

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE ESTACIÓN  
METEOROLÓGICA QUE MONITOREÉ TEMPERATURA DEL MEDIO,  
PRESIÓN ATMOSFÉRICA, DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA  
CIUDAD DE POPAYAN.**

**WALTER MUÑOZ DIAZ  
NESTOR ALEXANDER GARCIA**



Universidad  
del Cauca

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION  
PROGRAMA DE INGENIERIA FISICA  
POPAYAN CAUCA  
2009**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE ESTACIÓN  
METEOROLÓGICA QUE MONITOREÉ TEMPERATURA DEL MEDIO,  
PRESIÓN ATMOSFÉRICA, DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA  
CIUDAD DE POPAYAN.**

**WALTER MUÑOZ DIAZ  
NESTOR ALEXANDER GARCIA VARGAS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingenieros Físicos**

**Director  
ING. DIEGO ALBERTO BRAVO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y DE LA EDUCACION  
PROGRAMA DE INGENIERIA FISICA  
POPAYAN CAUCA  
2009**

Nota de Aceptación

---

---

---

Director: \_\_\_\_\_

Ing. Diego Bravo

Jurado: \_\_\_\_\_

Ing. Mario Milver Patiño

Jurado: \_\_\_\_\_

Mg. Jorge Washington Coronel

Fecha de sustentación: Popayán, octubre 30 de 2009

A dios por darme la fuerza para no decaer y persistir siempre con esperanza.

A mis padres Roxana Díaz y Bolívar Muñoz quienes me brindaron su apoyo, confianza y paciencia durante toda mi carrera, a mis hermanos Javier Adrian y Pilar Muñoz quienes siempre tuvo una voz de aliento cuando las cosas se tornaban más difíciles. A mis amigos y todas esas personas que estuvieron pendientes de mí con una voz de apoyo.

A Dios por haberme dado  
la posibilidad de ocupar  
este tiempo y este espacio;  
a mis padres Nachito y  
Fabiola que se dieron a la  
difícil tarea de construirme;  
a Hernando y a todos mis  
hermanos que se cruzaron  
por mi pedregoso camino;  
a mis amigos de siempre,  
Alexander y Gustavo por  
su apoyo incondicional; a  
Felipe, que el  
Todopoderoso lo tenga en  
su reino, sin su confianza  
esto no se hubiera dado; a  
mis hijitas Jessica y Paolita  
siempre serán mi  
motivación; a Socorro más  
que una amiga ha sido un  
ángel y a mi negrita  
Aceneth su amor encendió  
de nuevo el motor de mi  
vida, fue la luz al final del  
túnel.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestros más profundos agradecimientos a:

A DIOS por hacer esto una realidad y acompañarnos en todo momento.

Al Ingeniero Físico Diego Alberto Bravo, Director del trabajo de grado, por sus valiosos aportes.

A la Universidad del Cauca quien nos dio la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente al interior del programa de Ingeniería Física.

Al Grupo GEA por su disposición para poder realizar una comparación de resultados con la estación meteorológica perteneciente a la Universidad del Cauca.

Al ing. Agrónomo. Carlos Gallardo quien esta a cargo de la estación meteorológica de la Universidad del cauca y permitió la ubicación del sistema prototipo

A los Ingenieros: Ing. Físico Andrés Zúñiga perteneciente al grupo GEA, al ing. Físico Diego Legarda, al Ing. Ambiental Marino Javier Rivera de la Universidad de Caldas perteneciente al grupo Ambiental de Manizales. A todos ellos agradecimientos por todos sus aportes y conocimientos prestados.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
1.1. METEOROLOGÍA.....	4
1.2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	5
1.3. FENÓMENOS METEOROLÓGICOS.....	7
1.3.1. Temperatura ambiental.....	7
1.3.1.1 La conducción.....	8
1.3.1.1.1 Ecuación diferencial de la conducción de calor.....	8
1.3.1.2 La convección.....	11
1.3.1.2.1 Ecuaciones básicas de la convección.....	12
1.3.1.2.2 Convección natural.....	15
1.3.1.2.3 Convección forzada.....	16
1.3.1.3 La radiación.....	16
1.3.1.4. Escala y unidades de temperatura.....	17
1.3.2 PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	18
1.3.2.1 Presión sobre un elemento de fluido.....	19
1.3.2.2 Equilibrio de un elemento de fluido.....	20
1.3.3. VIENTO.....	25
1.3.3.1 Movimiento atmosférico.....	25
1.3.3.1.1 Dinámica atmosférica.....	25
1.3.3.1.2 Movimiento horizontal.....	27

