dispositivos de adquisición de datos de multifunción proveen la adquisición de datos confiable en un nivel más bajo. La conectividad de USB de estos dispositivos son simples y suficiente para las mediciones rápidas, pero lo suficientemente versátiles para aplicaciones de medición más complicadas.

2.16. DESCRIPCION DEL SOFTWARE

El software de base de NI - DAQmx es un controlador multiplataforma con un subconjunto del NI. El NI USB-6008 tiene conectividad incorporada así que ningún accesorio adicional es requerido.

2.16.1. APLICACIONES COMUNES

Las NI USB-6008 como nos indica la figura 2.11 son ideales para varias aplicaciones de tamaño pequeño y económico. Los datos a registrar son los datos del medio ambiente en función del voltaje rápidamente y fácilmente



Fig.2.11 Tarjeta DAQ NI USB-6008 de National Instruments

Cuando se miden señales analógicas con una tarjeta DAQ, se deben considerar los siguientes factores que afectan la calidad de la señal digitalizada: modo, resolución, rango, ganancia, frecuencia de muestreo y ruido.

Resolución.- La resolución es el número de bits que el convertidor analógico a digital (ADC) utiliza para representar la señal analógica. Mientras mayor sea la

resolución, mayor es el número de divisiones entre las cuales se divide el rango, y por lo tanto, menor es el cambio detectable de voltaje.

- **Rango.-** El rango se refiere a los niveles de voltaje máximo y mínimo que el ADC puede adquirir. Las tarjetas DAQ ofrece rangos seleccionables (por lo general de 0 a 10 V o de -10 V a 10 V), por lo que se puede ajustar el rango de la señal de ese ADC para aprovechar al máximo la resolución disponible para medir la señal con mayor precisión.
- **Ganancia.-** La ganancia se refiere a cualquier amplificación o atenuación de la señal que pueda ocurrir antes de que la señal sea digitalizada. Al aplicar ganancia a la señal se decrementa efectivamente el rango de entrada de ADC, y por lo tanto, se permite que el ADC utilice tantas divisiones digitales como le sea posible para representar la señal.
- **Frecuencia de muestreo.-** La frecuencia de muestreo determina que tan seguido van a ocurrir las conversiones analógicas a digitales. Una frecuencia de muestreo mayor se adquieren más puntos en un momento determinado y por lo tanto puede ofrecer una mejor representación de la señal original que una frecuencia de muestreo menor.
- **Filtrado y acondicionado.-** El ruido no deseado distorsiona la señal analógica antes de que sea convertida en una señal digital. La fuente de este ruido puede ser interna o externa a la computadora. El ruido externo se puede limitar utilizando un acondicionamiento de señal adecuado.

2.17. COMUNICACIÓN A TRAVES DEL PUERTO SERIAL

Se transmite la información por un puerto que puede ser el COM1 o el COM2, de forma serial, ósea a través de un solo cable, y cada bit pasa uno tras otro a alta velocidad. Para la comunicación entre computadores se establece un protocolo común para que la información sea entendida por ambos. Se debe definir el tamaño de los BUFFER para almacenar datos mientras se realiza la comunicación. También se debe definir si hay Handshaking, el cual consiste en que el que recibe cuando vaya a tener lleno el búfer de

información mande una instrucción (Si es por software es un comando <ctrl-S>, si es por hardware por una línea) para detener la transmisión, y otra para reanudar la transmisión de información (Por software <Ctrl-Q>, por hardware una línea).

Se debe tener cuidado al transmitir caracteres como <Ctrl-Q> y <Ctrl-S> porque pueden ser tomados como instrucciones.

Labview cuenta con funciones para iniciar, escribir y leer el puerto serial.

2.18. COMUNICACIÓN A TRAVES DE UN PUERTO GPIB.

EL GPIB (General Purpose Interface Bus ANSI/IEEE 488.1 y 488.2), es un puerto diseñado por la Hewlett Packard, para establecer comunicación con instrumentos de medición. Muchos de los instrumentos como son Balanzas, Osciloscopios, multímetros y equipos de tipo “Stand Alone” (que no requieren de un computador para funcionar, son independientes) cuentan con este tipo de puerto.

Los manejos de este puerto y los protocolos y controles de software Driver para GPIB son complejos y no se explicaran en este libro, por ser éste simplemente una introducción para los principiantes.

Esta capacidad de comunicación es uno de los fuertes del Labview, pues este viene con variedad de librerías de software driver, controlador de los instrumentos, con los protocolos de comunicación que maneja cada uno, así no se requiere de conocer el nivel más bajo de programación de dichos instrumentos, simplemente es mirar si se tiene el driver de dicho instrumento, y conectarlo.

2.19. COMUNICACIONES DINAMICAS ENTRE PROGRAMAS DE WINDOWS DDE

Si se tiene una base de datos abierta, es posible acceder datos de esta, y usarlos por el Labview, y viceversa, lo que sirve para una actualización dinámica. Se recomienda tener un conocimiento claro del uso de aplicaciones en Windows, como es Access, y tenerlo cargado y funcionando.

2.20. COMPACT FIELDPOINT

El sistema Compact FieldPoint es un sistema diseñado específicamente para aplicaciones de control industrial cuenta con un módulo conector el doble de ancho con conectividad sencilla, sin necesidad de un bloque terminal separado y ofreciendo una mejor refrigeración del interior del módulo con corrientes más altas.

La plataforma Compact FieldPoint es un controlador programable de automatización, PAC, de uso sencillo y con grandes posibilidades de ampliación, formado por módulos robustos de E/S e interfaces inteligentes de comunicación. Compact FieldPoint trabaja a temperaturas comprendidas entre -40 °C y 70°C, por ello es posible implementar aplicaciones embebidas de Labview en condiciones ambientales extremas en las que no podrían funcionar muchos PCs industriales. Los módulos Compact FieldPoint y FieldPoint combinan las ventajas de la tecnología PC, como el procesador, la memoria RAM y la potencia de su software, con la fiabilidad, robustez y el funcionamiento distribuido de la tecnología PLC.

2.21. SOFTWARE

El software es un herramienta indispensable para el funcionamiento del computador , programa o componentes, es un sistema informático compuesto por un conjunto de instrucciones que cuando se ejecutan en un dispositivo físico (hardware) produce resultados de acuerdo con los objetivos y función principal predeterminada. Los software mas comúnmente utilizados en la adquisición de datos son los siguientes:

2.21.1. LOOKOUT

Lookout de National Instruments es el software HMI/SCADA más fácil de usar en el mercado, le permite fácilmente crear poderosas aplicaciones de monitoreo y control de procesos, para desarrollar su interface hombre-máquina le toma menos tiempo permitiéndole ahorrar sustancialmente en el costo total de su proyecto. Estas son algunas de las características que lo hacen especial:

2.21.2. BRIGDEVIEW

BrigdeVIEW es específicamente un paquete del software. BrigdeVIEW mantiene las soluciones del configurable HMI común y SCADA, BrigdeVIEW se construye alrededor del lenguaje de programación de G, creado por la Corporación de los National Instruments.

2.21.3. LABWINDOW

LabWindows/CVI es un software probado y medido en códigos ANSI C cuyo ambiente aumenta grandemente la productividad de ingenieros y científicos los mismos que lo usan para desarrollar ambientes de alta calidad, las aplicaciones estables en la prueba industrial, el ejército y aeroespacial, telecomunicaciones, aprobación del plan, y las industrias de automotores.

2.21.4. LABVIEW

Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control.

2.21.5. GENIE.

GENIE es un sistema adquisición de datos poderosa, flexible. Paquete de software diseñado para interactuar con el ambiente de Microsoft Windows, proporciona un objeto intuitivo orientado a la interfaz gráfica del usuario, tiene un ambiente de desarrollo de aplicación mediante iconos en la que se puede crear su propio sistema de mando, una biblioteca de iconos de bloque de función que representan, control matemático.

2.22. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA TARJETA DAQ Y BLOQUE DE CONEXIONES

En este proyecto se ha utilizado una tarjeta NI USB-6008 de Nacional Instruments (NI) incluyen uno a ocho canales de datos analógicos listo para la adquisición de datos. Esta tarjeta tiene 8 canales individuales y 4 diferenciales de entradas analógicas de 12 bits de resolución, 2 canales de salidas analógicas de 12 bits, 12 líneas I/O digitales. Además tiene un contador de 32 bits, permite una entrada de +/- 10 a +/- 20 V.

El SCB-68 es bloque de conexión externa, contiene una tarjeta con protección, para la conexión directa con la tarjeta DAQ.

2.23. CONCLUSIONES

Al recabar el capítulo II y analizando la estructura del mismo se han establecido las siguientes conclusiones:

- Todos los componentes del sistema de adquisición de datos poseen características necesarias e importantes para poder ir seleccionando cada sensor, y el tipo de tarjeta que cumpla con las necesidades del sistema.
- Dadas las condiciones tomadas en cuenta para el sistema de adquisición de datos hemos tenido en cuenta lo que es en sí al software y estudiando cada uno se pudo optar por la instrumentación virtual por medio de LABVIEW.

CAPITULO III

CAPITULO III. DISEÑO Y CALCULO DEL AEROGENERADOR

3.1. INTRODUCCION

Un equipo aerogenerador basado en la utilización de energía el viento para poder producir energía eléctrica esta sometido en su funcionamiento a diversas condiciones como son :cambios climáticos, temperatura, humedad relativa y lo mas principal a los diferentes cambios en la velocidad de viento y a la vez a su dirección lo que conlleva a una atención muy bien puesta en el cálculo, diseño y construcción del aerogenerador para que pueda tener un perfecto funcionamiento a pesar de las condiciones antes mencionadas.

Este capitulo en general lo que se basa es en tener consideración todos estos parámetros para el calculo diseño y la construcción en si del aerogenerador experimental que nos pueda proporcionar la potencia que al ser de tipo experimental tenga un optimo rendimiento y a la vez nos permita dar el debido mantenimiento del equipo .

3.2. POTENCIA QUE SE DESEA OBTENER

Es la potencia eléctrica que se desea obtener

$P_e = 250 \text{ W}$ Potencia que se desea obtener

Donde:

P_e = potencia que se desea obtener.

3.3. VELOCIDAD DEL VIENTO

Se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre, siendo la fuente de energía eólica, o mejor dicho, la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento.

Bajo la acción de la presión, el aire de la atmósfera se desplaza de un lugar a otro a diferentes velocidades, dando lugar al viento. El gradiente de velocidades es mayor cuanto mayor sea la diferencia de presiones y su movimiento viene influenciado por el giro de la Tierra.

La velocidad de supervivencia de una turbina es 60m/s lo que conlleva al diseño de árboles, buje cojinetes que forman los componentes mecánicos cuando no se dispone de un sistema de regulación que permita regular la velocidad de giro del rotor.

$v = 7\text{m/s}$ Velocidad promedio del viento. Tomado de datos proporcionados por el Consejo provincial de Loja.

$$V_o = 4 \frac{m}{s} \text{ Velocidad inicial}$$

Teniendo en cuenta otros parámetros como son rendimientos de multiplicador y generador encontramos la potencia mecánica y la potencia aparente con las siguientes expresiones:

$$P_m = \frac{P_e}{\eta_g} \text{ Potencia mecánica} \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

P_m= Potencia mecánica

P_e = potencia que se desea obtener.

$\eta_g = 0.85$ Rendimiento del generador

P_m= 294.118W

$$P_a = \frac{P_m}{\eta_m} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

Donde:

η_m = 0.90 Rendimiento del multiplicador

3.4. DIMENSIONAMIENTO DEL ROTOR

3.4.1. DIAMETRO DEL ROTOR

Se considera al diámetro del rotor al barrido total de las palas con respecto al viento

$$D = \sqrt{\frac{Pa}{0.39 * \rho * V^3 * Cp}} \quad \text{(Ecuación 3.3)}$$

Donde:

D= Diámetro del rotor

Pa= Potencia aparente

V= Velocidad del viento

Cp = 0.39= Coeficiente de proporcionalidad (Limite de Betz)

ρ = Densidad del aire = 1.225 Kg./m³

$D = 2.261m$

3.5. ÁREA FRONTAL BARRIDA POR LA PALA

El área A barrida por el rotor y que éste presenta frontalmente al viento, es un parámetro que se utiliza con cierta frecuencia en los cálculos de energía eólica. Para una hélice, esta área es la superficie total barrida por las palas del rotor, perpendicular a la dirección del viento; para un rotor de hélice, de eje horizontal, paralelo a la dirección del viento, y diámetro D, el valor de A (figura 3.1) es:

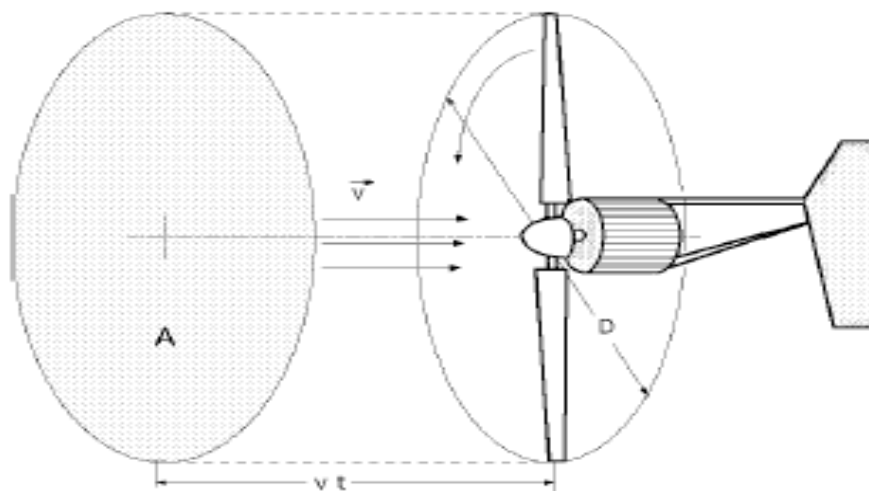


Fig. 3.1.- Área A barrida por el rotor de diámetro D

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

(Ecuación 3.4)

Donde:**A**= Área de barrido del rotor**D**= Diámetro del rotor

$$A = 4.016 m^2$$

3.6. MODELO TEÓRICO DE BETZ

Vamos a suponer que la energía eólica se puede recuperar y transformar mediante un aerogenerador de hélice (este dato no estrictamente necesario, por cuanto la demostración es válida para cualquier otro medio de transformación). La hélice se supone inmersa en una corriente de aire de velocidad \mathbf{v} que, aguas abajo, posee una velocidad \mathbf{v}_2 no nula, lo que permite asegurar que no es posible la transformación y recuperación de toda la energía del viento en otra forma de energía.

Se supondrá que aguas arriba de la hélice, el aire que circula por el tubo de corriente indicado en la Figura, 3.2.

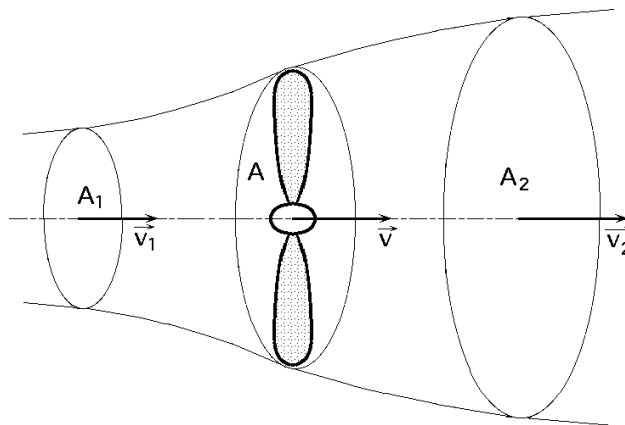


Fig. 3.2. Aire que circula por el tubo de corriente

posee una velocidad \mathbf{v}_1 en la sección transversal ficticia A_1 , que es la velocidad del viento sin perturbar, mientras que la velocidad \mathbf{v}_2 se corresponde con otra sección transversal ficticia A_2 aguas abajo de la zona en que se encuentra la hélice.

En el plano que contiene la hélice, la sección transversal batida por la misma sería un disco imaginario de sección A , siendo \mathbf{v} la velocidad útil del viento en la misma.

La hélice se supone como un disco de diámetro d que capta la energía del aire en movimiento que llega a él. Si el disco fuese capaz de captar toda la energía cinética del viento, aguas abajo del mismo el aire estaría en reposo y, por lo tanto, la velocidad sería ($v_2 = 0$).

Suponiendo que el gasto másico G de aire que circula por el tubo es constante, se puede poner:

$$G = \rho * A_1 * v_1 = \rho * A_2 * v_2 = \rho * A * v \quad \text{(Ecuación 3.5)}$$

La variación de la energía cinética del viento en la unidad de tiempo es de la forma:

La fuerza F ejercida por el viento en la unidad de tiempo ($\Delta t=1$) sobre el área ficticia A barrida por la hélice, es igual a la variación de la cantidad de movimiento del aire que la atraviesa; el trabajo generado por esta fuerza F en la unidad de tiempo, es la potencia P_{util} (P), de la forma:

$$P_{util} = Fv \quad \text{(Ecuación 3.6)}$$

$$F = \frac{G\Delta v}{\Delta t} \quad \text{(Ecuación 3.7)}$$

Reemplazando ecuación 3.5 y 3.7 en 3.6

$$P_{util} = \rho * A * v^2 * (v_1 - v_2) \quad \text{(Ecuación 3.8)}$$

Que es igual a la variación de energía cinética del aire, en el mismo tiempo, pudiéndose poner:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{(Ecuación 3.9)}$$

Reemplazando 3.9 en 3.8 tenemos:

$$P_{util} = \frac{\rho * A * v}{2} (v_1^2 - v_2^2)$$

$$P_{util} = \frac{\rho * A * (v_1 + v_2)}{4} (v_1^2 - v_2^2) \quad \text{(Ecuación 3.10)}$$

Si se hace el cambio ($v_2 = b v_1$) con ($0 < b < 1$), resulta:

$$P_{util} = \frac{\rho * A * (v_1 + b v_1)}{4} (v_1^2 - (b v_1)^2)$$

$$P_{util} = \frac{\rho * A * v_1^3}{4} (1 + b) * (1 - b^2) \quad \text{(Ecuación 3.11)}$$

El máximo valor de P_{util} se obtiene derivando $\frac{dP_{util}}{db} = 0$, resultando

$$(1 + b)(1 - b^2) =$$

$$(0 + 1)(1 - b^2) + (1 + b)(-2b) =$$

$$(1 - b^2) + (1 + b)(-2b) = 0 ; (1 + b)(1 - 3b) = 0$$

Cuyas soluciones son:

$$\left\{ \begin{array}{l} b = -1, \text{ que no cumple con la condición } (0 < b < 1) \\ b = \frac{1}{3} = \frac{v_2}{v_1} ; v_1 = 3v_2 \end{array} \right.$$

que permite hallar la potencia máxima suministrada por el rotor, reemplazando el valor de b en la ecuación 3.11 tenemos:

$$P_{util \max} = \frac{\rho * A * v_1^3}{4} \left(1 + \frac{1}{3}\right) * \left(1 - \frac{1}{9}\right) = \frac{8 * \rho * A * v_1^3}{27} = 0,37 * A * v_1^3 \quad \text{(Ecuación 3.12)}$$

que se conoce como **Ecuación de Betz**, y en la que se ha tomado como densidad media del aire ($\rho = 1,225$) kg/m³, ya que en invierno ésta viene a ser del orden de **1,33** y en verano de **1,15**.

De todo esto se deduce que la potencia máxima teórica es proporcional al diámetro D del círculo barrido por la pala y al cubo de la velocidad nominal del viento v_1 .

Como la potencia del viento aguas arriba de la hélice, viene dada por la expresión:

$$P_{disponible} = \frac{\rho * A * v^3}{2} = 0,625 * A * v^3 \quad \text{(Ecuación 3.13)}$$

el rendimiento máximo aerodinámico (o factor de potencia máxima) es:

$$\eta_{\max \text{ imo aerodinamico}} = \frac{P_{\text{util max}}}{P_{\text{viento}}} = \frac{16}{27} = 0,595 = 59,5\% \quad \text{(Ecuación 3.14)}$$

Que es el límite teórico o coeficiente de **Betz**, resultado que ninguna máquina eólica, por muy sofisticada y eficiente que sea, puede superar.

3.7. POTENCIA DEL VIENTO

La potencia del viento, que fluye a una velocidad v a través de un área A es igual:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{(Ecuación 3.15)}$$

$$P_v = 843.716W$$

Donde:

ρ = Densidad del aire = 1.225 Kg./m³

A = Área de barrido del rotor

v = Velocidad del viento.