1.3.3.2. La velocidad del viento.....	27
1.3.3.2.1 El gradiente horizontal de presión.....	28
1.3.3.2.2 Fuerza de coriolis.....	28
1.3.3.2.2.1 Marco de referencia no inercial.....	28
1.3.3.2.3 Influencia de la fuerza de coriolis.....	29
1.3.3.2.4 El viento geostrófico.....	33
1.3.3.4 La dirección del viento.....	34
1.3.3.4.1 Los movimientos verticales del aire: ascencencias y descendencias.....	34
1.3.3.4.1.1 La brisa marina y la terrestre.....	35
1.3.3.4.1.2 El viento de montaña y el de valle.....	36
1.3.3.4.2 La circulación general atmosférica.....	36
1.3.3.4.3 Medida de la dirección del viento.....	39
1.4 SENSORES METEOROLÓGICOS.....	39
1.4.1 Sensor de velocidad del viento.....	40
1.4.1.1 Anemómetro de copela (tipo Robinson).....	40
1.4.1.2 Anemómetros de hélice.....	40
1.4.1.3 Modelo matemático del sensor de velocidad del viento.....	41
1.4.2 <i>Sensor de dirección del viento</i> .....	44
1.4.3. <i>Sensor de temperatura</i> .....	45
1.4.3.1 Las termocuplas.....	46
1.4.3.2 Termiodios y termotransistores.....	46
1.4.3.3 Termistor.....	46
1.4.3.3.1 NTC.....	46
1.4.3.3.2 PTC.....	48
1.4.3.4 Modelo matemático del sensor de temperatura.....	48
1.4.4 <i>Sensor de presión atmosférica</i> .....	51

1.4.4.1 Sensores de presión con semiconductores.....	51
--	----

## **2. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA**

<b>METEOROLOGICO.....</b>	<b>52</b>
---------------------------	-----------

### 2.1 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA

METEOROLOGICO BASICO.....	52
---------------------------	----

2.2 REQUERIMIENTOS.....	53
-------------------------	----

2.2.1 Condiciones ambientales.....	53
------------------------------------	----

2.2.2 Rangos de trabajo de los sensores.....	54
--	----

2.2.3 Tiempo de respuesta de los sensores.....	54
--	----

2.2.4 Compacto.....	55
---------------------	----

2.2.5 Presupuesto.....	55
------------------------	----

2.3 CONCEPCIÓN DEL SISTEMA A CONSTRUIR.....	55
---	----

2.4 DISEÑO DEL SISTEMA.....	56
-----------------------------	----

2.4.1 Sensores para la medición meteorológica según su requerimiento...	56
---	----

2.4.1.1 Sensor de temperatura.....	56
------------------------------------	----

2.4.1.1.1 Sensor DAVIS DS7817.....	57
------------------------------------	----

2.4.1.1.2 Acondicionamiento de la señal del DS7817.....	58
---	----

2.4.1.2 Sensor de presión atmosférica.....	59
--	----

2.4.1.2.1 Sensor Motorola MPX4115.....	59
--	----

2.4.1.2.2 Acondicionador de la señal interna.....	61
---	----

2.4.1.3 Sensor de velocidad y dirección del viento.....	62
---	----

2.4.1.3.1 Sensor anemómetro DAVIS DS7911.....	63
---	----

2.4.1.3.2 Acondicionamiento de la señal.....	64
--	----

2.4.1.3.2.1 Acondicionamiento del la señal del sensor de velocidad del viento	65
---	----

2.4.1.3.2.2 Acondicionamiento del la señal del sensor de dirección del viento	66
---	----

2.4.2 Diseño del hardware para adquisición, y transmisión de datos climáticos.	67
--	----

2.4.2.1 Microcontrolador PIC18F452.....	68
2.4.2.1.1 Criterio de selección del microcontrolador pic18f452.....	68
2.4.2.2 Visualización de datos.....	69
2.4.2.2.1 Modulo LCD.....	69
2.4.2.2.1 Teclado matricial.....	70
2.4.3 Desarrollo del software de visualización y almacenamiento de los datos adquiridos.....	70
2.4.4 Diseño prototipo de la estación meteorológica.....	70
2.4.5 Mecanismo general del sistema prototipo meteorológico.....	71