Es proporcional a la densidad del viento ρ , el área interceptada A y la velocidad del viento v^3 ; para así el v^3 del viento acelere la velocidad del rotor, se puede describir la potencia del viento P_v como la energía cinética:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{(Ecuación 3.16)}$$

del aire de masa m que atraviesa el área A durante un tiempo dado. Como esta proporción de flujo de masa

$$m = \rho A \frac{dx}{dt} = \rho A v \quad \text{(Ecuación 3.17)}$$

es proporcional a la velocidad (Figura 3-1), el poder (energía por unidad de tiempo) es:

$$P_v = E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{(Ecuación 3.18)}$$

Dónde:

P_v = potencia del viento

E = energía cinética

t = tiempo

m = masa

v = velocidad promedio del viento = 7 m/s

A = Área de barrido del rotor

E_c = energía cinética del viento

$$E_c = 0.39 * \rho v^3 D^2 \quad \text{(Ecuación 3.19)}$$

$$E_c = 837.942 \text{ W}$$

$$P_v = 843.716 \text{ W}$$

La velocidad del viento varía con el tiempo y, por lo tanto, su potencia P también variará; se puede considerar el valor medio de ambas, por ejemplo a lo largo de un año, obteniéndose:

$$P_{v \text{ anual}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{(Ecuación 3.20)}$$

De estos conceptos se obtienen las siguientes consecuencias:

- a) La P_v varía fuertemente con la velocidad v, siendo preciso hacer las mediciones de v en el lugar exacto donde se quiera instalar el aerogenerador.
- c) La P_v varía con la densidad del aire ρ, a causa de las variaciones de presión y temperatura, en valores que pueden oscilar de un 10% a un 15% a lo largo del año.

3.8. POTENCIA ÚTIL DEL VIENTO

En una corriente de aire de densidad ρ y velocidad v , la potencia eólica disponible que atraviesa una superficie A y hace un recorrido L en el tiempo t , viene dada por la expresión de la ecuación:

$$P_{util} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_p * v^3 \quad \text{(Ecuación 3.21)}$$

Donde:

A = Área de barrido del rotor

$C_p = 0.39$ = Coeficiente de proporcionalidad (Limite de Betz)

$$P_{util} = 329.049 \text{ W}$$

3.9. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL ROTOR

Para la determinación la velocidad de giro del rotor se toma en cuenta la velocidad inicial de viento para la generación.

$$v_o = 4 \frac{m}{s} \text{ Velocidad inicial}$$

De donde podremos determinar con la siguiente expresión:

$$N1 = \frac{60 * \sqrt{v^2 - v_o^2}}{\pi * D} \quad \text{(Ecuación 3.22)}$$

De donde:

$N1$ = velocidad de giro del rotor

v = velocidad de viento

v_o = velocidad de viento inicial

D = Diámetro del rotor

$$N = 48.519 \text{ r.p.m} \text{ Numero de revoluciones.}$$

A la vez determinamos la velocidad angular descrita por el rotor

$$\omega1 = \pi * \frac{N1}{30} \quad \text{(Ecuación 3.23)}$$

De donde:

ωl = Velocidad angular

$\omega l = 5.081 \text{ rad} / \text{seg}$ Velocidad angular

3.9.1. RENDIMIENTO AERODINÁMICO η .

Se ha definido el rendimiento aerodinámico como la relación entre la potencia generada por el aerogenerador y la energía del viento que atraviesa el rotor, en la forma:

$$\eta = \frac{P_{\text{util}}}{\frac{\rho A v^3}{2}} = \frac{P_{\text{util}}}{P_v} \quad \text{(Ecuación 3.24)}$$

Donde:

η : Rendimiento aerodinámico

P_{util}: Potencia del útil del viento

P_v: Potencia del viento

η : **0.39%**

3.10. CALCULO DE LA VELETA DE DIRECCIÓN

Para mantener una dirección perpendicular al área frontal del rotor se utilizan varios mecanismos, siendo el más utilizado en aerogeneradores de baja potencia los sistemas de control de dirección de viento mediante veleta. La misma que para establecer su área utilizamos la siguiente ecuación la cual compara el área de barrido del rotor para aerogeneradores rápidos.

$$A_v = 0.16 * A * \frac{s_1}{m_1} \quad \text{(Ecuación 3.25)}$$

Donde:

A_v= área de la veleta.

A= área de barrido del rotor

s₁= distancia entre el plano de barrido de las palas y el eje de giro

m₁= distancia entre el eje de gravedad de la placa que conforma la veleta y el eje de giro vertical de la maquina.

$$A_v = 0.161 \text{ m}^2$$

El volumen de la veleta se calcula mediante la expresión:

$$V_v = A_v * e \quad \text{(Ecuación 3.26)}$$

Donde:

V_v= volumen de la veleta

e = espesor de la veleta o aspas= 0.0015m

El material utilizado es aluminio, con un espesor de 0.0015m entonces tendremos un volumen de la veleta de:

$$V_v = 0.000241m^3$$

Ahora bien utilizando la formula de peso específico podemos calcular el **peso correspondiente de la veleta** por la siguiente expresión:

$$\frac{\lambda}{V_v} = \rho_{Al} \quad \text{(Ecuación 3.27)}$$

Donde:

$$\rho_{Al} = 26460 \frac{N}{m^3} = \text{peso específico del aluminio}$$

p_{veleta}= λ = peso de la veleta

V_v= volumen de la veleta

$$p_{veleta} = \rho_{Al} * V_v \quad \text{(Ecuación 3.28)}$$

p_{veleta}= 6.376N

Que corresponde al peso de la cola sin tomar en cuenta su soporte.

3.11. CALCULO DEL DIAMETRO DEL ARBOL

En cuestiones de diseño es importa tener en cuenta todos los datos obtenidos en cuanto a velocidad y potencia del rotor, alcanza su mayor magnitud puesto que el comportamiento del viento es irregular en el tiempo.

El siguiente cálculo presenta al aerogenerador en dichas condiciones.

Todo el cálculo se determina calculando el diámetro de incidencia, área de la palas, calculo de los esfuerzos y los momentos como sigue a continuación:

$$D_{inc} = \frac{3 * D}{4} \text{ Diámetro de incidencia} \quad \text{(Ecuación 3.29)}$$

Donde:

D= Diámetro del rotor

D_{inc}: Diámetro de incidencia

D_{inc} = 1.696m

$$A_{incd} = \pi * \frac{D_{incd}^2}{4} \text{ Área de incidencia} \quad \text{(Ecuación 3.30)}$$

A_{incd} = 2.259m²

Potencia captada máxima

Constituye la cantidad de viento que se puede aprovechar a ser convertido en energía mecánica.

$$P_{cap \max} = \frac{1}{2} * \rho * C_p * A_{incd} * V_{sup}^3 \quad \text{(Ecuación 3.31)}$$

Donde:

V_{sup}= 12m/.Velocidad de supervivencia

A_{incd}= Área de incidencia

P_{capmax}=932.446W

Como se estableció que el rotor es capaz de tolerar daños en su estructura con una velocidad de supervivencia V_{sup}: 12m/s utilizado en este diseño.

Ahora recordando que el diámetro del rotor es D: 2.261m y la velocidad de viento inicial (V₀: 4m/s).

$$N_r = \frac{60}{\pi * D} * \sqrt{V_{sup}^2 - V_0^2} \quad \text{(Ecuación 3.31)}$$

Donde:

N_r= Numero de revoluciones

N_r= 95.556 r.p.m

Utilizando la ecuación para determinar la velocidad angular en rev/seg se determina la velocidad obtenida en el árbol:

$$\omega = \pi * \frac{Nr}{30} \quad \text{(Ecuación 3.32)}$$

$$\omega = 10.006 \text{ rad / seg}$$

Momento torsor

Se determina el momento torsor porque el árbol tendrá que resistir al movimiento de rotación que imprime la pala y se calcula por la siguiente expresión:

$$Mt = \frac{P_{cap \max}}{\omega} \quad \text{(Ecuación 3.33)}$$

$$Mt = 93.188 \text{ N.m}$$

Longitud de las palas

La longitud de las palas **L** se determina en función del diámetro del rotor con la siguiente expresión:

$$L = \frac{D}{2} \quad \text{(Ecuación 3.34)}$$

$$L = 1.1307 \text{ m}$$

3.11.1. TAMAÑO DE LAS PALAS Y COEFICIENTE DE SOLIDEZ Ω

Cuando una máquina eólica dispone de un número determinado de palas **Z** figura 3.3, la superficie total de las mismas se puede calcular mediante la expresión:

$$A_t = \Omega * A \quad \text{(Ecuación 3.35)}$$

Donde:

$$\Omega = 0.2 \text{ Rendimiento aerodinámico con un TSR}=3$$

TSR= (Tip-speed-ratio). Término empleado para sustituir al número de revoluciones por minuto de la pala, con el coeficiente de solidez Ω , todo esto de acuerdo al número de palas del rotor. Las máquinas con un coeficiente de solidez Ω grande son más lentas.

A = Área del rotor

$$A_t = 0.803m^2$$

Esta área es el área total que conforman todas las palas entonces si se divide por el número de estas que corresponde (3 palas) el área de cada pala será:

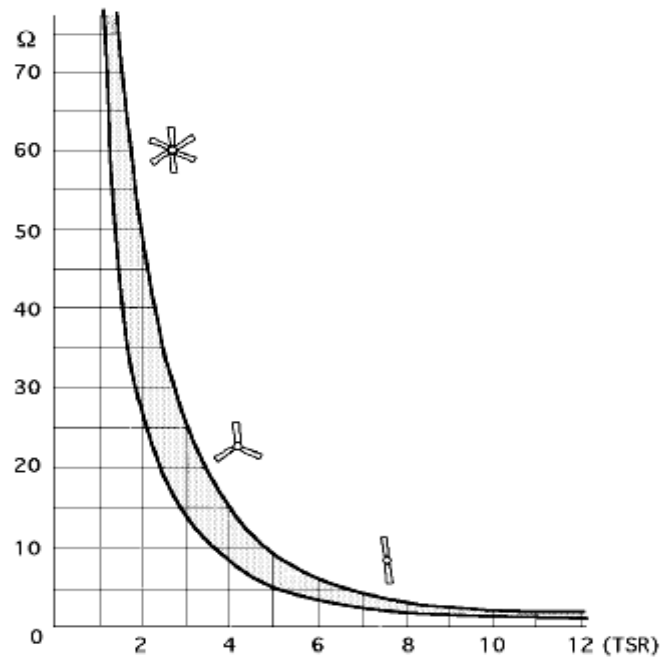


Fig. 3.3. Relación entre el coeficiente de solidez Ω y el TSR

Área de cada pala

El área de cada pala se lo determina por la siguiente ecuación donde utilizamos el resultado del cálculo anterior que es el área total de las palas dividida para 3 que es en número de palas como se realiza a continuación en la siguiente expresión:

$$A_p = \frac{A_t}{3} \quad \text{(Ecuación 3.36)}$$

Donde:

A_p = Área de cada pala

$$A_p = 0.268m^2$$

Ancho de la pala

Para conocer el ancho de la pala se determina por la siguiente ecuación:

$$a = \frac{Ap}{L} \quad \text{(Ecuación 3.37)}$$

Donde=

L= Longitud de la pala

a = Ancho de la pala

$$a = 0.237m$$

Espesor de las palas

Este valor del espesor de las palas se lo obtuvo por medición directa:

$$e = 0.0015m$$

Volumen de una pala

Para determinar el volumen de cada pala se aplica la siguiente expresión y realizando el cálculo correspondiente se obtiene:

$$v = \frac{At}{3} * e \quad \text{(Ecuación 3.38)}$$

Donde:

At= Área total de las palas

e = Espesor de las palas

$$v = 0.0004m^3$$

Volumen total de las palas

Ahora para obtener el volumen total de la palas se lo realiza multiplicando el volumen de una pala por 3 que es el número de palas correspondiente mediante la siguiente expresión:

$$vt = 3 * v \quad \text{(Ecuación 3.39)}$$

Donde:

v = Volumen de una pala

vt = Volumen total de las palas

$$vt = 0.0012048m^3$$

vt= 0.0012048m³

Peso específico del aluminio

$$\rho_{Al} = 26460 \frac{N}{m^3}$$

Peso de las palas

Utilizando la siguiente ecuación (3.40) y una vez obtenido el volumen total de la palas y conociendo el peso específico del aluminio utilizado para el cálculo:

$$p = \rho_{Al} * vt \quad \text{(Ecuación 3.40)}$$

Donde:

$$\rho_{Al} = 26460 \frac{N}{m^3} = \text{peso específico del aluminio}$$

vt = Volumen total de las palas

$$p = 31.879N$$

El árbol del rotor estará sometido a esfuerzos de flexión y torsión por tal motivo se toma en cuenta el peso de las palas las mismas que se sostienen en un extremo del árbol. El peso que se determino anteriormente es de **p: 31.879 N**.

Angulo de las palas

Se a considerado el ángulo de inclinación de 10° a 15° siendo el ángulo mas efectivo el de 15° por la fuerza que incide el viento en las palas y que permite romper la inercia del rotor y así aprovechar al máximo la velocidad de viento y a su vez la máxima potencia de viento lo que permite obtener mayor revoluciones del giro del rotor con la fuerza necesaria para transmitir el par giratorio al multiplicador.

Regulación experimental del ángulo de ataque del viento en función del giro de las palas del rotor.

La variación de las velocidad de giro del rotor depende principalmente del ángulo de incidencia del viento con respecto al perfil de las palas de esto se puede decir que hay que tener en cuenta dichos valores del ángulo para los cuales para poder encontrar dicho valor que se acople a la velocidad de rotación del aerogenerador hemos experimentado

mediante variación de ángulo partiendo desde valores comprendidos entre 8° y 15° grados obteniendo los siguientes resultados.

Angulo	Frecuencia	rpm	voltaje	tiempo
8°	60Hz	1200	3.2 V	2.30 min
10°	60Hz	1140	3 V	2.00 min
15°	60Hz	940	3 V	1.00 min

De estos valores se comprobó que el ángulo de mayor incidencia es de 15° ya que pocos segundos se obtiene las revoluciones por minuto (rpm) necesario en el rotor a diferencia que con un menor ángulo de inclinación se obtiene un mayor número de revoluciones pero en un tiempo mucho mayor. Se debe tener en cuenta también que la velocidad del viento no es constante por esta razón con un ángulo de 15 grados se aprovecha en menos tiempo las revoluciones para poder generar.

Esta practica la realizamos en los talleres de la Universidad Nacional de Loja que cuenta con una maqueta didáctica sobre la energía eólica.



Fig. 3.4. Angulo de inclinación de las aspas respecto al viento

Momento flector del árbol

El calculo del momento flector del árbol se lo realiza debido a que el debe resistir el peso en función de la longitud del árbol

$$M_{flec} = p * l \quad \text{(Ecuación 3.41)}$$

Donde:

p = Peso de las palas

$l = 0.15m$ Longitud del árbol

$$M_{flec} = 4.782Nm$$

$\sigma_{rot} = 600 \frac{N}{mm^2}$ Coeficiente de rotura del Acero St 37-11. Que es el material utilizado en el calculo del árbol.

Esfuerzo máximo a la rotura

Utilizando la ecuación que permite determinar esfuerzos a la rotura tenemos:

$$\sigma_{fm} = 0.33 \frac{\sigma_{rot}}{3.8} \quad \text{(Ecuación 3.42)}$$

Donde:

σ_{rot} = Tensión de rotura

σ_{fm} = Esfuerzo máximo a la rotura

$$\sigma_{fm} = 5210.5263.158Pa$$

Momento equivalente (Meq)

El eje está sometido a esfuerzos combinados el momento torsor producido por la velocidad de rotación del árbol y el momento torsor debido al peso de la pala que incide directamente el árbol cuya ecuación para determinar los esfuerzos combinados es:

$$M_{eq} = \sqrt{M_t^2 + M_{flec}^2} \quad \text{(Ecuación 3.43)}$$

Donde:

M_t = Momento torsor

M_{flec} = Momento flector

M_{eq} = Momento equivalente

$$M_{eq} = 93.31N.m$$

Entonces el diámetro del árbol lo determinamos con la siguiente expresión:

$$d = \sqrt[3]{10 * \frac{Meq}{\sigma fm}} \quad \text{(Ecuación 3.44)}$$

$$d = 0.026m$$

3.12. CALCULO DEL EJE VERTICAL

El eje está sometido a esfuerzos de flexión por la fuerza que imprime el viento y esfuerzo de compresión por el peso que soporta ver figura 3.5. El material empleado es el acero dulce St 37-11.

3.12.1. CALCULO DE LA FUERZA EJERCIDA POR EL VIENTO

Se tomara como superficie expuesta la suma de las superficies de cada una de las aspas, soportes y base de la misma.

Entonces:

$$\text{Área de las aspas} = 0.803m^2$$

$$\text{Área de la base} = 0.2544m^2$$

$$\text{Donde el área total de incidencia} = 0.82844m^2$$

En la presión del viento se tiene en cuenta la altura a la que se encuentra el aerogenerador. La forma de cálculo es la siguiente:

$$\text{Presión en kg. por } 1m^2 \text{ de superficie} = 1.6 * X \quad \text{(Ecuación 3.45)}$$

Donde la altura es igual a 5 metros, entonces la presión es igual a:

$$\text{Presión del viento} = 1.6 * X$$

Donde:

X = Constante de presión del viento según la altura. De 0 a 8m = 50Kg/m²

$$\text{Presión del viento} = 80kg/m^2$$

Ahora la fuerza será igual a:

Fuerza del viento = Presión del viento * área total de incidencia **(Ecuación 3.46)**

Fuerza del viento = $80 * 0.82844$

Fuerza del viento = $66.27 \text{ kg.} = 649.446\text{N}$

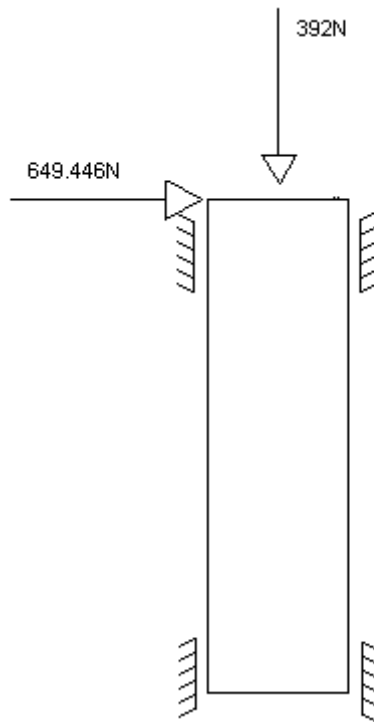


Fig. 3.5. Esquema representativo del eje

El peso que soporta el eje de acuerdo a los valores obtenidos pesando cada uno de los componentes es de $p=392\text{N}$

Realizando la sumatoria de momentos con respecto al punto X encontramos

$$\Sigma M = 0$$

$$Mf - 650.11 * x = 0 \quad \text{(Ecuación 3.47)}$$

$$Mf = 650.11 * x \quad \text{(Ecuación 3.48)}$$

Ahora, cuando

$$X = 0 \text{ Tenemos } Mf = 0$$

La longitud del eje es de $L= 0,5\text{m}$, se tiene que cuando $X =L$, el momento flector

$$Mf = 650.11L. \quad \text{(Ecuación 3.49)}$$

Sustituyendo los valores de la ecuación (3.49) utilizando una fuerza de viento de 66.27Kg aproximadamente y transformando las unidades correspondientes se obtendrá

$$Mf = 650.11 \times 0.5$$

$$Mf = 325.05 \text{ N.m}$$

Esfuerzo por compresión

Se sabe que el peso que va a soportar es de 392N aproximadamente, por lo tanto:

$$\Sigma FY = 0 \text{ y } N - p = 0 \quad \text{(Ecuación 3.50)}$$

$$N = p \quad \text{(Ecuación 3.51)}$$

Ahora reemplazando valores en la ecuación (3.51), se obtiene $N=392\text{N}$.

Para determinar el diámetro del eje, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{pL}{0.1D^3} + \frac{4p}{\pi D^2} \leq [\sigma_{perm}] \quad \text{(Ecuación 3.52)}$$

Como el valor del diámetro tiene que cumplir el valor establecido en la ecuación (3.52) ($\sigma_{perm}=45-70\text{N/mm}^2$) se encuentra con un diámetro de 2.54cm, se obtiene un esfuerzo de 5,9 N/mm^2 , valor que cumple la condición dicha.

3.12.2. CALCULO DE LA ESBELTEZ

El fenómeno del pandeo está muy relacionado con la esbeltez de la barra, concepto que se asocia intuitivamente con la relación entre la longitud y la sección de la barra. Considerándose piezas muy esbeltas a aquellas que son largas y delgadas. En este sentido las piezas muy esbeltas tienen una gran tendencia al pandeo y alcanzan muy pronto su carga crítica, mientras que las poco esbeltas tienen muy poca tendencia a ello, e incluso por debajo de un cierto límite de esbeltez no presentan ningún problema de pandeo.

La esbeltez de los soportes en cada tipo se calcula según sus soportes y su articulación en sus extremos.

$$\lambda = \frac{L}{2 * i} \quad \text{(Ecuación 3.53)}$$

Donde:

λ = esbeltez

L= Longitud de la barra o eje: 0.5m

i = radio de giro mínimo de la sección= $0.25 \cdot D = 0.00635\text{m}$

$\lambda = 39.37\text{m}$

Revisando los valores de la tabla del anexo N.- 2 tenemos que para una esbeltez de 39.37 nos proporciona un coeficiente de pandeo ω : 1.13

3.12.2.1 COEFICIENTE DE PONDERACION SEGÚN CONDICIONES

Coefficiente de ponderación si el efecto de la acción es el viento = 1.33

A= 0.00491 cm^2 en un eje de diámetro de 0.0254 m

D= 0.0254 m

P=392N

$$\sigma = \frac{p \cdot \omega x}{A}$$

(Ecuación 3.54)

$$\sigma = 9.016\text{N/mm}^2$$

$\gamma = 28.26$ Coeficiente de seguridad

3.13. TORRE DE SOPORTE Y CALCULO DE TENSORES

La torre es una parte importante ya que soporta el peso de todos los componentes que forman parte del aerogenerador y resiste la fatiga que la misma produce. El peso total de los componentes es de 529.2N obtenido por medición directa. El cual se reparte exactamente igual en cada uno de los nudos.

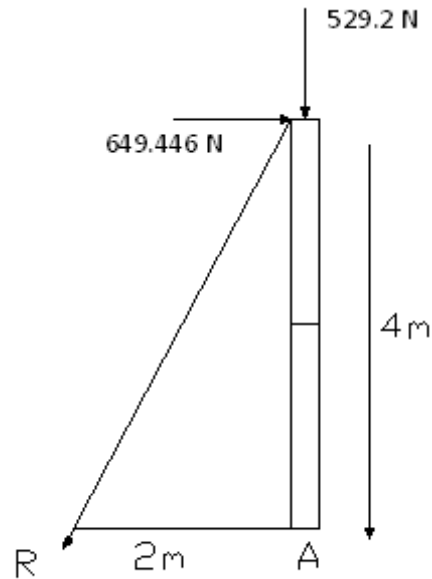


Fig. 3.6. Fuerza ejercida por el viento y peso de los componentes del aerogenerador

La fuerza del viento ejercida sobre la torre y el aerogenerador es igual a 649.446 N como se indica en la parte superior izquierda de la figura 3.6 para evitar que la torre se flexione se colocó tensores en cada uno de los extremos de la misma.

3.14. CALCULO DEL TENSOR

Para el cálculo del tensor se determina realizando la suma de momento en el punto a como sigue a continuación:

$$\Sigma MA = 0 \quad \text{(Ecuación 3.55)}$$

$$R \cdot 2 - 649.446 \cdot 4 = 0$$

$$R = 1298.5 \text{ N}$$

$$R = 132.5 \text{ Kg}$$

El elemento está sometido a tracción por lo tanto se calcula la sección del cable con una tensión admisible de 1600 kg/cm^2 correspondiente al acero Ct-0:

$$\sigma = \frac{R}{A_{\text{tensor}}} \quad \text{(Ecuación 3.56)}$$

$$A_{\text{tensor}} = \frac{R}{\sigma} \quad \text{(Ecuación 3.57)}$$

Donde:

Atensor= Área del tensor

σ = Tensión admisible = 1600kg/cm²

Atensor = 0.0946

$$rtensor = \sqrt{\frac{Atensor}{\pi}} \quad \text{(Ecuación 3.58)}$$

Donde:

rtensor= Radio del tensor

rtensor = 1.74m.m

Entonces el diámetro del cable tensor es de 3.48mm.

Para la selección del tensor se utilizo la medida inmediata superior que es de 5mm que se encuentra comúnmente en el mercado.

3.15. SELECCIÓN DEL GENERADOR

Las condiciones para poder seleccionar el generador y determinarlo son: la velocidad de giro que va a transmitir el multiplicador que esta acoplado a este, la potencia recibida y la potencia que queremos obtener y entregar al servicio.

Ante estos criterios mencionados en un capitulo anterior el generador seleccionado es:

Marca = BOSCH

Potencia nominal = 300 W

Intensidad = 25 A

Voltaje= 12 V

Rendimiento= 0.85 %

Peso= 7.72 Kg

Velocidad= 1400 rpm

3.16. SELECCIÓN DEL MULTIPLICADOR

Para la selección del multiplicador se tomo en cuenta los datos del rotor nos proporcionara los valores de velocidad necesaria que el generador electico para convertirla en energía eléctrica. El multiplicador ver figura 3.5 elegido es



Fig. 3.5. Multiplicador de engranajes helicoidales

MARCA= SINCRON

Tipo= 1055-x

Potencia = 1 CV

R.P.M. Entrada= 100

R.P.M. Salida= 1420

Relación=14,20

Peso= 11Kg

3.17. CONCLUSIONES

Al concluir el capítulo III podemos citar las siguientes conclusiones:

- Se desarrolló el cálculo de potencia del aerogenerador, dimensionamiento del diámetro del rotor, así como el cálculo de algunos componentes del aerogenerador y la selección de equipos constituyentes del aerogenerador.
- Se llegó a comprobar con los distintos componentes que conforman el aerogenerador cumplen los requerimientos y datos para poder construirlo.

CAPITULO IV

CAPITULO IV.SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS AMBIENTALES Y PROGRAMACION EN LABVIEW

4.1. INTRODUCCION

Al estudiar profundamente la configuración de los sistemas de adquisición de datos modernos DAQ (Data Acquisition System), basados en equipos PC (Personal Computer), se aprecia que una de las partes que componen dichos sistemas, es el software quien controla y administra los recursos del computador, presenta los datos, y participa en el análisis.

Viéndolo de este modo, el software es un tópico muy importante que requiere de especial cuidado. Para los sistemas DAQ se necesita de un software de instrumentación, que sea flexible para futuros cambios, y preferiblemente que sea de fácil manejo, siendo lo más poderoso e ilustrativo posible.

Programas y lenguajes de programación que cumplan con lo dicho existen en gran número en el mercado actual, como por ejemplo el Visual Basic, el C, el C++, el Visual C++, Pascal, LabWindows CVI, Labview, y muchos otros confeccionados específicamente para las aplicaciones que los necesiten.

Para elaborar los algoritmos de control y toma de datos, se consideró que el lenguaje más apto es el Labview (Laboratory Virtual Engineering Workbench), y las razones son varias:

- ◆ Es muy simple de manejar, debido a que está basado en un nuevo sistema de programación gráfica, llamada lenguaje G.
- ◆ Es un programa enfocado hacia la instrumentación virtual, por lo que cuenta con numerosas herramientas de presentación, en gráficas, botones, indicadores y controles, los cuales son muy esquemáticos y de gran elegancia. Estos serían complicados de realizar en bases como c++ donde el tiempo para lograr el mismo efecto sería muchas veces mayor.

- ◆ Es un programa de mucho poder donde se cuentan con librerías especializadas para manejos de DAQ, Redes, Comunicaciones, Análisis Estadístico, Comunicación con Bases de Datos (Útil para una automatización de una empresa a nivel total).
- ◆ Con este las horas de desarrollo de una aplicación por ingeniero, se reducen a un nivel mínimo.
- ◆ Como se programa creando subrutinas en módulos de bloques, se pueden usar otros bloques creados anteriormente como aplicaciones por otras personas.
- ◆ Es un programa que permite pasar las aplicaciones entre diferentes plataformas como Macintosh y seguir funcionando.

4.2. LABVIEW

El Labview es un lenguaje de programación de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación. Pero como lenguaje de programación, debido a que cuenta con todas las estructuras, puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicación, como en análisis, telemática, juegos, manejo de textos, etc.

Cada programa realizado en Labview será llamado Instrumento Virtual (VI), el cual como cualesquier otro ocupa espacio en la memoria del computador.

En Labview se crea una interfaz de usuario utilizando un conjunto de herramientas y objetos. La interfaz del usuario es llamada el panel frontal.

Posteriormente, se adiciona el código utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene dicho código. En ocasiones, el diagrama de bloques parece un diagrama de flujo.

Labview está totalmente integrado para comunicarse con equipos tales como GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485 y tarjetas de adquisición de datos (DAQ) insertables en la

computadora. Labview también posee características para conectar sus aplicaciones a la Web utilizando el Labview Web Server y programas estándares tales como TCP/IP y ActiveX.

Utilizando Labview se pueden crear pruebas y mediciones, adquisición de datos, control de instrumentos, almacenamiento de datos, análisis de mediciones y aplicaciones de generación de reportes. También se pueden crear librerías ejecutables y librerías compartidas, tales como DLL's, ya que Labview es un compilador verdadero de 32 bits.

Tomando en cuenta todo lo anterior, se considera de gran utilidad para los estudiantes, los docentes y empleados de la universidad tener un conocimiento básico del método de programación y del manejo de estructuras que posee, por tanto el presente trabajo trata de ser una guía básica, que puede usarse para introducirse en el manejo del Labview.

Se plantea el desarrollo de una herramienta de adquisición implementada en hardware y software, para ser un periférico interno adicional al PC, utilizando el Bus USB como enlace de comunicación y la implementación de transferencia de datos por acceso directo a memoria, utilizando al controlador de DMA interno que posee todo computador.

Esto implica la selección de una tarjeta de adquisición con un número suficiente de canales de entrada y de salida, para el manejo de señales analógicas y digitales y la implementación del software necesario para la configuración y control de la tarjeta, utilizando Labview como lenguaje de programación gráfica; esta aplicación es la interfaz entre el equipo y el usuario y tiene como objetivos facilitar el procesamiento, análisis y almacenamiento de los datos de una manera sencilla ya su vez automatizar el proceso de adquisición y el control de datos ambientales en nuestro caso.

Cuando se pone a trabajar Labview aparece la ventana principal del programa como se indica en la siguiente figura 4.1.



Fig. 4.1 Ventana principal de inicialización del programa

4.3. CARGANDO LABVIEW

Después de haber instalado exitosamente Labview, existirá un grupo de iconos correspondientes en Windows. Ver fig. 4.2.

- El Labview es el programa principal.
- WIBIC es un programa para configurar puertos de tipo GPIB.
- WDAQConf es usado por Labview para configurar las tarjetas insertables de la Nacional Instruments que se usan en la adquisición de datos.

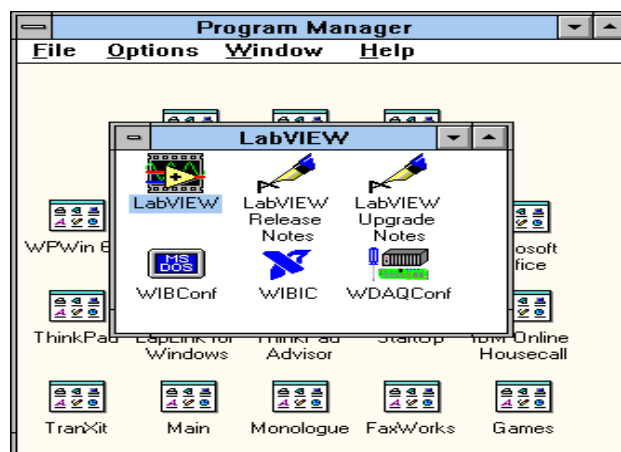


Fig. 4.2. Iconos correspondientes a Labview en Windows

4.4. USO DE LA MEMORIA:

La memoria usada la utiliza para cuatro bloques diferentes como son:

- ◆ **EL PANEL FRONTAL:** Donde se ven los datos y se manipulan y controlan.
- ◆ **EL DIAGRAMA DE BLOQUES:** En este se aprecia la estructura del programa, su función y algoritmo, de una forma gráfica en lenguaje G, donde los datos fluyen a través de líneas.
- ◆ **EL PROGRAMA COMPILADO:** Cuando se escribe en LabView, el algoritmo escrito de forma gráfica no es ejecutable por el computador, por tanto, LabView lo analiza, y elabora un código assembler, con base en el código fuente de tipo gráfico. Esta es una operación automática que ocurre al ejecutar el algoritmo, por tanto no es importante entender como sucede esto. Lo que si es algo para apreciar, es que en este proceso, se encuentran los errores de confección que son mostrados en una lista de errores, donde con solo darle doble clic al error, se aprecia en el diagrama de bloques, donde ocurre éste, para su corrección.
- ◆ **LOS DATOS:** Como el algoritmo maneja datos, requiere de un espacio en memoria para estos, lo que hace tomar en cuenta que el computador usado debe tener la memoria suficiente para manejarlos. Por ejemplo, cuando se usan grandes matrices en cálculos se puede requerir de mucho espacio.

Nota: A un programa VI terminado se le puede borrar el diagrama de bloques para que ocupe menos memoria, y no pueda ser editado, y seguirá funcionando. El panel nunca puede ser borrado.

4.5. INSTRUMENTOS VIRTUALES

Un programa creado en Labview es llamado como Instrumento Virtual y consta de tres partes a crear. Fig.4.3.

- ◆ El Panel frontal, donde estarán ubicados todos los indicadores y controles que el usuario podrá ver cuando el programa este en funcionamiento. Por ejemplo botones, perillas, gráficas, etc.

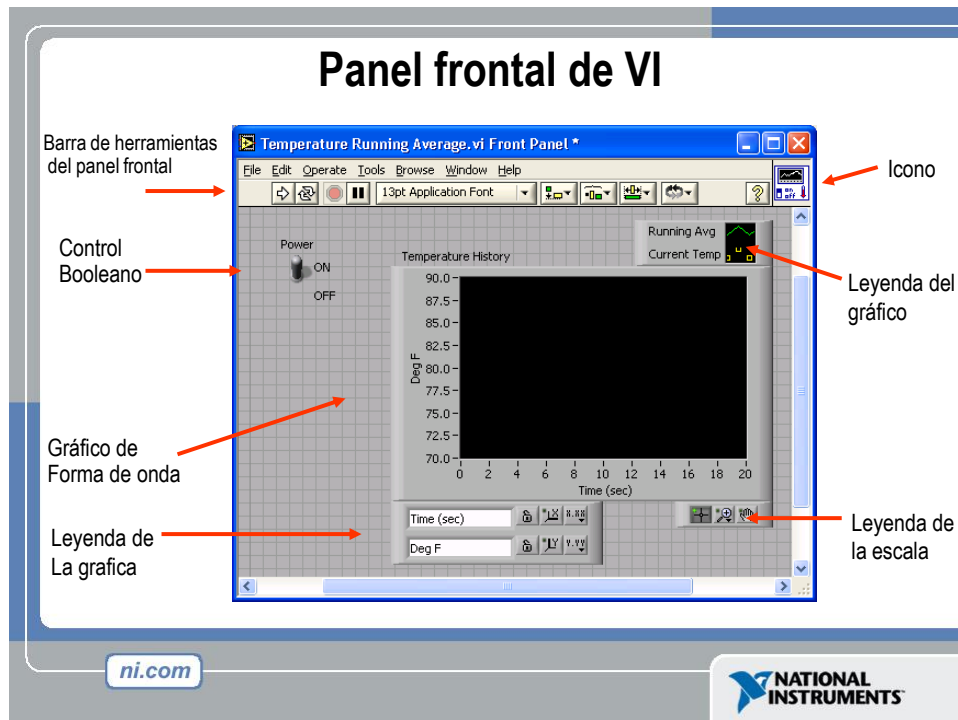


Fig.4.3- Programa creado en Labview y sus partes

- ◆ El diagrama de bloques muestra el programa en código gráfico G, fig. 4.4, el cual es el objetivo de aprendizaje en un nivel básico. Se usan en este diagrama estructuras de programación, y flujo de datos entre las diferentes entradas y salidas, a través de líneas. En este las subrutinas son mostradas como iconos de cajas negras, con unas entradas y unas salidas determinadas, donde en el interior se cumple una función específica. El flujo se aprecia, como se dibujaría en un bosquejo de sistemas, cuando se habla de teoría de sistemas, donde cada subsistema se representa como un cuadro con entradas y salidas.

Todos los indicadores y controles ubicados en el panel frontal están respaldados por un terminal de conexión en el diagrama de bloques tal como si se tuviera un tablero de control de una máquina o un avión, donde por el frente se ven los indicadores y por el lado posterior se aprecian todos los cables y terminales de conexión.

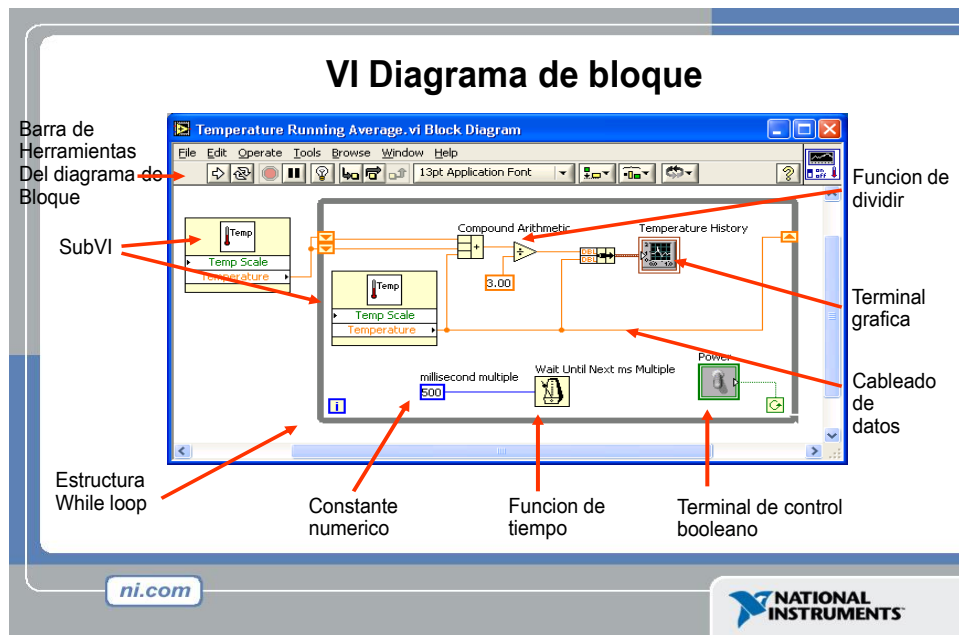


Fig. 4.4. Diagrama de bloques de un programa

4.6. PALETAS DE TRABAJO

Tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques, existe una paleta de herramientas, que sirve tanto para editar el VI, o ejecutarlo según el modo de trabajo que se tenga.



Fig.4.5. Cuando se trabaja en modo de ejecución la paleta es la de la figura.

- Con el botón **“Ejecutar”** se corre unas veces el programa. Cuando está ejecutando, se cambia a rayado como se aprecia en la figura 4.5 y aparece un botón de **“Stop”** con el cual se puede detener el programa. No es recomendado hacer esto, es preferible crear un algoritmo de paro del programa, con un botón destinado exclusivamente para esto.

Algunos programas al terminar deben de ejecutar algunas operaciones de cierre, como puede ser en la programación de tarjetas de adquisición de datos, o en el cierre de archivos, por tanto si se usa el botón de stop, este parará el programa totalmente, en el

punto en el que se encontraba y no permitirá que complete sus rutinas de cierre, pudiendo incurrir en errores y pérdida de la información.

Cuando la flecha aparece rota indica que hay un error en el programa. Al hacer clic se muestra una lista de errores, y al hacer clic en cada uno de los errores se apreciará en el diagrama la ubicación de la falla.

- **“Modo”** cambia entre modo de edición y modo de ejecución. Así está en modo de ejecución.
- **“Corrido sucesivo”** hace que el programa ejecute una vez tras otra hasta que se le de un paro con el botón de stop.
- **“Punto de paro”** al ser presionado cambia a “!”, así, al ser llamado como subrutina, abrirá el panel frontal para mostrar como cambia, para encontrar errores de lógica, o por simple visualización.
- **“Modo de corrido”** Al ser presionado cambia a una línea por pasos, así el programa ejecutará paso a paso. cada paso se dará al oprimir el icono de un solo paso.
- **“Highlight”** Muestra como fluyen los datos y que datos, a través de las líneas del diagrama de bloques.”
- **“Imprimir Panel”** Imprime el panel frontal actual cuando termina de ejecutar el programa.
- **“Grabar Panel”** Almacena en un archivo .LOG el estado actual del panel frontal.



Fig. 4.6. En el modo de edición.

- **“Operador”** Sirve para accionar los controles e indicadores.
- **“Posicionador”** Sirve para cambiar de posición los diferentes elementos en las diferentes pantallas. También permite cambiar el tamaño de estos.