### **3 CALIBRACION DE LOS SENSORES Y ADECUACION**

<b>DEL SISTEMA METEOROLOGICO.....</b>	<b>73</b>
3.1. CALIBRACIÓN Y ADECUACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA	74
3.2 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES DE DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO.....	76
3.2.1 Calibración del anemómetro (velocidad del viento).....	76
3.2.2 Calibración del sensor de dirección del viento (veleta).....	78
3.3 CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN MPX4115.....	80
3.4 CONSTRUCCION E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.....	83
3.4.1 Descripción del software desarrollado.....	87

### **4. FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS DEL SISTEMA**

4.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PROTOTIPO DE ESTACION METEOROLOGICA.....	88
4.1.1 Descripción del menú de operaciones.....	88
4.1.2 Instalación del sistema meteorológico.....	90

4.1.2.1 Requerimientos del IDEAM.....	90
4.2 RESULTADOS.....	92
<b>5 ANALISIS.....</b>	<b>101</b>
5.1 ANALISIS PREVIO A LA INSTALACIÓN DE UNA ESTACION METEREOLÓGICA.....	101
5.2 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA METEREOLÓGICO PROTOTIPO.....	104
5.2.1 Análisis de temperatura.....	104
5.2.2 Análisis de presión atmosférica.....	105
5.2.3 Análisis de velocidad del viento.....	106
5.2.4 Análisis de dirección del viento.....	107
5.3 ANÁLISIS DE IMPREVISTOS EN LA CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	108
5.4. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA AMBIENTAL.....	109
5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y ADMINISTRATIVO.....	109
5.6. ANÁLISIS DE LEGALIDAD DEL PROYECTO.....	110
<b>6 CONCLUSIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>7 PROYECCION.....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>114</b>

## INDICE DE IMÁGENES

Figura No. 1. Esquema general de una estación meteorológica típica.....	6
Figura No. 2. Elemento de volumen infinitesimal $\Delta x\Delta y\Delta z$ . Símbolos para la deducción de la ecuación de conducción de calor.....	10
Figura No. 3 Fuerza neta sobre un elemento debido a la variación de presión	19
Figura 4. Lecturas de la presión absoluta, de control y de vacío.....	22
Figura. 5 Diagrama de fuerzas que actúan sobre un volumen de aire de masa $m$ .....	26
Figura No. 6 Marco referencial no inercial.....	29
Figura No. 7 El efecto de coriolis.....	31
Figura No. 8 La fuerza de Coriolis en el hemisferio norte desvía la trayectoria hacia la derecha.....	32
Figura No. 9 Viento Geostrófico.....	33
Figura 10. Circulación general de la atmósfera.....	37
Fig. No 11 La rosa de los vientos dividida.....	39
Figura. No. 12 Anemómetro de Robinsón.....	41
Fig. No. 13 Anemómetro de Copela, descripción Coordenadas de velocidad respecto a la velocidad angular.....	43
Fig. No. 14 Sensor DAVIS DS7911-00.....	45
Figura. No. 15. Curva de respuesta de la ecuación del sensor.....	50
Figura No. 16 Diagrama de bloques de una estación meteorológica.....	53
Figura No. 17 Sensor de temperatura DS7817.....	57
Figura No. 18 variación de la resistencia con la temperatura de un DS7817	58
Figura No. 19 Acondicionamiento de la señal DS7817.....	59
Fig. No. 20 Sensor de la familia Motorota MPX4115.....	61
Figura No. 21 Acondicionamiento de la señal MPX4115.....	62