- **“Texto”** Permite crear textos y etiquetas, tanto como cambiar los valores de las escalas de las gráficas.
- **“Alambrador”** Sirve para conectar los elementos en el diagrama de bloques, y para conectar los controles e indicadores a los pines del ícono del programa.
- **“Color”** Permite colorear los diferentes elementos.

Todos estos controles se indican en la figura 4.6.

4.6.1. PALETAS DE CONTROL (CONTROLS PALETTE)

La paleta Controls permite colocar controles e indicadores en el panel frontal. La paleta Controls está disponible únicamente en el panel frontal. Para acceder a ella debe de ir a Windows»Show Controls Palette o también al hacer clic con el botón derecho del mouse en el área de trabajo del panel frontal para desplegar la paleta Controls. (Ver figura. 4.7).

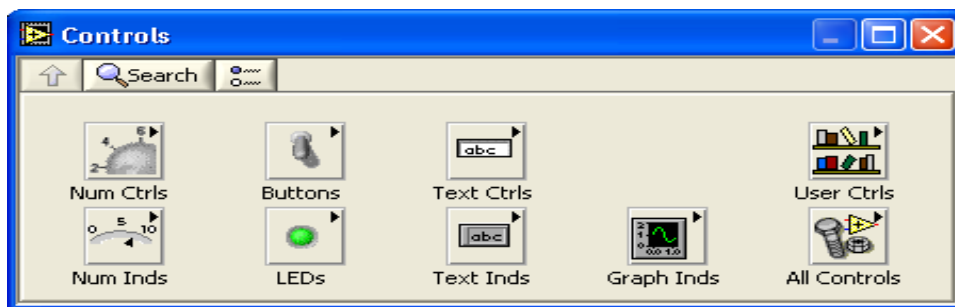


Fig.4.7 Paletas de Control

4.6.2. PALETA DE FUNCIONES (FUNCTIONS PALETTE)

La paleta Funciones permite construir el diagrama de bloques, y se encuentra disponible únicamente en la ventana de los diagramas de bloques. Para acceder a ella debe seleccionarse Windows»Show Functions Palette o tan solo al hacer clic con el botón derecho del mouse en el área de trabajo del diagrama de bloques para desplegar la paleta Funciones.Figura.4.8.

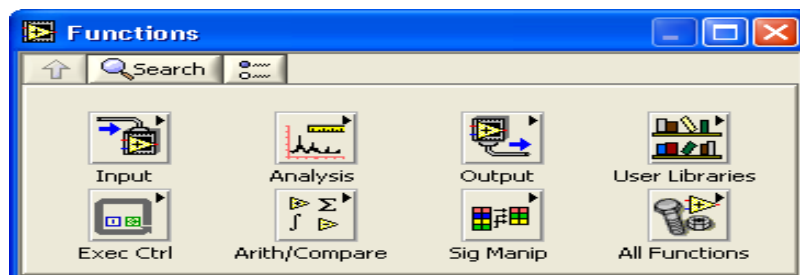


Fig. 4.8. Paleta de funciones

4.7. CALIBRACION DE LOS SENSORES

Una vez seleccionados los diferentes tipos de sensores para la adquisición de los datos se llevo a cabo la calibración de cada sensor con diferentes instrumentos y otros equipos de laboratorio generando variables eléctricas equivalentes a las salidas especificadas en cada uno de los sensores. En este sentido, el equipo utilizado fue el siguiente:

Multímetro Digital Acústico DT- 890C

Termómetro

Así al momento de la calibración hemos hecho comparaciones con los instrumentos y los sensores en función del voltaje de alimentación de cada uno de ellos.

4.8. CONFIGURACIÓN DE CANALES (*Measurement & Automation*)

La configuración de canales se puede realizar mediante programación de bajo y alto nivel. Sin embargo, se cuenta con la herramienta *Measurement & Automation Explorer (MAX)*™, con la cual de una manera directa se declaran, habilitan, configuran y prueban los canales utilizados. En este proyecto se utilizaron 3 canales de entrada para la adquisición de variables físicas y un contador de pulsos y se configuraron y probaron a través de MAX.

La herramienta MAX es un explorador de software y hardware que permite el acceso a todos los dispositivos de adquisición de datos como tarjetas DAQ, equipo GPIB, tarjeta para adquisición de imágenes de una manera fácil e inmediata. A través de MAX es posible:

- ◆ Configurar hardware y software
- ◆ Configurar canales, agregar o borrar canales, interfaces e instrumentos virtuales
- ◆ Ejecutar diagnósticos del sistema
- ◆ Detectar los dispositivos e instrumentos conectados al sistema.

El primer paso que se debe seguir para usar el programa de NI DAQ es ejecutar el MAX. En la figura 4.9 se observa la ventana del MAX.

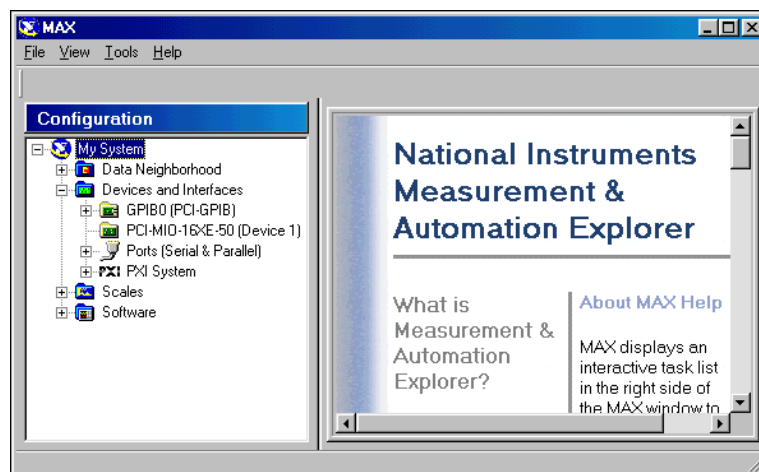


Fig. 4.9. Ejecutando *Measurement & Automation*

Los parámetros de la tarjeta que se pueden establecer utilizando la utilería de configuración dependen de la tarjeta. La utilería graba el número de dispositivo lógico y los parámetros de configuración en el registro de Windows. Ya que Windows es un sistema operativo "plug and play", detecta y configura automáticamente las tarjetas DAQ que no tienen interruptores, como la tarjeta PCI-MIO-16XE-50 o una **DAQCard**.

4.9. CONFIGURACION DE LA TARJETA NI DAQ 6008 USB

Verifique que la tarjeta **NI DAQ 6008 USB** este enchufado y que el módulo tenga encendidos su LEDs READY.



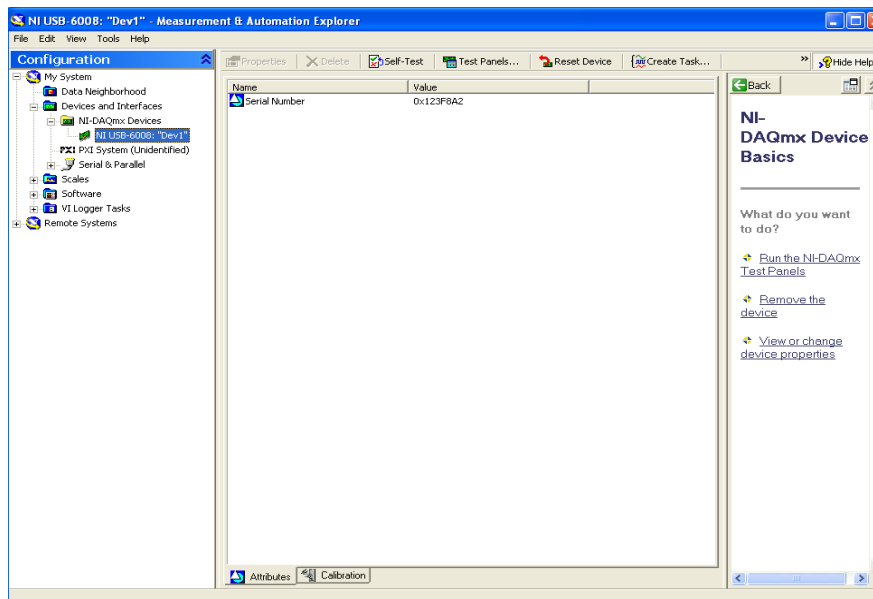


Fig.4.10. Configuración de la tarjeta DAQ

Abrir el MAX **Seleccionando Inicio>>Programas>>National Instruments>>MAX.** Cuando aparezca la pantalla de inicio del MAX seleccione File>> New para empezar un nuevo proyecto. Todos los proyectos del **MAX** son salvados como archivos *.iak.

Desde el Menú Configuración de la figura 4.10 presione el botón izquierdo del mouse y seleccione Devices and Interfaces y ubicamos la tarjeta NI –USB 6008 “Dev 1” y con clic derecho buscamos la opción “Créate Task”, y aparecerá la caja de dialogo para crear la primera tarea de voltaje. (Ver figura 4.11)

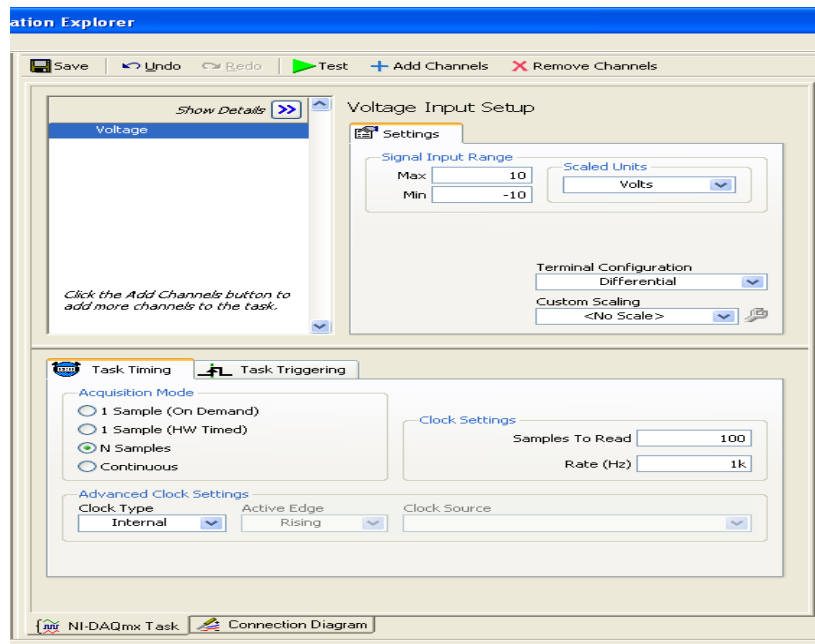


Fig.4.11. Creacion de la tarea de Voltaje

Una vez creada la tarea guardamos y hacemos un test para ver que la configuracion funcione correctamente.

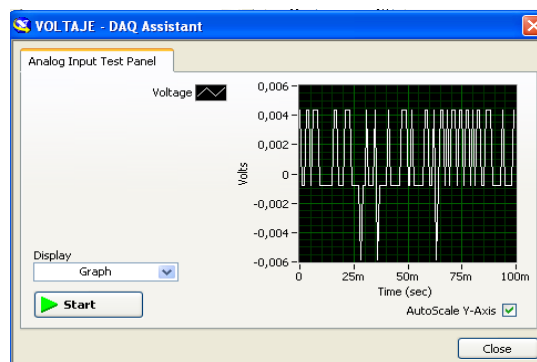


Fig.4.12. Test de la tarea de voltaje

El mismo procedimiento realizamos con la configuracion de los demas canales para los demas sensores de humedad relativa, direccion de viento y velocidad de viento

4.10. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES POR SOFTWARE

Una vez acondicionadas las señales de las cuatro variables por hardware, son procesadas por software para que sean compatibles en su comportamiento y en sus respectivas unidades con las variables físicas.

En el acondicionamiento se incluyen los bloques fundamentales de muestreo de canales, agrupación de señales, acondicionamiento por software, temporizadores y despliegue de datos.

4.11. INSTRUMENTOS VIRTUALES E INTERFAZ DE USUARIO

Los programas de Labview son llamados instrumentos virtuales o VI's. Los VI's contienen tres componentes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques y el icono/conector.

El panel frontal es la interfaz del usuario del VI.

4.11.1. INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

El sistema se ha desarrollado con Labview™ el cual es un lenguaje de programación gráfica, optimizado para crear aplicaciones de medición, control, supervisión y pruebas, especialmente para programas con interfaces gráficas de usuario. Proporciona gran rapidez por medio de su compilador al igual que con su interfaz I/O.

El programa tiene como nombre **SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS AMBIENTALES** el mismo que cuenta con distintas mediciones de parámetros como son: Dirección de viento, humedad relativa, temperatura y velocidad de viento capaz de medir variables físicas generadas por los sensores a aplicable en la Provincia de Loja debido a las condiciones climáticas presentes.

El programa consta básicamente de una ventana de presentación principal como nos muestra la figura. 4.13 la misma que lleva a varias ventanas según la opción que se elija o parámetro que quisiéramos conocer.



Fig.4.13. Ventana de presentación principal

La ventana principal del programa muestra las siguientes opciones descritas:

4.11.1.1. OPERADOR

Esta función permite el acceso a las demás opciones del programa.

Al momento que corremos el programa y para poder ingresar debemos elegir el primer botón del operador para poder ingresar si no tomamos esta opción no se podrá ingresar a la siguiente opción de Adquirir Datos o Salir. Al momento de elegir la opción de Operador nos muestra la siguiente caja de dialogo donde debemos ingresar el nombre del operador (cualquiera de las dos opciones de nombre y contraseña) y esperar a que lo reconozca como tal: (Ver figura 4.14).

Nombre	Passwort
unl	electromecánica
sistema	adquisición

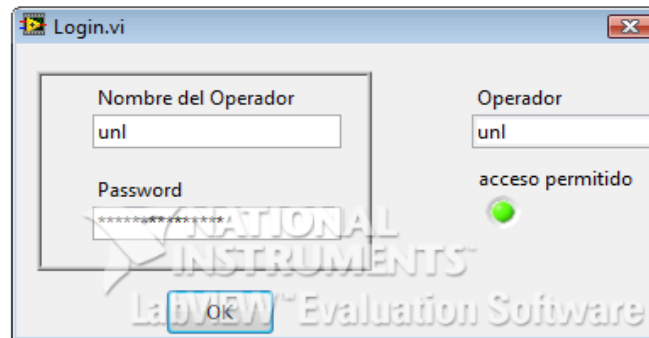


Fig.4.14. Caja de dialogo para ingresar contraseñas

4.11.1.2.ADQUIRIR DATOS

Esta opción permite ingresar a la siguiente ventana de Adquisición de Datos.

Posterior al llenar la casilla de la ventana del operador, podemos ingresar en si a lo que es el programa de adquisición de datos.

4.11.1.3.SALIR

Opción que permitirá salir del programa.

Seguido y luego de hacer clic en el botón de continuar abrimos una segunda ventana que nos presenta las diferentes opciones o parámetros que quisiéramos conocer. Esta ventana la denominamos Adquisición de Datos Principal. (Ver figura 4.15)

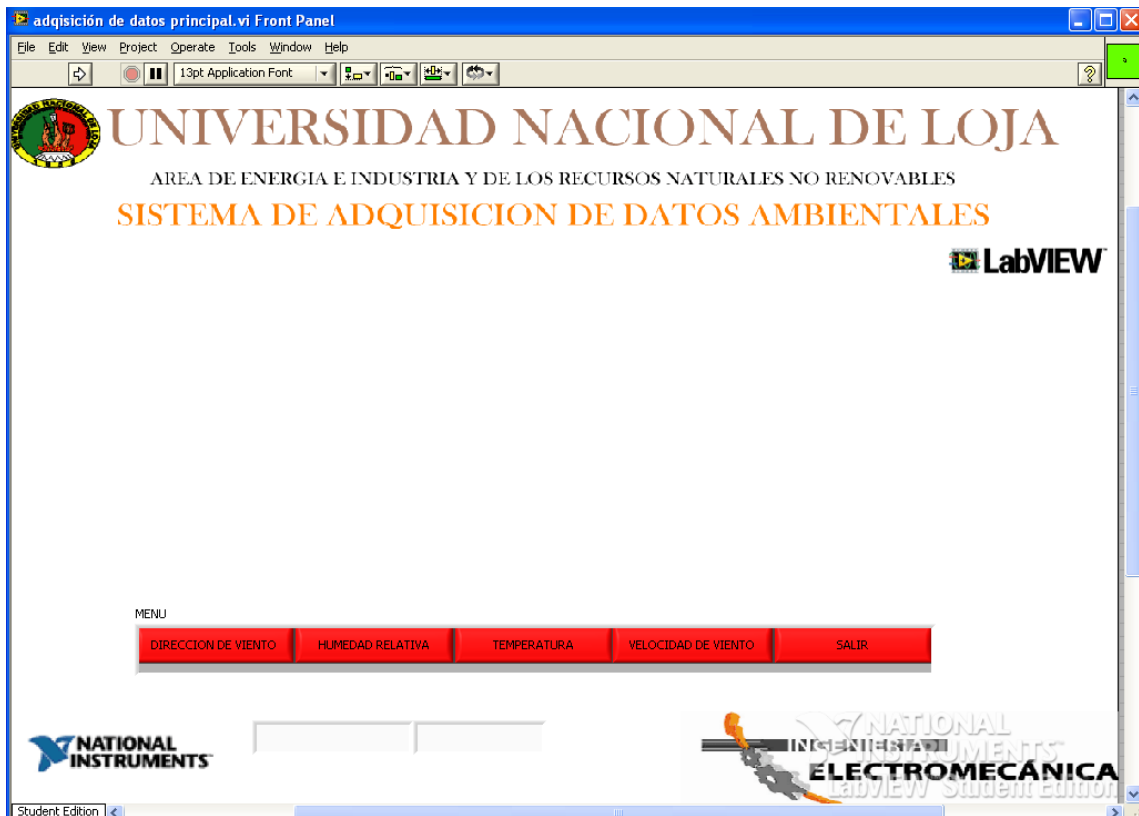


Fig. 4.15. Ventana Adquisición de Datos Principal.

4.11.2. ADQUISICION DE DATOS PRINCIPAL

En este panel frontal mostrada en la figura 4.15 nosotros podemos elegir el parámetro que queramos conocer de las cuatro opciones existentes como son:

- **DIRECCION DE VIENTO**
- **VELOCIDAD DE VIENTO**
- **HUMEDAD RELATIVA**
- **TEMPERATURA**

Por ejemplo si abrimos la ventana para conocer Dirección de Viento nos muestra lo siguiente (ver figura 4.16):



Fig.4.16.Interfaz de Dirección de Viento

Cualquiera de las opciones que elijamos nos permitirá ingresar desde una ventana a otra, ir al panel principal de adquisición de datos o a la vez salir de la medición general de datos.

4.11.3. ADQUISICION DE DATOS (DIAGRAMA DE BLOQUES)

Los programas se crean con facilidad mediante la conexión de iconos que realizan tareas y funciones específicas; al contrario del lenguaje textual de programación en el que se usan instrucciones siguiendo las reglas de sintaxis correspondientes. El resultado de esta programación gráfica es un diagrama de flujo, que es mucho más sencillo de usar y comprender que las tradicionales líneas de código. Existen iconos para crear arreglos de datos y registros, o para obtener el valor máximo o promedio de dichos arreglos, etc.

Este software facilita la realización de tareas que usualmente requieren mucho tiempo, tales como la obtención de complejos datos para ser graficados, el desarrollo de interfaces para usuarios o el control de procesos e instrumentos.

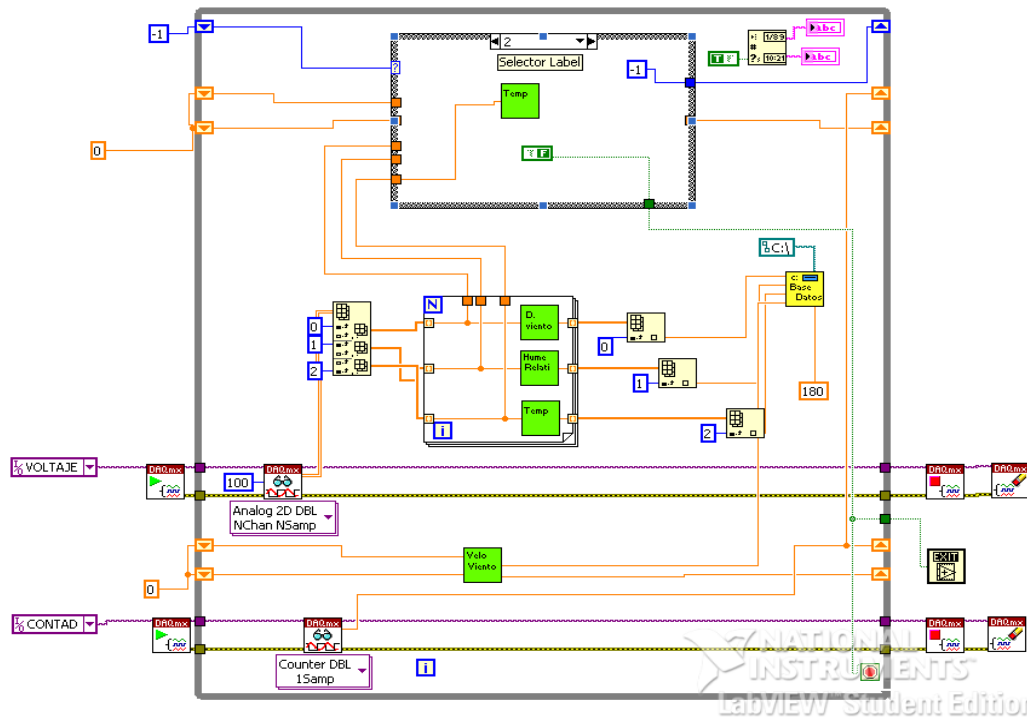


Fig. 4.17. Diagrama de bloques del Sistema de Adquisición de Datos Ambientales

En la figura 4.17 se muestra el diagrama de bloques principal corresponde al programa general del Sistema de Adquisición de Datos Ambientales construido con diferentes funciones y sub VI's de cada una de las variables existentes en el programa.

El VI correspondiente a la medición de la velocidad de viento se indica en la siguiente figura 4.18 y consta de funciones con que se acondiciono la señal de viento mediante el software Labview. Con la misma similitud se acondiciono las señales de las otras variables.

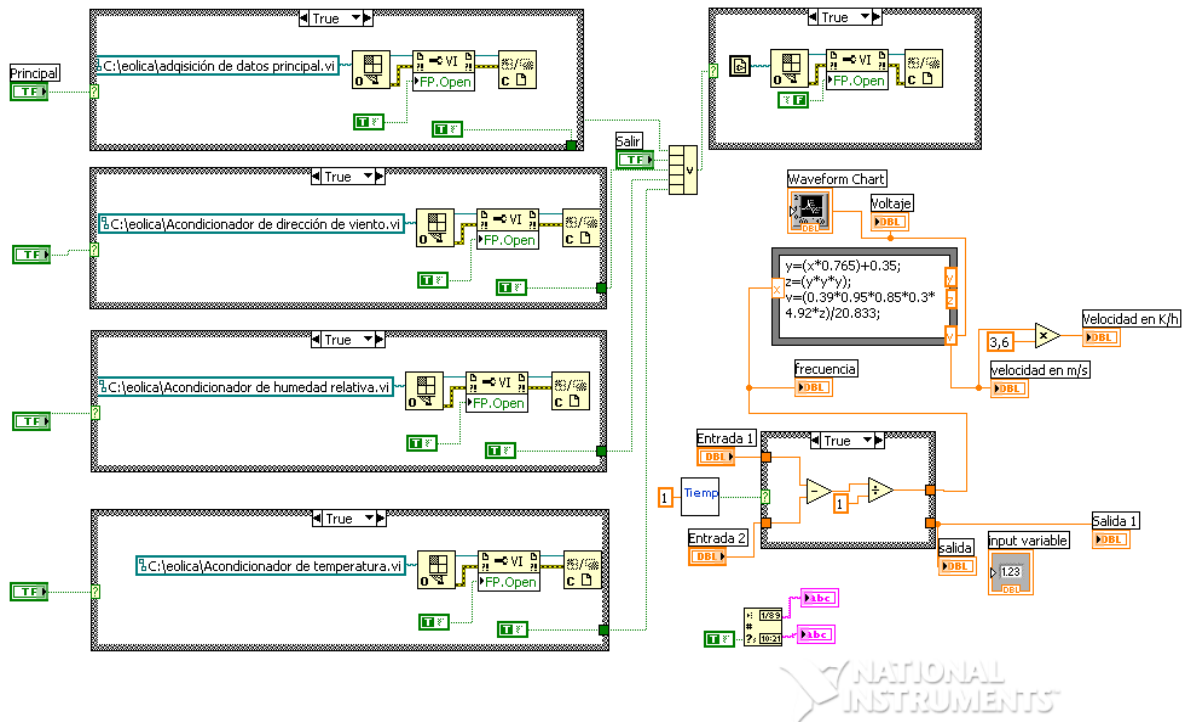


Fig.4.18.El VI correspondiente a la medición de la velocidad de viento

4.11.4. FORMATO EJECUTABLES DEL SISTEMA

El sistema se ha construido en forma portátil, es decir, se le ha dado a la aplicación un formato *.exe (ejecutable) o de ejecución independiente en cualquier plataforma con sistema Windows. La Figura 4.13, muestra la interfaz gráfica de usuario, en la cual están indicadas las funciones de cada control. Las características operativas de la interfaz de usuario son las siguientes:

- **Ventanas de Gráficas:** para la selección de opción a ejecutar.
- **Fecha:** Indica la fecha en la que se lleva a cabo la captura de datos.
- **Hora:** indica la hora en la que se lleva a cabo la captura de datos.
- **Tiempo en que se promedian los datos:** corresponde al intervalo de tiempo en segundos en el que se promediaran los datos capturados.
- **Ruta para almacenamiento de datos:** Carpeta de almacenamiento de datos (la cual debe existir previamente, de lo contrario se marca un error y no funciona la aplicación). Los archivos quedan guardados con el nombre de Base de Datos. Si existe un archivo con el mismo nombre se pide autorizar el reemplazo o previamente se tiene que cambiar el nombre del

archivo de datos. Los datos quedan almacenados en formato de texto para visualizarse en *Excel* o en cualquier editor de texto.

- **Salir del programa:** Suspende la ejecución de la aplicación y cierra el programa.

4.12. CONCLUSIONES

Al terminar el desarrollo del capítulo IV sobre el sistema de adquisición de datos podemos citar las siguientes conclusiones:

- El resultado de la programación gráfica en Labview es el reflejo de lo que conforma el sistema de adquisición de datos propuesto ya que nos permite realizarlo de una forma muy didáctica para el uso de estudiantes y profesores de la carrera.
- El uso de la instrumentación virtual nos conlleva a realizar programas de fácil manejo e inclusive a realizar otros proyectos con similitud a nuestro trabajo.

CAPITULO V

CAP. V ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. INTRODUCCION

En la elaboración de cualquier proyecto o trabajo técnico emprendido la valoración técnica es una aval muy importante para su ejecución o no del mismo además de tener en cuenta su valoración que puede depender tanto en la instalación y puesta en marcha. El presente trabajo se basa en el cálculo, diseño y construcción lo que implica como un modelo aplicable muy confiable a las condiciones climáticas de Loja sin olvidar que para ejecutarlo se debe hacer un análisis y estudio ecológico previo a su ejecución y por ende a una inversión requerida tomando en cuanto dicho análisis.

5.2. EVALUACION DE RESULTADOS

Habiendo realizado el estudio y análisis técnico del trabajo se lo deduce como viable a la ejecución del proyecto de aerogeneración de baja potencia, puesto que las condiciones climáticas mismas de la provincia de Loja así lo permiten por encontrarse en un lugar estratégico geográficamente el mismo que permite aprovechar un recurso muy abundante.

El aerogenerador fue montado en algunos lugares de la provincia de Loja dando muy buenos resultados en todos los sitios que se lo ubicó quedando establecido como modelo aplicable en la provincia como alternativa de solución ante la falta de servicio eléctrico en zonas rurales en la provincia de Loja y a su vez en el Ecuador.

5.3. PROGRAMA DE CÁLCULO EN MATHCAD

Para comparar con exactitud cálculos y los resultados a la vez contrastar los mismos se utilizo el programa MATHCAD que nos permite de forma muy rápida y breve tener resultados de cálculo de todo el aerogenerador. Este programa se realizo en forma como fueron ingresadas las ecuaciones y los datos.

5.4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis estadístico se lo realizara basado en comparación de los datos proporcionados por el sistema de adquisición de datos. La misma que permitirá evaluar los datos tomados con los sensores implementados.

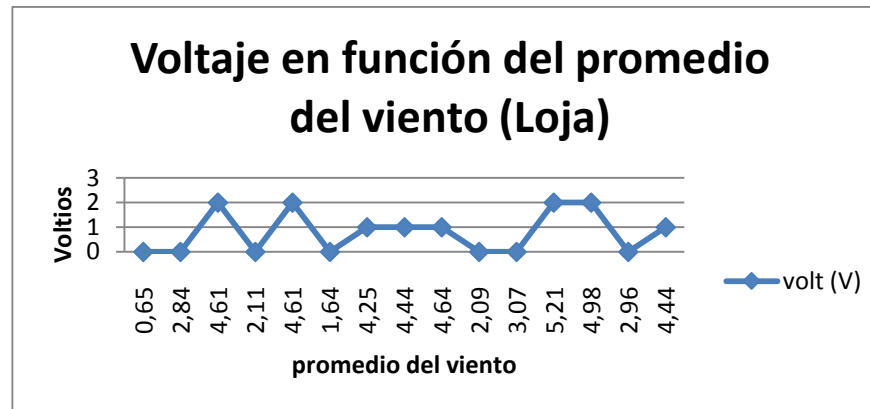
Para poder realizar el debido análisis realizamos mediciones en la ciudad de Loja y Catamayo estableciéndose el aerogenerador como modelo aplicable a las condiciones climáticas de la provincia de Loja.

Con los datos obtenidos y hemos calculado el voltaje producido en función de la velocidad de promedio de cada día de medición del viento.

Los resultados los presentamos a continuación:

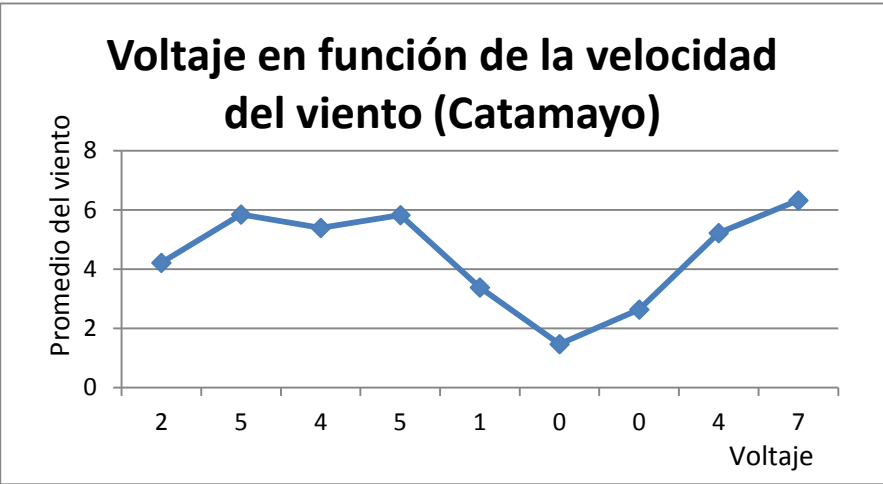
Tabla de potencias y voltaje obtenido en la Ciudad de Loja

v max	v min	Prom(m/S)	const	$\rho(K/cm^2)$	Diam(m)	v^3	const	ηg	ηm	cp	d^2	Pv.wattios	p.e.wattios	intens(A)	Volt(V)
0.913	0.395	0.65	0.5	1.225	2.261	0.274625	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	0.38031786	0.16335478	21.83	0
3.308	2	2.84	0.5	1.225	2.261	22.906304	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	31.7220814	13.6253226	22.83	0
5.962	3.266	4.61	0.5	1.225	2.261	97.972181	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	135.678	58.2766462	23.83	2
2.984	1.241	2.11	0.5	1.225	2.261	9.393931	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	13.0093028	5.58777795	24.83	0
5.962	3.266	4.61	0.5	1.225	2.261	97.972181	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	135.678	58.2766462	25.83	2
2.311	0.978	1.64	0.5	1.225	2.261	4.410944	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	6.10855094	2.62375523	26.83	0
5.928	2.836	4.25	0.5	1.225	2.261	76.765625	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	106.309835	45.6623821	27.83	1
5.93	2.946	4.44	0.5	1.225	2.261	87.528384	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	121.214777	52.064378	28.83	1
5.960	3.317	4.64	0.5	1.225	2.261	99.897344	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	138.344086	59.421788	29.83	1
2.995	1.18	2.09	0.5	1.225	2.261	9.129329	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	12.6428654	5.43038514	30.83	0
4.302	1.845	3.07	0.5	1.225	2.261	28.934443	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	40.0702251	17.2110315	31.83	0
7.154	3.263	5.21	0.5	1.225	2.261	141.420761	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	195.848309	84.1211001	32.83	2
6.604	3.491	4.98	0.5	1.225	2.261	123.505992	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	171.038817	73.4648848	33.83	2
4.358	2.089	2.96	0.5	1.225	2.261	25.934336	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	35.9154894	15.4264824	34.83	0
5.930	3.240	4.44	0.5	1.225	2.261	87.528384	0.39	0.85	0.9	0.39	5.112121	121.214777	52.064378	35.83	1



Promedios de los días de prueba en Catamayo

v max	v min	Prom(m/S)	const	$\rho(K/cm^2)$	Diam(m)	v^3	const	ηg	ηm	cp	d^2	Pv.wattios	p.e.wattios	intens(A)	Volt(V)
6,0068	2,405	4,2061	0,5	1,225	2,261	74,41128107	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	103,049393	44,2619512	20,83	2
7,588	4,09	5,84	0,5	1,225	2,261	199,176704	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	275,832348	118,475981	20,83	5
7,013	3,974	5,3914	0,5	1,225	2,261	156,7128695	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	217,025776	93,2172822	20,83	4
8,591	4,406	5,82032	0,5	1,225	2,261	197,1698873	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	273,053183	117,28227	20,83	5
5,101	2,39	3,3777	0,5	1,225	2,261	38,53569727	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	53,3666421	22,9221313	20,83	1
2,148	0,79	1,46	0,5	1,225	2,261	3,112136	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	4,30988044	1,85118721	20,83	0
3,08	1,45	2,6318	0,5	1,225	2,261	18,22882383	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	25,2444145	10,8430241	20,83	0
7,329	3,434	5,22	0,5	1,225	2,261	142,236648	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	196,9782	84,606413	20,83	4
8,83	4,48	6,3241	0,5	1,225	2,261	252,9275783	0,39	0,85	0,9	0,39	5,112121	350,269918	150,448534	20,83	7



5.5. VALORACION ECOLOGICA Y SOCIAL

Lo más importante en la valoración de nuestro trabajo consiste en una valoración de los aspectos ecológicos y sociales de la investigación.

La vida del planeta es cada vez menor debido al calentamiento global que es el resultado de las emisiones de todo tipo de las energías fósiles como carbón y petróleo, es por eso que la energía eólica está en auge a nivel mundial por todos los aspectos beneficiosos con lo que cuenta.

Entre los aspectos valorados ecológicamente constan los siguientes:

5.5.1. AMBIENTAL

El estudio Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica demuestra que el kWh producido con energía eólica tiene 26 veces menos impactos que el producido con lignito, 21 veces menos que el producido con petróleo o 10 veces menos que el producido con energía nuclear. Además, los modernos aerogeneradores recuperan rápidamente toda la energía gastada en su fabricación, instalación, mantenimiento y desmantelamiento. Bajo condiciones de viento normales, a una turbina le cuesta entre dos y tres meses recuperar esa energía.

Otros beneficios de la energía eólica son que apenas ocupa suelo, es compatible con otros usos y es una instalación reversible (tras su clausura, devuelve al suelo su apariencia original).

5.5.2. PAISAJE

Los aerogeneradores son siempre elementos altamente visibles en el paisaje. De lo contrario, no están situados adecuadamente desde un punto de vista meteorológico. En consecuencia, provocan un impacto paisajístico, aunque mientras para unos ese impacto es positivo, otros lo consideran inasumible (por tanto, se trata de una cuestión ligada a percepciones individuales). En cualquier caso, la creación de los parques eólicos está

sujeta a las pertinentes actuaciones ambientales para evitar y restaurar la vegetación, cerrar los caminos al paso de vehículos, etc.

5.5.3. FLORA Y FAUNA

Otros aspectos criticados son las supuestas afecciones que causan a la flora y fauna, en especial a las aves. En este terreno, lo mejor es guiarse por los estudios científicos sobre la relación entre la avifauna y los parques eólicos de la Comunidad foral. Las conclusiones basadas en nuestro trabajo han determinado una tasa de colisiones de aves del 0,1%. Estudios semejantes realizados en Dinamarca han concluido que las aves se acostumbran rápidamente a los aerogeneradores y desvían su trayectoria de vuelo para evitarlos.

5.5.4. RUIDO

La contaminación acústica provocada por los aerogeneradores de los 80 ha dejado de ser considerado un problema ya que las emisiones sonoras de actuales turbinas se han reducido por debajo de la mitad.

Además el ruido siempre viene influenciado con el tipo de material utilizado, su tratamiento y acabado. Los aerogeneradores modernos son cada vez menos ruidosos por su constante evolución en su elaboración además de depender de la distancia que es inversamente proporcional a mayor distancia menor ruido.

5.5.5. IMPACTO VISUAL

Los aerogeneradores son siempre elementos muy visibles en el paisaje. De lo contrario, no estarían situados adecuadamente desde un punto de vista meteorológico.

En todo caso el impacto visual es algo consustancial a esta forma de producir energía. Puede minimizarse en lo posible, por ejemplo pintando las torres de gris, pero nunca evitarse totalmente. En áreas llanas suele ser una buena estrategia disponer las turbinas según una distribución geométrica simple, fácilmente perceptible por el espectador. Sin embargo, existen límites a la utilización de patrones simples: en paisajes con fuertes pendientes, rara vez es viable la utilización de un patrón simple, y suele ser mejor hacer

que las turbinas sigan los contornos del altitud del paisaje, o los cercados u otras características del mismo.

5.5.6. PEQUEÑOS AEROGENERADORES

No siempre lo grande es mejor. Las grandes turbinas, particularmente bien adaptadas para la energía eólica en el mar, resultan inadecuadas para determinados emplazamientos. En zonas donde la red eléctrica es débil, por ejemplo, los pequeños aerogeneradores pueden resultar mucho más interesantes, ya que hay menos fluctuación en la electricidad de salida de un parque eólico compuesto de varias máquinas pequeñas. El coste de usar grandes grúas, y de construir carreteras adecuadas para transportar los componentes de la turbina, puede hacer, asimismo, que en algunas áreas las máquinas pequeñas resulten más económicas. A ello hay que añadir el excelente recurso que suponen para cubrir las necesidades eléctricas en lugares aislados de la red.

5.6. VENTAJAS AMBIENTALES

- Se genera energía limpia que no produce emisiones contaminantes al ambiente de gases efecto invernadero como CO₂.
- Se utiliza un recurso renovable de energía, el viento, gratuito e inagotable

5.7. VENTAJAS ENERGETICAS

- Contribución a la producción energética e zonas rurales donde no pueden llegar el servicio eléctrico interconectado.
- La generación eólica en épocas de estiaje puede constituir un solución viable.

5.8. COMPARACION CON OTROS SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVABLES

El Uso de las energías alternativas como medio de solución al servicio de electrificación nos da muchas pautas para comprender el uso de cada una de ellas y así también comparar en costos, producción de electricidad y eficiencia.

La comparación lo hacemos específicamente con dos sistemas: eólico y fotovoltaico.

La energía luminosa del sol puede ser utilizada para producir energía fotovoltaica mediante sistemas de Ingeniería que sean capaces de transformar esta luminosidad en potencial eléctrico

La transformación es posible utilizando ciertos materiales convertidos en semiconductores

El material mas idóneos y confiable para la transformación de la luz solar en energía fotoeléctrica es el silicio, es fabricado en pequeñas y delgadas pastillas que toman el nombre de celdas solares.

- Las principales ventajas del sistema son:
- Requerimiento de mantenimiento mínimo.
- No necesita combustibles.
- Fácil instalación
- Tiempo de vida elevado y funcionamiento sin necesidad de supervisión.

Y las desventajas son:

- Inversión de capital alto.
- Variabilidad de rendimiento y producción con las condiciones climáticas

Viéndolo de este modo el sistema fotovoltaico es una alternativa mas debido al auge de las energías alternativas cada día su coste es menor.

El sistema eólico la variable mas importante de una maquina eólica es la velocidad de viento ya que este contribuye a la potencia en su forma cubica. Siendo una fuente competitiva con otras fuentes de energía y de costes relativamente bajos para la aplicación rural dependiendo también del tamaño del equipo.