Figura No. 22 Filtro para conexión del sensor MPX4115.....	62
Figura No. 23 Terminal del sensor DS7911.....	65
Figura No. 24 Circuito interfaz para sensor DAVIS DS7911 de velocidad del viento.....	65
Figura No. 25 Acondicionamiento de la señal DS7911 para velocidad del viento.....	66
Figura No. 26 Acondicionamiento de la señal DS7911 para dirección del viento.....	66
Figura No. 27 Configuración de dirección del viento.....	67
Figura No. 28 Microcontrolador.....	68
Figura No. 29 Diseño de la estación meteorológica.....	71
Figura No. 30 Diagrama de bloques del mecanismo general del sistema...	72
Figura No. 31 Grafica de Temperatura vs. Resistencia.....	75
Figura No. 32 Linealización del sensor de temperatura aplicando $\ln(x)$ ....	76
Figura. No. 33 Esquema experimental para la calibración del sensor de Velocidad del viento.....	77
Figura. No. 34 Velocidad del viento Vs. Frecuencia.....	78
Fig. No. 35 a) y b) Calibración Sensor De Dirección Del viento.....	79
Figura. No. 36 Calibración del sensor de dirección del viento.....	80
Figura No. 37 Linealidad del sensor y rangos sobre los cuales puede trabajar junto con su función de transferencia.....	82
Figura. No. 38 Esquema eléctrico interno de comunicación RS232.....	85
Figura No. 39 Esquemático Interno Circuito General.....	86
Figura No. 39 variables registradas.....	88
Figura. No. 40 Menú de Operación del sistema.....	89
Figura. No. 41 Almacenamiento de datos.....	89

Figura. No. 42 Puertos de los sensores en el Data Logger.....	91
Figura. No. 43 Esquema de resultados Del Angulo Respecto a la dirección de velocidad.....	93
Figura. No. 44 Esquema de resultados Del Temperatura Vs Tiempo.....	94
Figura. No. 45 Esquema de resultados de Velocidad del viento Vs Tiempo	95
Figura. No. 46 Esquema de resultados De Presión Atmosférica Vs Tiempo.	96
Figura. No.47 Torre Donde se realizo el montaje de la estación Meteorológica.....	102
Figura. No 48 Garita de madera para data loger y sensores de temperatura y presión.....	102
Figura. No 49 Ubicación de los sensores en la estación.....	103

## INDICE DE TABLAS

Tabla No 1 Pines de conexión del sensor de Presión atmosférica.....	61
Tabla No. 2 Valores de temperatura Media, Máxima y Mínima (°C).....	97
Tabla No. 3 Valores de presión atmosférica (KP) media, máxima y mínima	98
Tabla No. 4 Valores de velocidad del viento (Km/h) media, máxima y mínima	99
Tabla No. 5 Valores de dirección del viento ( ° ) media, máxima y mínima...	100
Tabla No. 6 Relación material costo de la totalidad del proyecto.....	110

## INDICE DE ANEXOS

Anexo No. 1 Características del Sensor de Temperatura DAVIS 7817.....	116
Anexo No. 2a) Funcionalidad y puertos de conexión sensor de presión MPX4115.....	117
Anexo No. 2b) Características del sensor de presión MOTOROLA MPX4115	118
Anexo No. 3 Características del sensor de velocidad y dirección del viento.	119
Anexo No. 4 Escala BEAUFORT para características de velocidad del viento	120
Anexo No. 5 Descripción de conexión de una LCD 2x16.....	121
Anexo No. 6 Resultados experimentales obtenidos.....	122

## **RESUMEN**

La polución desmedida, la tala excesiva y sistemática de los bosques, la contaminación de los ríos y otras fuentes de trastornos ambientales han traído como consecuencia directa el calentamiento global, el deshielo de los casquetes polares y por consiguiente desordenes climatológicos, que causan grandes catástrofes naturales. El estudio y el monitoreo permanente de los factores climáticos, contribuye en forma importante a la prevención de desastres y permite además esbozar un modelo de conducta que ayuda a predecir las características actuales del clima de nuestro planeta, para lo cual es necesario el monitoreo de las diferentes variables físicas involucradas.