Se puede agregar una combinación del los sistemas eólico –fotovoltaico para la utilización en el denominado sistema hibrido eólico-solar

5.9. ASPECTOS DE CALCULO ECONOMICO

5.9.1. ASPECTO ECONÓMICO

Una vez terminada la construcción y realizado las pruebas correspondientes es necesario realizar una valoración económica para tener en cuenta la factibilidad de su construcción. La valoración económica esta detallada de forma que pueda ser entendida y con el valor real de lo que implica la construcción y adquisición de cada uno de los componentes del proyecto:

Costo de componentes del aerogenerador		
Código	Descripción	Precio
1	Generador	80
2	Caja multiplicadora	100
3	Rotor (aspas)	100
4	Veleta de dirección	25
5	Góndola	30
6	Torre	60
7	Tensores	16
8	Eje vertical	25
9	Eje horizontal	30
10	Transmisión	30
11	Accesorios	20
12	Emplazamiento	35
13	Transporte	50
14	Montaje	100
15	Ingeniería y mano de obra	800
	TOTAL	1501 USD

Estos precios corresponden al valor del material utilizados para la construcción del aerogenerador y la mano de obra empleada en la misma. A continuación se detallan los precios para lo construcción del sistema de adquisición de datos.

Costo de componentes		
Código	Descripción	Precio
1	Sensor temperatura	80
2	Sensor humedad	205
3	Sensor velocidad v	135
4	Sensor dirección	200
5	Tarjeta de adquisición de datos	250
6	Cables de transmisión	20
7	Tarjeta acondicionadora de señal	30
8	Accesorios	30
9	Diseño del programa	500
	TOTAL	1450 USD

5.10. GUIAS PRÁCTICAS PARA EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA # 1

1.- NOMBRE DE LA PRÁCTICA:

CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES (Temperatura, Humedad y Dirección de viento)

2.- OBJETIVO

Establecer los rangos de medición de cada sensor utilizado para determinar su ecuación de calibración.

3.- PROCEDIMIENTO

Descripción del equipo

El sistema de adquisición de datos ambientales esta compuesto por un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un sensor de dirección y un sensor de velocidad de viento, además compuesto por la tarjeta de adquisición de datos NI DAQ USB 6008 para la representación en la computadora.

Equipos a utilizarse

Sensores:

Humedad Humicap 180

Marca: Vernier

Modelo: HMP45D

Señal de salida: 0-5 V

Temperatura

Marca. **BERNOLLI**

Modelo: RTD (PT 100) CON RECUBRIMIENTO EN ACERO INOXIDABLE

Rango de salida: 0 -100°C

Velocidad de viento

Marca: NRG SYSTEMS

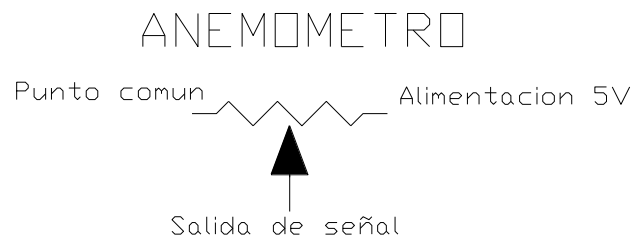
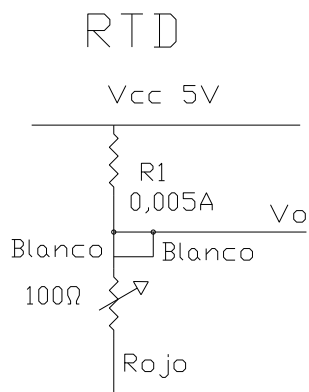
Modelo: NRG # 40

Rango de salida: 0 – 360°

Descripción del ejercicio

Para poder realizar esta práctica debemos primeramente buscar los equipos necesarios para la calibración de cada uno de los sensores y el tipo de señal de cada uno de ellos y los valores entregados en señal del sensor y el valor entregado de otro equipo para poder realizar comparaciones entre ellos.

Plano de situación



Datos importantes

Para el cálculo de la resistencia R1

$$V = R \cdot I$$

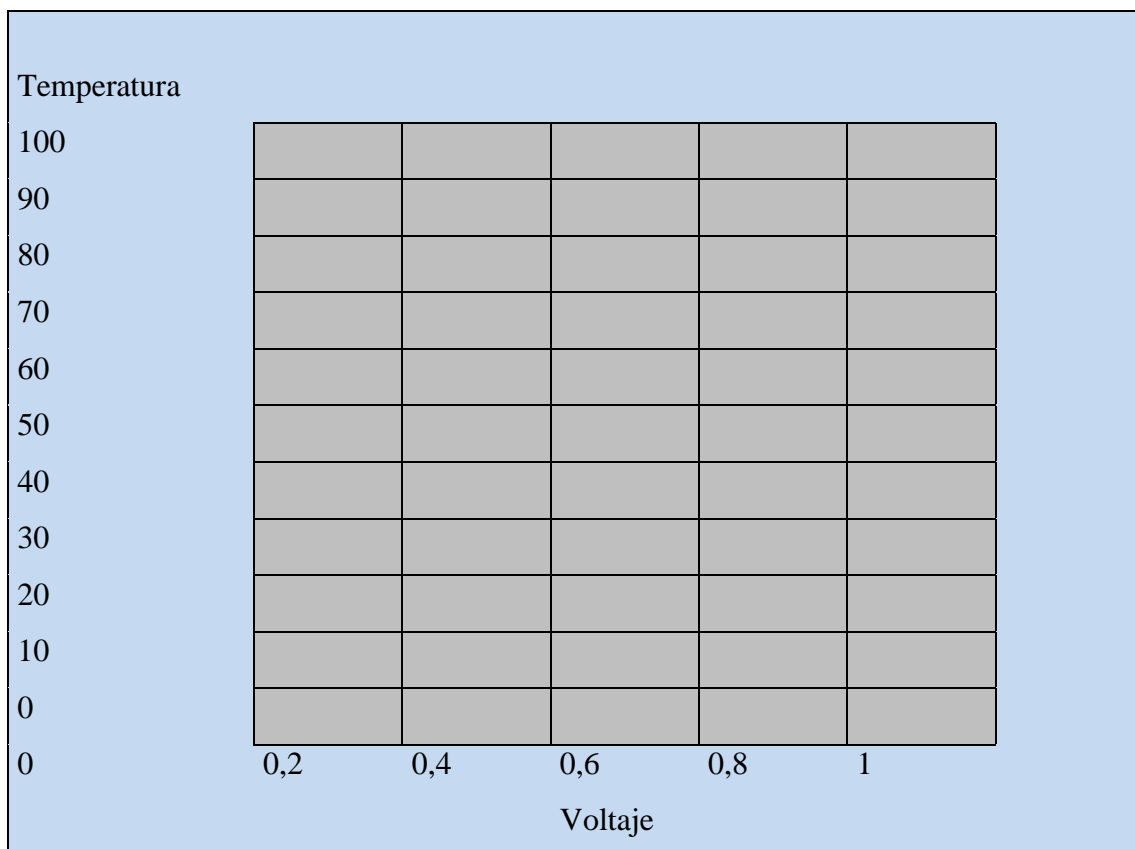
$$I = \frac{V}{R1 + RTD} = \frac{5}{R1 + 110} = 0,005A$$

$$R1 = 1K\Omega$$

SENSOR DE TEMPERATURA

El sensor de temperatura se realiza la calibración de la siguiente manera:

- Buscamos un multímetro digital que nos permita medir temperatura utilizamos además agua caliente y agua fría para encontrar el valor máximo y mínimo de medición del sensor y comparamos el valor que nos entrega el termómetro del multímetro y el valor de la RTD en un valor máximo y mínimo para determinar así su ecuación. Estos valores encontrados se los puede representar en una tabla de Excel y nos graficara quedando la ecuación o utilizando un calculo estadístico por diagramas de dispersión.

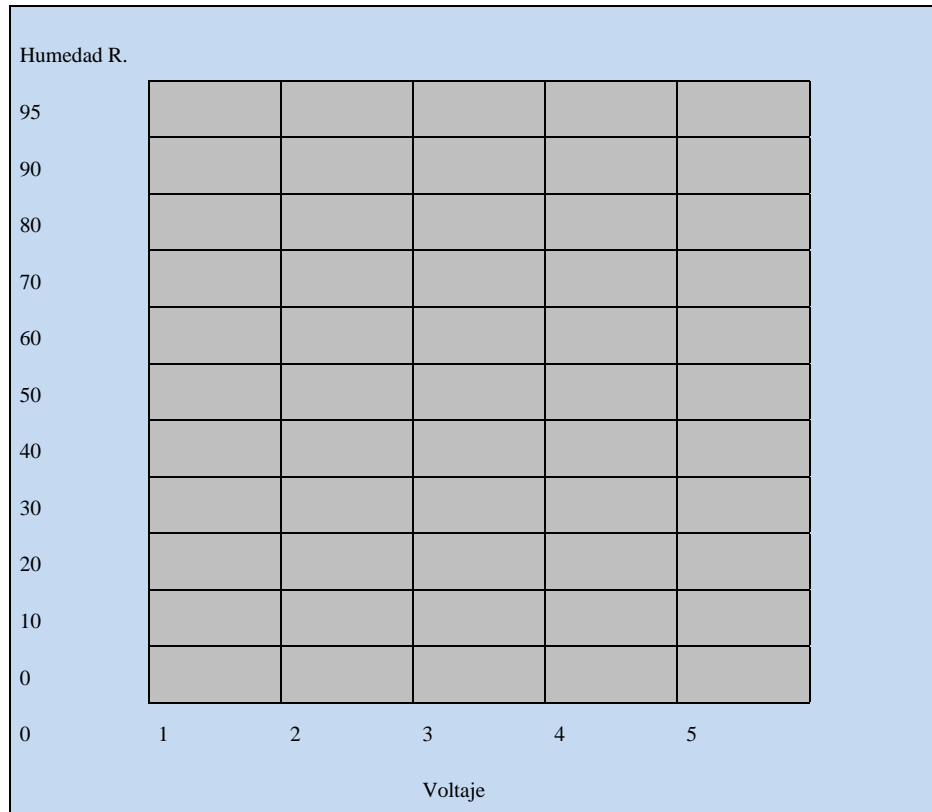


SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA

Este sensor se lo calibra con los datos técnicos del sensor en el manual.

- El rango de medición del sensor es desde 0 % al 95% y la alimentación de 5 V quedando de la siguiente manera:

- A un voltaje de 0 V el valor de la humedad sería el 0 % el valor mínimo, a un voltaje de 2.5 V la humedad sería del 47.5 % valor medio y a 5 V el valor de la humedad es del 95 %. Estos valores también se los ingresa a una tabla de Excel para que nos grafique y obtener la ecuación.



SENSOR DE DIRECCIÓN DE VIENTO

Este sensor se lo calibra similarmente al de temperatura la única diferencia es que aquí comparamos los 360 grados que tiene que medir el sensor también a una alimentación de 5 V quedando de la siguiente manera.

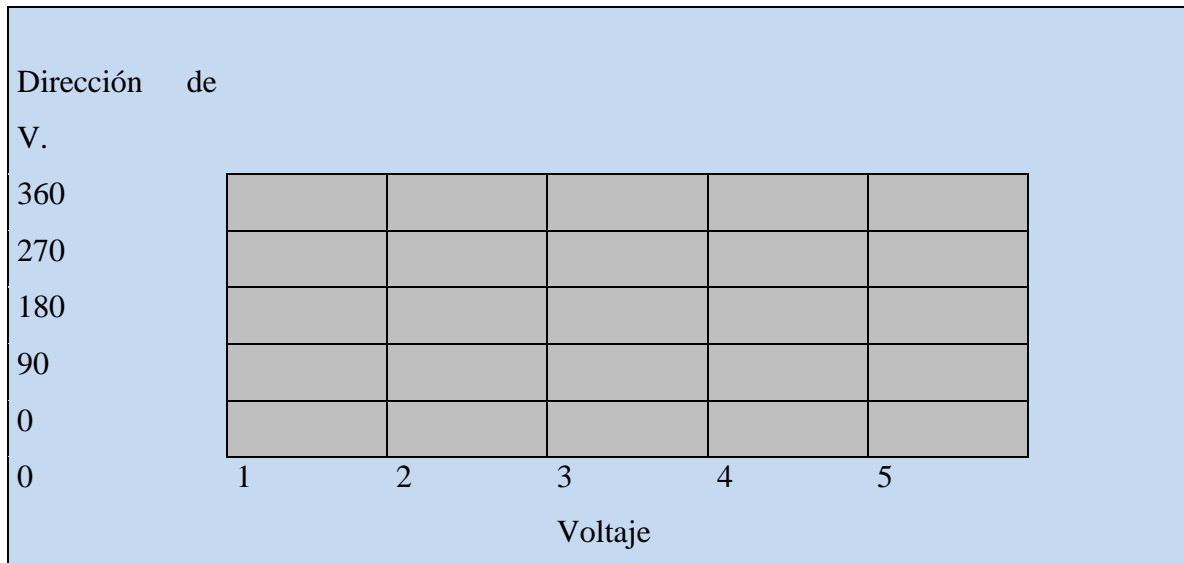
A 0V nos marca 0°

A 1,25V marca los 90°

A 2,5 V marca los 180°

A 3,75V marca los 270°

A 5 V marca los 360°



SENSOR DE VELOCIDAD DE VIENTO

La calibración de este sensor es más fácil ya que en el manual del sensor nos da la función de transferencia de acuerdo a dos rangos a medir m/s o millas por hora con las siguientes ecuaciones que se las ingresa directamente al programa en Labview.

$$\text{m/s} = (\text{Hz} * 0,765) + 0,35$$

$$\text{Millas por hora} = (\text{Hz} * 1,711) + 0,78$$

4.- SISTEMA CATEGORIAL

- Sistema de adquisición de datos
- Sensores o Transductores
- Tarjeta de adquisición de datos (NI-DAQ)
- Componentes de un Sistema de Adquisición de Datos
- Entrada Analógica
- Resolución
- Filtrado y Acondicionado
- Frecuencia de Muestreo

5.- PREGUNTAS DE CONTROL

5.1. ¿Cuales son los parámetros que se debe considerar para iniciar la calibración de cada uno de los sensores?

5.2. ¿Porque es importante tener en cuenta la alimentación de cada sensor?

6.- BIBLIOGRAFIA

- Electrónica Digital e Industrial. Componentes y Circuitos. Tomo II .1991.
- Labview Básico I y II .MANUALES.
- Measurement & Automatión. Catalogo 2006
- Guía e usuario y especificaciones NI DAQ 6008 USB
- www.nrgsystems.com
- www.vernier.com
- www.silica.com

ORIENTACION DE LA PRÁCTICA # 2

1.- NOMBRE DE LA PRÁCTICA

MEDICION DE SEÑALES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA
UTILIZANDO EL PROGRAMA EN LABVIEW

2.- OBJETIVO

Determinar y verificar los valores ambientales de temperatura y humedad relativa en algún lugar especificado.

3.- PROCEDIMIENTO

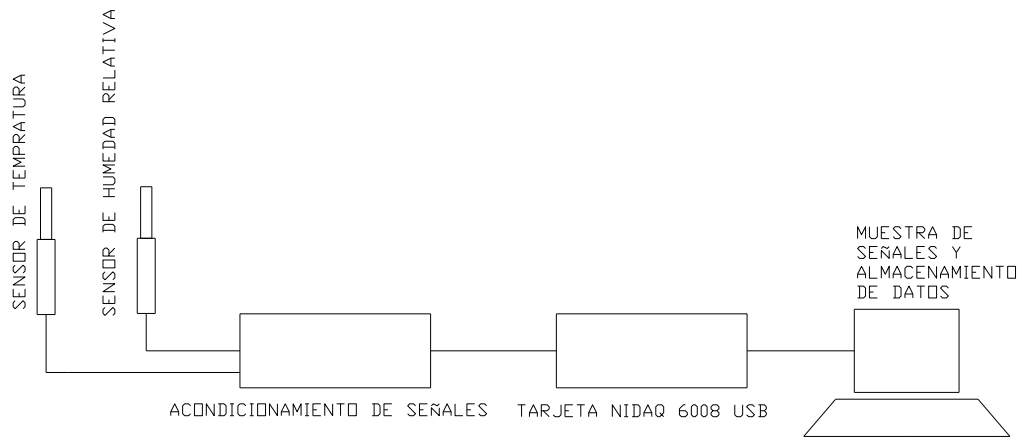
Descripción del equipo

- Tarjeta de Adquisición de Datos NI DAQ 6008 USB
- Sensor de temperatura y humedad relativa
- Acondicionares de los sensores y fuente de alimentación
- Computador de escritorio o portátil
- Cables de conexión
- Fuente de alimentación
- **Software utilizado**
- Labview Student Edition 8.2

Descripción del ejercicio:

- Primeramente antes de realizar la práctica se debe contar con el programa de medición correctamente cargado al computador, cuando el programa este debidamente cargado se continúa con la instalación de los equipos correspondientes.

Plano de situación:



- La tarjeta de adquisición de datos es uno de los equipos más importantes para la medición, ya que con ella se realiza la transmisión de los datos del sensor hacia el computador. Para facilitar la práctica se a provisto de cables de red con sus respectivos conectores.
- Los sensores se tiene que colocar correctamente siempre en forma horizontal
- Los sensores se alimentan de 5V para lo cual se acondiciono el voltaje con la ayuda de reguladores y capacitores.
- Una vez conectados los sensores a utilizarse en la medición ejecutamos el icono “Adquisición de Datos” que es el programa diseñado para la práctica.
- Una vez ejecutado y previamente habiendo parado el programa podemos ir al archivo creado denominado “Base de datos.xl” que se guardaran en el disco C:\.
- Apagar el programa para que no se ejecute para terminal la presente practica.

4.- SISTEMA CATEGORIAL

- Sistema de adquisición de datos
- Sensores o Transductores
- Tarjeta de adquisición de datos (NI-DAQ)
- Componentes de un Sistema de Adquisición de Datos
- Entrada Analógica
- Resolución
- Filtrado y Acondicionado

5.- PREGUNTAS DE CONTROL

5.1. ¿Qué efecto tiene la variación de voltaje en las señales de los sensores de temperatura y humedad?

5.2. ¿Qué característica importante tiene el sensor de temperatura si sufriera alguna deformación?

6.- BIBLIOGRAFIA

- Electrónica Digital e Industrial. Componentes y Circuitos. Tomo II .1991.
- Labview Básico I y II .MANUALES.
- Measurement & Automación. Catalogo 2006
- Guía e usuario y especificaciones NI DAQ 6008 USB
- www.nrgsystems.com
- www.vernier.com
- www.silica.com

ORIENTACION DE LA PRÁCTICA # 3

1.- NOMBRE DE LA PRÁCTICA

MEDICION DE SEÑALES DE VELOCIDAD Y DIRECCION DE VIENTO
UTILIZANDO EL PROGRAMA EN LABVIEW

2.- OBJETIVO

Determinar y verificar los valores ambientales velocidad y dirección de viento en algún lugar especificado.

3.- PROCEDIMIENTO

Descripción del equipo

- Tarjeta de Adquisición de Datos NI DAQ 6008 USB
- Sensor de de velocidad y dirección de viento
- Fuente de alimentación
- Computador de escritorio o portátil
- Cables de conexión
- Fuente de alimentación
- **Software utilizado**
Labview Student Edition 8.2

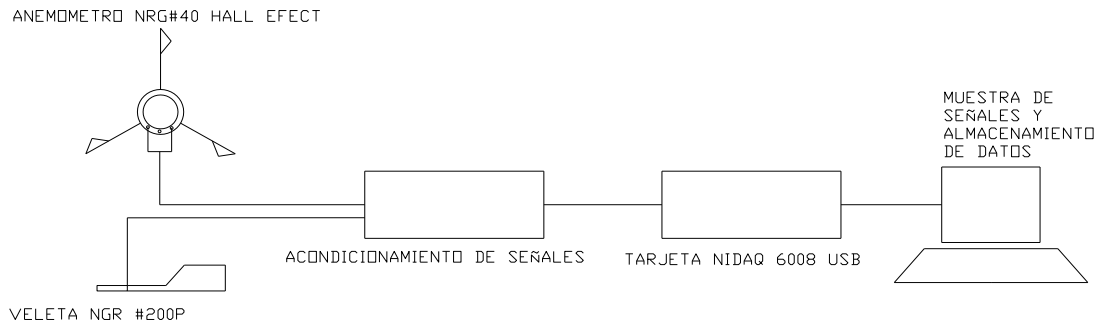
Descripción del ejercicio

Primeramente se coloca los sensores en la torre en sus respectivas bases, con los cables de conexión se hace las respectivas instalaciones.

La alimentación de los sensores es de 5V

- Para interpretar el valor de dirección del viento se toma el valor de 0° para la dirección N, 90° para la dirección E, 180° para la dirección S y 270° para la dirección W. El dato se leerá en grados.

Plano de situación



Adquisición de datos

- La tarjeta de adquisición de datos es uno de los equipos más importantes para la medición, ya que con ella se realiza la transmisión de los datos del sensor hacia el computador. Para facilitar la practica se a provisto de cables de red con sus respectivos conectores
- Los sensores se tiene que colocar correctamente siempre en forma horizontal
- Los sensores se alimentan de 5V para lo cual se acondiciono el voltaje con la ayuda de reguladores y capacitores.
- Una vez conectados los sensores a utilizarse en la medición ejecutamos el icono “Adquisición de Datos” que es el programa diseñado para la practica.
- Una vez ejecutado y previamente habiendo parado el programa podemos ir al archivo creado denominado “Base de datos.xl” que se guardaran en el disco C:\.
- Apagar el programa para que no se ejecute para terminal la presente practica.
- Al valor de la velocidad de viento lo conocemos directamente tan solo con hacer correr el programa nos indica el valor real de la velocidad de viento

4.- SISTEMA CATEGORIAL

- Sistema de adquisición de datos
- Sensores o Transductores
- Tarjeta de adquisición de datos (NI-DAQ)
- Componentes de un Sistema de Adquisición de Datos
- Entrada Analógica
- Resolución
- Filtrado y Acondicionado

5.- PREGUNTAS DE CONTROL

5.1. ¿Si existe variación de voltaje de qué forma se lo estabilizaría?

5.2. ¿Porqué es importante colocar la veleta debidamente orientada al norte `polar?

6.- BIBLIOGRAFIA

- Electrónica Digital e Industrial. Componentes y Circuitos. Tomo II .1991
- Labview Básico I y II .MANUALES.
- Measurement & Automación. Catalogo 2006
- Guía e usuario y especificaciones NI DAQ 6008 USB
- www.nrgsystems.com
- www.vernier.com
- www.silica.com

ORIENTACIÓN DE LA PRÁCTICA # 1

1.- NOMBRE DE LA PRÁCTICA:

CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES (Temperatura, Humedad y Dirección de viento)

2.- OBJETIVO

Establecer los rangos de medición de cada sensor utilizado para determinar su ecuación de calibración.

3.- PROCEDIMIENTO

Descripción del equipo

El sistema de adquisición de datos ambientales está compuesto por un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un sensor de dirección y un sensor de velocidad de viento, además compuesto por la tarjeta de adquisición de datos NI DAQ USB 6008 para la representación en la computadora.

Equipos a utilizarse

Sensores:

Humedad Humicap 180

Marca: Vernier

Modelo: HMP45D

Señal de salida: 0-5 V

Temperatura

Marca. **BERNOLLI**

Modelo: RTD (PT 100) CON RECUBRIMIENTO EN ACERO INOXIDABLE

Rango de salida: 0 -100°C

Velocidad de viento

Marca: NRG SYSTEMS

Modelo: NRG # 40

Rango de salida: 0 – 360°

Descripción del ejercicio

Para poder realizar esta práctica debemos primeramente buscar los equipos necesarios para la calibración de cada uno de los sensores, el tipo de señal de cada uno de ellos , los valores entregados en señal del sensor y el valor entregado de otro equipo para poder realizar comparaciones entre ellos.

Plano de situación



Datos importantes

Para el cálculo de la resistencia R1

$$V = R \cdot I$$

$$I = \frac{V}{R1 + RTD} = \frac{5}{R1 + 110} = 0,005A$$

$$R1 = 1K\Omega$$

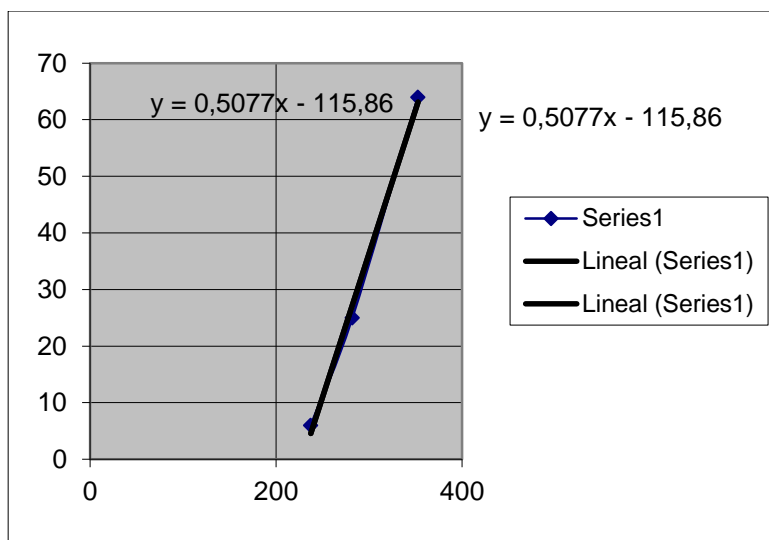
SENSOR DE TEMPERATURA

El sensor de temperatura se realiza la calibración de la siguiente manera:

- Buscamos un multímetro digital que nos permita medir temperatura utilizamos además agua caliente y agua fría para encontrar el valor máximo y mínimo de medición del sensor y comparamos el valor que nos entrega el termómetro del multímetro y el valor de la RTD en un valor máximo y mínimo para determinar así su ecuación. Estos valores encontrados se los puede representar en una tabla de Excel y nos graficara quedando la ecuación o utilizando un calculo estadístico por diagramas de dispersión.

Voltaje (m V)	Valor de temp.
237,25	6
282	25
352,51	64

Tabla de valores de calibración del sensor de temperatura



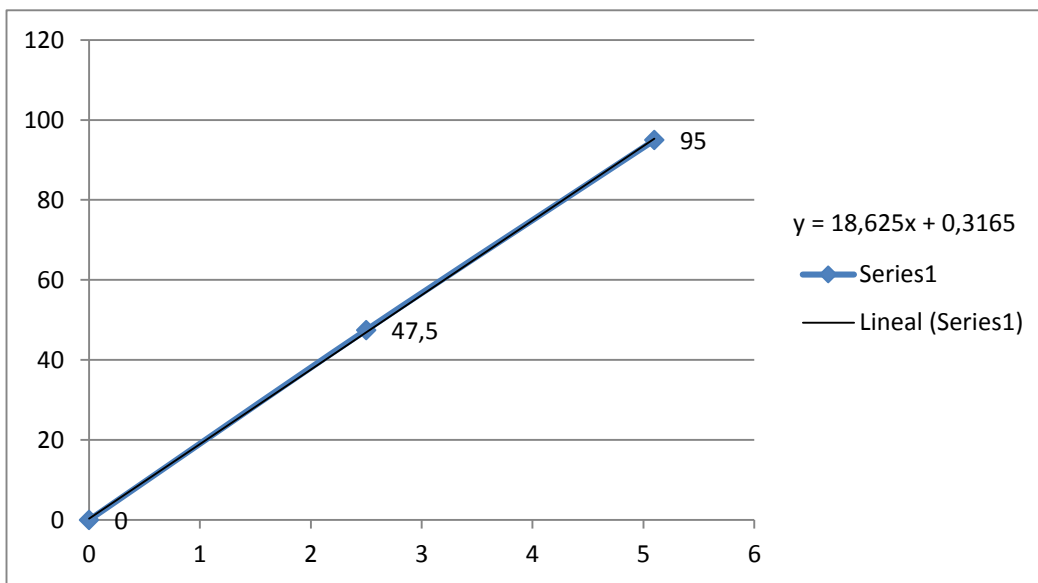
SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA

Este sensor se lo calibra con los datos técnicos del sensor en el manual.

- El rango de medición del sensor es desde 0 % al 95% y la alimentación de 5 V quedando de la siguiente manera:
- A un voltaje de 0 V el valor de la humedad sería el 0 % el valor mínimo, a un voltaje de 2.5 V la humedad sería del 47.5 % valor medio y a 5 V el valor de la humedad es del 95 %. Estos valores también se los ingresa a una tabla de Excel para que nos grafique y obtener la ecuación.

Voltaje	Valor de humedad
0	0
2,5	47,5
5,1	95

Tabla de valores de calibración del sensor de humedad relativa



SENSOR DE DIRECCIÓN DE VIENTO

Este sensor se lo calibra similarmente al de temperatura la única diferencia es que aquí comparamos los 360 grados que tiene que medir el sensor también a una alimentación de 5 V quedando de la siguiente manera.

A 0V nos marca 0°

A 1,25V marca los 90°

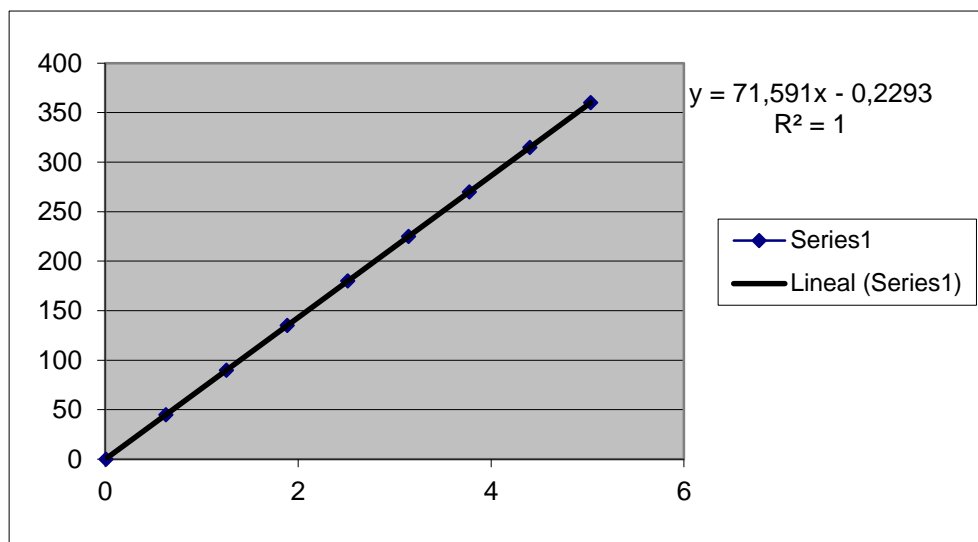
A 2,5 V marca los 180°

A 3,75V marca los 270°

A 5 V marca los 360°

VOLTAJE	DIRECCION
0,00849	0
0,629135	45
1,25827	90
1,887405	135
2,51654	180
3,145675	225
3,77481	270
4,403945	315
5,03308	360

Tabla de calibración del sensor de dirección de viento



SENSOR DE VELOCIDAD DE VIENTO

La calibración de este sensor es más fácil ya que en el manual del sensor nos da la función de transferencia de acuerdo a dos rangos a medir m/s o millas por hora con las siguientes ecuaciones que se las ingresa directamente al programa en Labview.

$$\text{m/s} = (\text{Hz} * 0,765) + 0,35$$

$$\text{Millas por hora} = (\text{Hz} * 1,711) + 0,78$$

4.- SISTEMA CATEGORIAL

- Sistema de adquisición de datos
- Sensores o Transductores
- Tarjeta de adquisición de datos (NI-DAQ)
- Componentes de un Sistema de Adquisición de Datos
- Entrada Analógica
- Resolución
- Filtrado y Acondicionado
- Frecuencia de Muestreo

5.- PREGUNTAS DE CONTROL

5.1. ¿Cuáles son los parámetros que se debe considerar para iniciar la calibración de cada uno de los sensores?

Se deben considerar el tipo de señal, el valor del voltaje de alimentación, rango de salida de señal.

5.2. ¿Porque es importante tener en cuenta la alimentación de cada sensor?

Es importante tener en cuenta la alimentación de cada sensor porque de ello depende el tipo y el valor de la señal a entregar a la vez conociendo el valor de alimentación se lo puede calibrar.

6.- BIBLIOGRAFIA

- Electrónica Digital e Industrial. Componentes y Circuitos. Tomo II .1991.
- Labview Básico I y II .MANUALES.
- Measurement & Automación. Catalogo 2006
- Guía e usuario y especificaciones NI DAQ 6008 USB
- www.nrgsystems.com
- www.vernier.com
- www.silica.com

ORIENTACION DE LA PRÁCTICA # 2

1.- NOMBRE DE LA PRÁCTICA

MEDICION DE SEÑALES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA
UTILIZANDO EL PROGRAMA EN LABVIEW

2.- OBJETIVO

Determinar y verificar los valores ambientales de temperatura y humedad relativa en algún lugar especificado.

3.- PROCEDIMIENTO

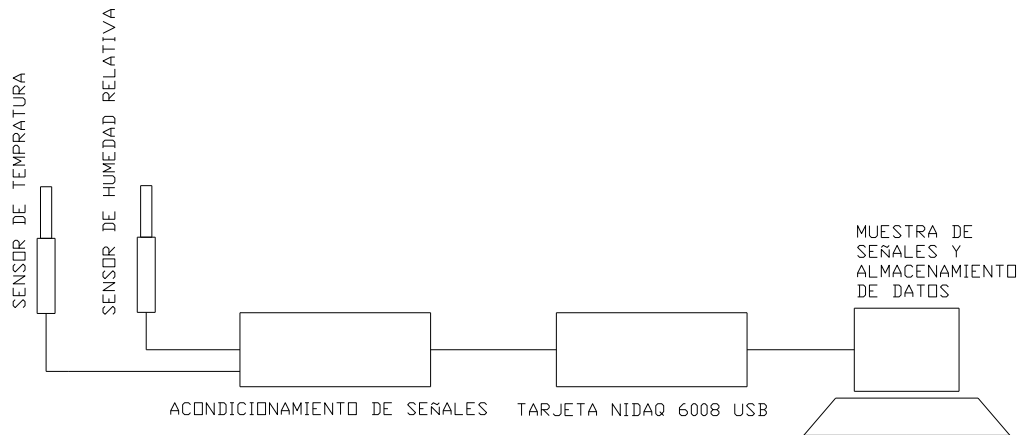
Descripción del equipo

- Tarjeta de Adquisición de Datos NI DAQ 6008 USB
- Sensor de temperatura y humedad relativa
- Acondicionares de los sensores y fuente de alimentación
- Computador de escritorio o portátil
- Cables de conexión
- Fuente de alimentación
- **Software utilizado**
- Labview Student Edition 8.2

Descripción del ejercicio:

- Primeramente antes de realizar la práctica se debe contar con el programa de medición correctamente cargado al computador, cuando el programa este debidamente cargado se continúa con la instalación de los equipos correspondientes.

Plano de situación:



- La tarjeta de adquisición de datos es uno de los equipos más importantes para la medición, ya que con ella se realiza la transmisión de los datos del sensor hacia el computador. Para facilitar la práctica se a provisto de cables de red con sus respectivos conectores.
- Los sensores se tiene que colocar correctamente siempre en forma horizontal
- Los sensores se alimentan de 5V para lo cual se acondiciono el voltaje con la ayuda de reguladores y capacitores.
- Una vez conectados los sensores a utilizarse en la medición ejecutamos el icono “Adquisición de Datos” que es el programa diseñado para la práctica.
- Una vez ejecutado y previamente habiendo parado el programa podemos ir al archivo creado denominado “Base de datos.xl” que se guardaran en el disco C:\.
- Apagar el programa para que no se ejecute para terminal la presente practica.

PRÁCTICA REALIZADA
DATOS OBTENIDOS

Fecha	Hora	Humedad relativa			Temperatura		
		Máx	Mín	Promedio	Máx	Mín	Promedio
22/12/2007	15:53:21	42,03	40,75	39,51	38,41	37,41	36,23
22/12/2007	15:56:21	42,22	40,54	39,13	38,72	37,47	36,23
22/12/2007	15:59:21	41,84	40,11	38,74	39,03	37,76	36,54
22/12/2007	16:02:21	41,64	40,04	38,74	39,03	38,05	37,16
22/12/2007	16:05:21	41,45	40	38,54	39,35	38,09	36,85
22/12/2007	16:08:21	41,26	39,64	38,54	39,66	38,45	37,48
22/12/2007	16:11:21	41,64	40,14	38,93	39,66	38,33	37,16
22/12/2007	16:14:21	41,06	39,81	38,35	39,97	38,71	37,48
22/12/2007	16:17:21	41,84	40,45	38,54	39,97	38,33	37,16
22/12/2007	16:20:22	42,61	40,66	39,32	39,66	38,58	37,16
22/12/2007	16:23:21	42,22	40,56	39,51	39,66	38,72	37,79
22/12/2007	16:26:21	41,84	40,66	39,32	39,97	38,87	38,1
22/12/2007	16:29:21	42,81	40,84	39,13	40,59	39,25	37,79
22/12/2007	16:32:21	43,58	41,84	40,29	40,59	39,3	38,1
22/12/2007	16:35:22	43,58	41,95	40,67	42,16	40,23	39,03
22/12/2007	16:38:22	43,97	42,2	41,06	42,78	41,08	39,66
22/12/2007	16:41:22	44,16	42,48	40,87	43,72	41,79	40,59
22/12/2007	16:44:22	43,97	42,48	41,06	43,41	41,71	40,59
22/12/2007	16:47:22	43,97	42,36	40,87	43,41	41,94	40,91

4.- SISTEMA CATEGORIAL

- Sistema de adquisición de datos
- Sensores o Transductores
- Tarjeta de adquisición de datos (NI-DAQ)
- Componentes de un Sistema de Adquisición de Datos
- Entrada Analógica
- Resolución
- Filtrado y Acondicionado

5.- PREGUNTAS DE CONTROL

5.1. ¿Qué efecto tiene la variación de voltaje en las señales de los sensores de temperatura y humedad?

El efecto que produce la variación de voltaje puede producir una lectura errónea ya que en la calibración se ingresa un valor de alimentación y al momento de hacer una medición de datos nos entrega otro valor por lo cual produce distorsión entre datos.

5.2. ¿Qué característica importante tiene el sensor de temperatura si sufriera alguna deformación?

La característica principal del sensor de temperatura al sufrir deformaciones que puede cambiar el valor de resistencia interna.

6.- BIBLIOGRAFIA

- Electrónica Digital e Industrial. Componentes y Circuitos. Tomo II .1991.
- Labview Básico I y II .MANUALES.
- Measurement & Automación. Catalogo 2006
- Guía e usuario y especificaciones NI DAQ 6008 USB
- www.nrgsystems.com
- www.vernier.com
- www.silica.com

ORIENTACION DE LA PRÁCTICA # 3

1.- NOMBRE DE LA PRÁCTICA

MEDICION DE SEÑALES DE VELOCIDAD Y DIRECCION DE VIENTO UTILIZANDO EL PROGRAMA EN LABVIEW

2.- OBJETIVO

Determinar y verificar los valores ambientales velocidad y dirección de viento en algún lugar especificado.

3.- PROCEDIMIENTO

Descripción del equipo

- Tarjeta de Adquisición de Datos NI DAQ 6008 USB
- Sensor de de velocidad y dirección de viento
- Fuente de alimentación
- Computador de escritorio o portátil
- Cables de conexión
- Fuente de alimentación
- **Software utilizado**
Labview Student Edition 8.2

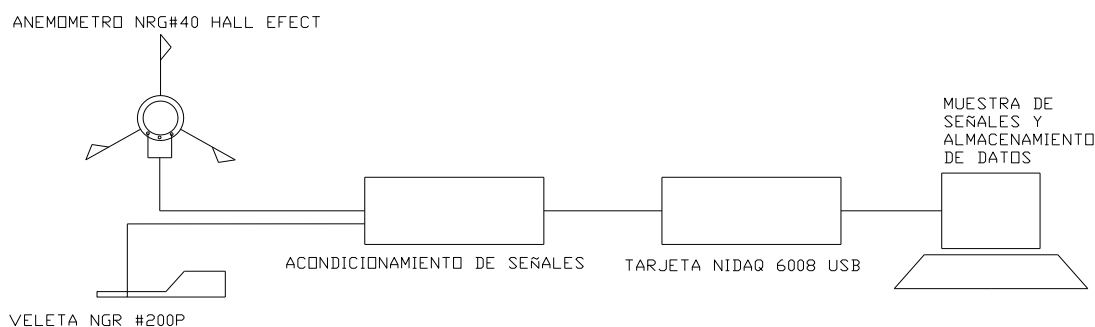
Descripción del ejercicio

Primeramente se coloca los sensores en la torre en sus respectivas bases, con los cables de conexión se hace las respectivas instalaciones.

La alimentación de los sensores es de 5V

- Para interpretar el valor de dirección del viento se toma el valor de 0° para la dirección N, 90° para la dirección E, 180° para la dirección S y 270° para la dirección W. El dato se leerá en grados.

Plano de situación



Adquisición de datos

- La tarjeta de adquisición de datos es uno de los equipos más importantes para la medición, ya que con ella se realiza la transmisión de los datos del sensor hacia el computador. Para facilitar la práctica se a provisto de cables de red con sus respectivos conectores
- Los sensores se tiene que colocar correctamente siempre en forma horizontal
- Los sensores se alimentan de 5V para lo cual se acondiciono el voltaje con la ayuda de reguladores y capacitores.
- Una vez conectados los sensores a utilizarse en la medición ejecutamos el icono “Adquisición de Datos” que es el programa diseñado para la práctica.
- Una vez ejecutado y previamente habiendo parado el programa podemos ir al archivo creado denominado “Base de datos.xl” que se guardaran en el disco C:\.
- Apagar el programa para que no se ejecute para terminal la presente practica.
- Al valor de la velocidad de viento lo conocemos directamente tan solo con hacer correr el programa nos indica el valor real de la velocidad de viento.