Este trabajo describe el proceso de diseño y construcción de un sistema prototipo de monitoreo de dirección del viento, presión atmosférica, temperatura ambiente y velocidad del viento, las cuales son variables afectadas por el cambio climático. Se exponen algunos fundamentos teóricos acerca de estas variables y además muestra las diferentes pruebas realizadas en la ciudad de Popayán junto con su respectivo análisis

## INTRODUCCIÓN

La importancia del clima como dato geográfico es tan elevada y alcanza tantos aspectos de la vida humana que resulta imprescindible tratarlo con el debido énfasis. Los temas estudiados por la Climatología, están íntimamente entremezclados con los hechos que se producen en la vida cotidiana, pues la influencia del clima en el modo de vivir y en las costumbres es tan antigua como el hombre, la agricultura continúa dependiendo casi enteramente del clima. En una región como la nuestra que goza, gracias a su relieve, de una gran variedad de climas, en la cual se pueden hallar todos los pisos térmicos y donde la agricultura ocupa el primer renglón de su economía, el monitoreo y la vigilancia de las variables climáticas adquiere un impacto importante ya que permite elaborar un modelo de su comportamiento con el cual la toma de decisiones trascendentales frente a la siembra y aspectos relacionados con ella se hacen mejor soportadas y con mas garantías de éxito, para lo cual se necesita monitorear las diferentes variables climáticas

Los factores climáticos influyen mucho en la forma de vivir, en la producción y en todos los procedimientos que dependen directa o indirectamente de ella; un estudio minucioso y detallado de los diversos fenómenos que abarcan esta área es de gran utilidad para la sociedad y para la comunidad científica en general, ya que se podrán predecir con un margen de error aceptable las variaciones en el clima que puedan presentarse y de esta forma tomar las medidas preventivas adecuadas.

Dentro de los parámetros meteorológicos característicos se destacan, a nivel local: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, presión barométrica, pluviometría, nivel de radiación solar, entre otros. Aunque no se

estudian todos los diferentes fenómenos mencionados anteriormente, sólo se realizó un sistema meteorológico para la medición y monitoreo de dirección y velocidad del viento, temperatura ambiental y presión atmosférica, debido a que son de las variables más importantes y que requieren de mayor cuidado a la hora de medirse.

Las estaciones meteorológicas permiten monitorear, analizar y recoger las lecturas provenientes de variables climáticas como la presión atmosférica, la temperatura del medio, la dirección y velocidad del viento entre muchas otras de forma simultánea. Estas medidas ayudan a la profundización de las investigaciones acerca del comportamiento del clima y su impacto en la economía, la salud y otros aspectos sociales de la región.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, se desarrolló un prototipo de estación meteorológica que permite al usuario interactuar con el sistema mediante un menú que brinda diferentes opciones de monitoreo de variables físicas tratadas, los datos son guardados en la memoria del sistema para luego ser descargados y analizados desde un computador permitiendo elaborar un informe de cada medición mediante la base de datos creada.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. METEOROLOGÍA

La gran influencia que el clima ejerce sobre numerosas actividades del hombre hace necesario obtener medidas de sus parámetros más característicos. Estas medidas no permiten controlar dichos parámetros, pero permiten decidir las acciones a realizar para minimizar su impacto económico y en cierta medida predecir la evolución futura del sistema.

El conjunto de las condiciones atmosféricas que caracteriza el estado medio de la atmósfera y su evolución en una zona determinada es lo que se le llama *clima*, a diferencia de lo que conocemos por *tiempo* o estado de la atmósfera en un lugar y un momento dado. Por decirlo de otra manera, al decir clima se refiere a lo que sucede en la atmósfera a lo largo de los años, mientras que el tiempo es lo que sucede en ella hoy, mañana o pasado mañana, el clima solamente se puede conocer después de una larga serie de observaciones en varios periodos anuales, mientras que el tiempo se refiere a la observación de los elementos climáticos en un periodo determinado.

El estudio de la atmósfera terrestre se conoce como **meteorología**. Esta incluye el estudio de las variaciones diarias de las condiciones atmosféricas, el estudio de sus propiedades eléctricas y ópticas y el estudio del clima (climatología). El estudio de la meteorología lo llevan a cabo los **meteorólogos**, encargados de reunir y analizar toda la información de la atmósfera con el fin de predecir el tiempo.