**PRÁCTICA REALIZADA
DATOS OBTENIDOS**

Fecha	Velocidad de viento			Direccion de viento		
	Máx	Mín	Promedio	Máx	Mín	Promedio
22/12/2007	4.94	2.68	3.81	106.49	53.03	79.76
22/12/2007	5.71	1.79	3.75	350.88	110.15	230.515
22/12/2007	5.71	2.42	4.065	350.88	75.72	213.3
22/12/2007	4.17	1.9	3.035	350.16	63.73	206.945
22/12/2007	4.94	1.99	3.465	350.88	69.01	209.945
22/12/2007	3.41	1.64	2.525	351.61	131.06	241.335
22/12/2007	3.41	2.06	2.735	350.88	98.54	224.71
22/12/2007	3.41	0.95	2.18	350.88	87.49	219.185
22/12/2007	4.17	2.72	3.445	350.88	61.51	206.195
22/12/2007	4.94	1.69	3.315	351.61	89.14	220.375
22/12/2007	3.41	1.61	2.51	351.61	92.42	222.015
22/12/2007	3.41	1.24	2.325	352.33	111.91	232.12
22/12/2007	4.17	2.07	3.12	352.33	75.15	213.74
22/12/2007	4.94	2.74	3.84	99.22	66.47	82.845
22/12/2007	4.17	2.01	3.09	103.58	70.77	87.175
22/12/2007	4.17	2.31	3.24	109.39	60,86	2.62
22/12/2007	4.94	3.19	4.065	85,42	59,21	10.61
22/12/2007	3.41	2.46	2.935	107,21	66,56	39.66
22/12/2007	4.94	2.48	3.71	118,83	76,76	46.2

4.- SISTEMA CATEGORIAL

- Sistema de adquisición de datos
- Sensores o Transductores
- Tarjeta de adquisición de datos (NI-DAQ)
- Componentes de un Sistema de Adquisición de Datos
- Entrada Analógica
- Resolución
- Filtrado y Acondicionado

5.- PREGUNTAS DE CONTROL

5.1. ¿Si existe variación de voltaje de qué forma se lo estabilizaría?

La forma mas practica de estabilizar la variación de voltaje es utilizando los conocidos reguladores de voltaje en el circuito de acondicionamiento de voltaje.

5.2. ¿Porqué es importante colocar la veleta debidamente orientada al norte `polar?

Es importante colocarla debidamente orientada al norte polar para poder conocer exactamente el valor que nos entrega ya que se encuentra calibrada para los 360° y al no ubicarla orientada al norte nos entregaría un valor falso acorde a la dirección.

6.- BIBLIOGRAFIA

- Electrónica Digital e Industrial. Componentes y Circuitos. Tomo II .1991
- Labview Básico I y II .MANUALES.
- Measurement & Automación. Catalogo 2006
- Guía e usuario y especificaciones NI DAQ 6008 USB
- www.nrgsystems.com
- www.vernier.com
- www.silica.com

5.11. CONCLUSIONES

- Se concluye que a pesar de todas las restricciones existentes y expuestas en el presente trabajo contra la generación eólica, existen muchos otros parámetros que avalúan y consolidan este tipo de generación eléctrica.
- Para la instalación de aerogeneradores se debe tener muy en cuenta los lugares de emplazamiento que nos presenta las garantías y a su vez no produzca impacto ambiental considerable.

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se ha llegado a sistematizar información necesaria y precisa para la construcción del aerogenerador de aplicación rural.
- Mediante el diseño y la construcción del aerogenerador experimental para aplicación rural hemos visto y se ha logrado la aplicación como medio alternativo de energía limpia que a pesar de ser una maquina de poco rendimiento constituye una fuente indispensable de energía que será utilizada a gran escala a futuro.
- Con la implementación del sistema de Adquisición de Datos podemos conocer las condiciones climáticas existentes en nuestro entorno ya que se confirmo comparando con otros equipos que dicho sistema funciona satisfactoriamente aportando a la superación académica en el Área y especialmente a la carrera.
- Al desarrollar las guías prácticas se constituye como un material bibliográfico científico muy importante al alcance de profesores y estudiantes para tener muy clara una visión más amplia de la generación eólica y los Sistemas de Adquisición de Datos.
- Con la socialización del presente trabajo se puedo hacerlo conocer como trabajo relevante para el adelanto del Sur del Ecuador.

RECOMENDACIONES

- Continuar con la implementación de más equipos constituyentes del generador para su utilización final.
- Implementar nuevos tipos de sensores al Sistema de Adquisición de Datos ya que la Tarjeta de Adquisición de Datos nos permite aumentar de manera sencilla mas entradas con lo cual podríamos llegar a conocer otras variables ambientales.
- Revisar detenidamente las conexiones de los sensores antes de realizar una medición para que no existan distorsión en los datos presentados en el sistema.
- Desarrollar otros tipos de aerogeneradores aplicables a las condiciones climáticas de la provincia y así ir comparando resultados entre varios diseños para establecer el de mejor rendimiento y mejorar el coeficiente aerodinámico C_p .
- Prescindir del presente material como material de estudio para todas las personas que así lo requieran en futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA.

- ◆ Electrónica Digital e Industrial. Componentes y Circuitos. Tomo II .1991.
- ◆ G. Mata Hernández, R. Garibay Jiménez: Tutorial para el Desarrollo de Sistemas de Instrumentación de Supervisión de Variables Ambientales. 2004.
- ◆ Mariano Ruiz González y Guillermo de Arcas Castro. Introducción a Labview Dpto. de Publicaciones de la E.U.I.T. Telecomunicación. U.P.M. 2004.
- ◆ National Instruments. Manual del Curso de Labview Básico I y II .Edición de Octubre del 2006.
- ◆ P.A. Stiopin. Resistencia de Materiales. Editorial Mir. Tercera reimpresión.1988.
- ◆ Robert Nonnast. El Proyectista de Estructuras Metálicas I y II. 22ª Edición.2004.
- ◆ S.A. Nasar. Maquinas Eléctricas. Operación en Estado Estacionario. Compañía Editorial Continental.1993.
- ◆ William D. Cooper y Albert D. Helfrick (1991). Instrumentación Electrónica Moderna. Editorial Prentice Hall.
- ◆ J. Maldonado” Metodología de Calculo de un Aerogenerador Moderno de eje Horizontal “(Tesis, Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables, Universidad Nacional de Loja, 2003).
- ◆ Jaramillo S. Darío “Diseño y simulación de los componentes de un aerogenerador modelo para la provincia de Loja”. (Tesis, Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables, Universidad Nacional de Loja, 2004).

PAGINAS WEB

- ◆ www.aeeolica.org
- ◆ www.auswea.com.au
- ◆ www.awea.org
- ◆ www.canwea.ca/en/SmallScaleWind.html
- ◆ www.ewea.org
- ◆ www.ieawind.org
- ◆ www.mantenimientomundial.com
- ◆ www.monografias.com/generadoreselectricos.htm
- ◆ [www.ni.com /protocolosdecomunicación/National Instruments.htm.](http://www.ni.com/protocolosdecomunicación/National%20Instruments.htm)
- ◆ www.nrgsystems.com
- ◆ www.windpower.org/es/tour/wres/wndspeed.htm
- ◆ www.windpower.org/es/tour/wres/shelves.htm
- ◆ www.uhu.es/antonio.barragan

ANEXOS

Anexo N.- 1

Anexo N.- 3

**Oferta N°: Darwin-AM-0407-PRT-0501****Fecha: 12 dic. 14**

Att Sr Darwin Cuenca

Presente.-

Artículo I. COTIZACIÓN PARA SUMINISTRO LOCAL

Todos los precios están en USD. NO INCLUYEN EL IVA

Cant.	Descripción	Precio Unidad	Precio Total
1	Sensor de temperatura RTD PT100, con recubrimiento de acero inoxidable	S/. 70,00	S/. 70,00

CONDICIONES DE VENTA

- a. **Plazo de entrega:** Inmediato (sujeta a stock) salvo venta previa, luego de recibida su confirmación
- b. **Forma de pago:** Depósito Cuenta Corriente 311414190-4 Banco Pichincha a nombre de METREXLAB Cia Ltda.,
- c. **Precios:** 70 + IVA= 78,40
- d. **Validez de la oferta:** 15 días

Costo por envío a Loja: USD 5,00**Nota: Adjunto al sensor se envía un circuito base divisor de voltaje para conectar al RTD.****Atentamente.**

Ing. Andrés Méndez.

Asistencia Técnica

METREXLAB CIA. Ltda.

Anexo N.- 4

NRG Systems, Inc.
 110 Riggs Road
 P.O. Box 509
 Hinesburg, Vermont 05461 USA
 Telephone: 802-482-2255
 Fax: 802-482-2272
 Website: www.nrgsystems.com

Order Number: ORD029504
 Date: 4/10/2007
 Customer ID: 5618
 Purchase Order No.: WEB 4211
 Salesperson: Evan Osler
 Shipping Method: UPS GROUND
 Payment Terms: American Express
 Ship Date: 4/11/2007
 Master No.: 39995
 Page: 1

Bill To:

Logiplus
 5527 NW 72nd Ave
 Miami FL 33166
 USA

 Fax:

Ship To:

Logiplus
 5527 NW 72nd Ave
 Miami FL 33166
 USA

 Contact: Hans Rodriguez
 Phone: 305-889-0420

Quantity	Item Number	Description	Unit Price	Extended Price
1	1904	NRG #200P Wind Direction Vane, 10K	\$195.0000	\$195.00
1	1901	NRG #40H Anemometer, Hall Effect	\$133.0000	\$133.00
1	2000	Freight, Handling, Insurance-Domestic FOB Hinesburg, VT UPS Ground Door-to-Door courtesy of NRG Systems	\$0.0000	\$0.00

Authorized signature _____
 Please sign above and fax back to confirm order

Country of Origin: USA.	Subtotal	\$328.00
	Misc	\$0.00
	Tax	\$0.00
	Total	\$328.00
Certified true and correct.	Payment Received	\$0.00
	Total US Dollars Due	\$328.00

Anexo N.- 5



ANEMÓMETRO MAXIMUM 40

■ El anemómetro Maximum 40 ha probado ser robusto, fiable y de alta precisión. Las más de 125.000 unidades suministradas en todo el mundo para campos eólicos y para miles de aplicaciones domésticas e instalaciones institucionales lo han convertido en todo un estándar. ■ Sus cazoletas han registrado velocidades de hasta 96m/s (348km/h). Sus bajos momentos de inercia y sus exclusivos rodamientos permiten una muy rápida respuesta a ráfagas y calmas. Las cazoletas negras de Lexán (virtualmente irrompibles) tienen unas propiedades térmicas que les permiten resistir heladas y desprenderse del hielo con mayor eficacia que los montajes metálicos. ■ Debido a su linealidad de salida, estos sensores son ideales para utilizar con multitud de sistemas de captación de datos y controladores. Su exclusivo sistema de rodamientos asegura que ni el polvo arrastrado por el viento ni la humedad puedan dañar los rodamientos o degradar los resultados. ■ Su inmejorable combinación de precisión, construcción sencilla y robusta y su bajo coste hacen del Maximum 40 la primera elección para los profesionales de todos los campos. Opcionalmente está disponible en versión de salida digital (Maximum 40H) y con calibración (Maximum 40C).

El Maximum 40 de NRG Systems: el anemómetro estándar de la industria eólica.



APLICACIONES

- Valoración de recursos eólicos.
- Medidas para estudios ambientales.
- Control de turbinas eólicas.
- Medición de la velocidad del viento en eventos deportivos (p.ej.: Olimpiadas).
- Estudios de Ingeniería de los efectos del viento sobre puentes, rascacielos, etc.

CARACTERÍSTICAS

- Construcción muy sencilla y elegante.
- Sistema de rodamiento de teflón modificado, resistente a suciedad y desgaste.
- Construido con materiales resistentes a la corrosión.
- 3 cazoletas moldeadas en una sola pieza para una construcción idéntica.
- Salida en frecuencia que facilita el filtrado y la difusión en cables de larga longitud.
- Calidad profesional al menor precio.
- Rodamientos de por vida. Mantiene su precisión por muchos años bajo las más rigurosas condiciones ambientales.
- Transductores disponibles para señales de salida digitales y analógicas.

ESPECIFICACIONES

Rango del sensor: 1 m/s a 96 m/s, o superior.
 Señal de salida: Onda sinusoidal de baja amplitud, de frecuencia linealmente proporcional a la velocidad de giro.
 Función de transferencia: $m/s = (Hz \times 0,765) + 0,35$.
 Precisión: 0,1 m/s en el rango de 5 m/s a 25 m/s.
 Rango de la señal de salida: 0 Hz a 125 Hz, o superior.
 Umbral de arranque: 0,75 m/s.
 Constante de distancia: 3 m para 63% del valor final.
 Rango de humedad de trabajo: 0 a 100%
 Rango de temperatura de trabajo: -55° a 60°C.

MECÁNICAS:

3 cazoletas de sección transversal cónica moldeadas en una sola pieza de policarbonato negro (Lexán). Eje de berilio-cobre endurecido.
 Diámetro de las cazoletas: 51 mm.
 Radio del rotor: 190 mm de diámetro.
 Altura total: 81 mm.
 Montaje: En un mástil de 13 mm, utilizando un pasador y un conjunto de tornillos.
 Rodamiento: De teflón modificado, autolubricado. El rodamiento superior está centrado en el plano de empuje de las cazoletas para una carga óptima.
 Peso: 0,14 kg.
 Protector de terminales en PVC negro incluido.

PEDIDO

Anemómetro Maximum 40 (PIN 1888): Modelo estándar para aplicaciones típicas.

Anemómetro Maximum 40C (PIN 1800): Modelo estándar con calibración NIST.

Anemómetro Maximum 40H (PIN 1801) Hall Effect: Un interruptor de Efecto Hall reemplaza al bobinado. En este caso el voltaje de salida es una onda cuadrada cuya frecuencia guarda relación con la velocidad del viento, como en el caso del sistema bobinado. Necesita de 5 a 24VDC de tensión de alimentación con 5 mA de corriente.

Anexo N.- 6



.....

VELETA 200P

Wind Direction Sensor

■ La veleta 200 es un sensor de calidad profesional, diseñada originalmente para su uso en algunas de las plantas de generación eólica más grandes del mundo. Sus cualidades únicas lo hacen ideal para utilizar en muchas otras aplicaciones de pruebas ambientales y meteorológicas.

■ Aunque su precio resulta muy asequible, este sensor ofrece unos niveles de calidad y fiabilidad que a menudo se encuentran sólo en equipos de muy alto coste. Sus componentes termoplásticos y de acero inoxidable resisten la corrosión y contribuyen a una excelente relación fuerza-peso.

■ Como todos los productos de NRG Systems, la veleta 200P está diseñada con sumo cuidado, empleando un número mínimo de piezas al tiempo que se maximizan los resultados prácticos. ■ La veleta está directamente conectada a un potenciómetro situado en el cuerpo principal. La señal de salida generada es una tensión analógica proporcional a la dirección del viento, obtenida al aplicar al potenciómetro una alimentación de excitación de tensión continua. Disponible en versión para control de movimiento para turbinas eólicas.

Contrastado en campo, la veleta 200P es de hecho el estándar de la industria eólica.



APLICACIONES

- Detector de dirección del viento para registradores de datos.
- Control de movimiento en turbinas eólicas.
- Control de condiciones ambientales.
- Estudios meteorológicos.

CARACTERISTICAS

- Construcción mecánica sencilla.
- Larga duración, potenciómetro de calidad profesional.
- La ausencia de colector o escobillas proporciona una alta fiabilidad con bajo coste.
- Materiales resistentes a la corrosión.
- Cierres en las zonas de contacto y partes mecánicas.
- No hay tornillos que puedan soltarse por efecto de vibraciones.
- Respuesta muy estable y suave a los cambios del viento.
- Sensor de la veleta totalmente equilibrado.

ESPECIFICACIONES

Señal de salida: 0 V a tensión de excitación (excluyendo la banda muerta).

Función de transferencia: Tensión analógica DC a través de un potenciómetro de 10k Ω , lineal al voltaje de excitación aplicado.

Precisión: Mejor del 1%.

Banda muerta: Habitualmente 4°. Siempre por debajo de 8°.

Umbral de respuesta: 1 m/s.

Voltaje de excitación: 1 a 15 V.

Rango de temperatura de trabajo: -55 a +60°C.

Rango de humedad de trabajo: 0 a 100% HR.

MECANICAS

Rango: 360° dirección mecánica, rotación continua.

Carcasa e indicador moldeados en plástico inyectado negro tipo UV estabilizado. Eje en acero inoxidable.

Dimensiones: 21cm L x 12cm H.

Diámetro de barrido: 27 cm.

Peso: 0,14 kg.

Protector de terminales en PVC negro incluido.

PEDIDO

Veleta 200P (PIN 1804): Veleta potenciométrica 10k para aplicaciones generales.



Anexo N.- 7

Datos de Adquisición

Fecha	Velocidad del viento			Humedad Retativa			Temperatura			Dirección del viento		
	max	min	promedio	max	min	promedio	max	min	promedio	max	min	promedio
28/05/2008	0.99	0.39	0.64	76.08	14.25	24.32	22.09	20.44	335.09	306.59	323.21	314.9
29/05/2008	3.91	1.94	2.92	78.17	76.18	74.59	32.42	29.51	27.84	163.02	138	150.5
30/05/2008	5.96	3.27	4.61	53.89	50.39	48.6	24.99	23.52	22.07	240.8	161.13	161.13
31/05/2008	3	1.23	2.11	68.67	65.64	63.2	61.31	49.19	42.18	185.54	155.7	139.43
01/05/2008	5.96	3.27	4.61	57.71	54.82	52.72	17.08	15.78	14.53	148.42	85.31	116.85
02/06/2008	4.81	0.98	2.89	72.02	69.62	65.7	13.16	11.82	10.5	160.81	114.72	137.2
03/06/2008	5.93	2.84	5.46	49.46	47.14	45.39	18.84	17.2	15.65	204.91	126.35	165.32
04/06/2008	9.69	3.49	6.52	42.41	40.7	39.24	21.14	19.43	17.91	227.06	129.2	178.56
05/06/2008	5.96	3.32	4.64	42.12	39.93	37.89	18.17	16.52	15.02	232.42	106.32	169.65
06/06/2008	3.04	1.21	2.13	62.74	60.59	28.6	20.6	25.66	20.81	154.01	105.31	129.35
07/06/2008	4.33	1.86	3.1	64.63	62.59	60.68	14.14	12.67	11.32	185.72	116.38	151.85
08/06/2008	7.24	3.26	5.25	41.31	39.49	37.99	22.36	20.69	19.09	227.33	134.65	180.75
09/06/2008	9.69	3.49	6.52	42.41	40.7	39.24	21.14	19.43	17.91	227.06	129.2	178.68
10/06/2008	4.36	2.09	2.96	59.77	57.8	56.14	15.47	14.01	12.58	197.57	124.31	160.35
11/06/2008	5.93	3.24	4.44	54.16	51.73	49.55	40.91	36.3	34.12	217.17	103.08	160.32
12/06/2008	6.01	2.41	4.21	47.38	45.81	44.29	28.72	27.41	28.06	294.79	105.05	199.92
13/06/2008	7.59	4.09	5.84	47.3	43.84	40.26	30.09	28.85	29.47	287.25	62.81	166.59
14/06/2008	7.01	3.97	5.49	44.77	43.58	42.4	30.97	29.6	28.79	259.62	57.19	139.59
15/06/2008	8.61	4.4	5.77	43.39	41.78	40.63	31.08	29.49	30.28	262.54	59.17	160.86
16/06/2008	5.03	2.35	3.34	47.7	46.24	45.04	31.45	29.71	30.58	299.26	78.71	185.44
17/06/2008	2.15	0.79	1.47	49.93	48.22	45.58	26.25	24.68	25.47	252.96	182.87	217.92
18/06/2008	3.81	1.45	2.63	38.73	37.26	35.86	28.31	26.92	27.62	282.95	160.83	183.5
19/06/2008	7.33	3.43	5.22	36.55	35.16	34.04	24.44	22.79	23.62	239.37	89.85	164.61
20/06/2008	8.83	4.48	6.32	38.88	37.42	36.15	80.44	70.49	65.51	267.3	76.49	171.9

Anexo N.-8
Planos del Aerogenerador construido