Las observaciones aisladas sirven para muy poco en la investigación del clima, ya que el comportamiento de la atmósfera es un fenómeno a escala mundial. Toda la información debe ser reunida en los Institutos de meteorología, los cuales son servicios nacionales dedicados a la recopilación y análisis de estos datos y de allí a los **Centros Mundiales de Acopio**, sitios donde se registra la información climática mundial y se hacen modelos de comportamiento de la atmósfera para la predicción de los fenómenos atmosféricos [1].

## 1.2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables climáticas. Estos datos se utilizan para la elaboración de predicciones del clima a partir de modelos; posee sensores especializados, encargados de medir fenómenos físicos, así como también un sistema de adquisición de datos, como lo muestra la figura No 1. Los instrumentos comunes y variables que se miden en una estación meteorológica incluyen:

- Termómetro, medida de temperaturas en horarios determinados del día;
- Barómetro, medida de presión atmosférica en superficie;
- Pluviómetro, medida de la cantidad de precipitación;
- Psicrómetro, medida de la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío;
- Piranómetro, medida de la insolación solar;
- Heliógrafo, medida de las horas de sol;
- Anemómetro, medida de la velocidad del viento y veleta para registrar su dirección.
- Celiómetro, medida de la altura de las nubes, pero sólo en el punto donde éste se encuentre colocado.

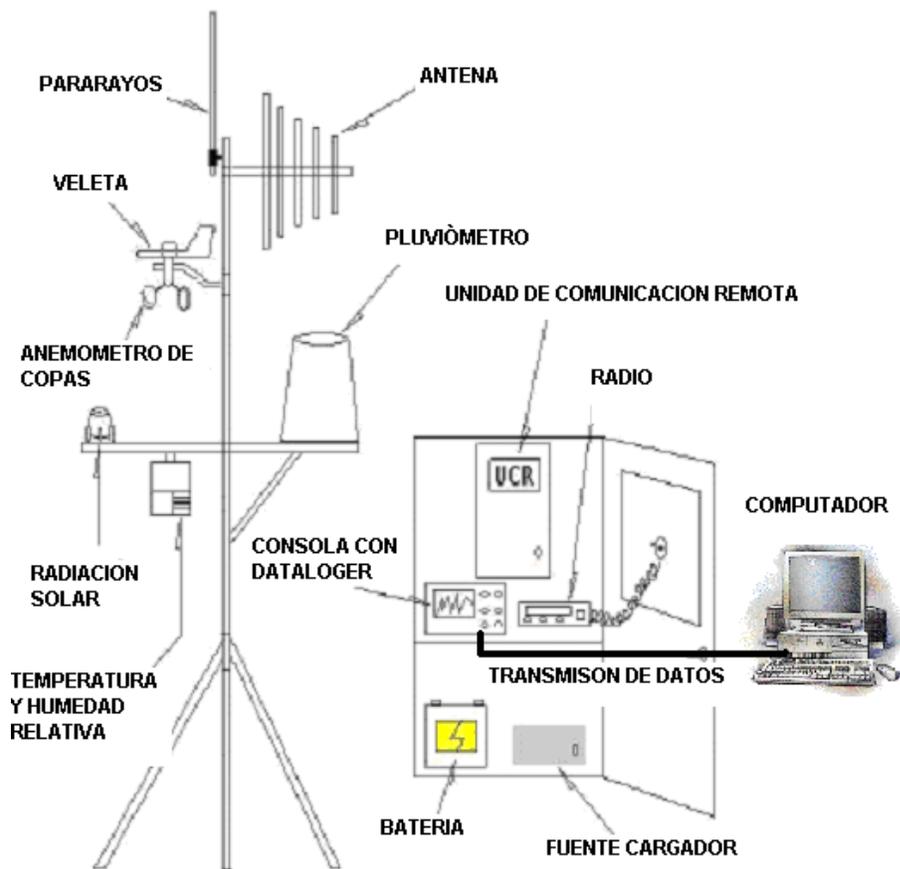


Figura No. 1. Esquema general de una estación meteorológica típica

La mayor parte de las estaciones meteorológicas están automatizadas (E.M.A.) requiriendo un mantenimiento ocasional. Además, existen observatorios meteorológicos sinópticos, que sí cuentan con personal (observadores de meteorología), de forma que además de los datos, se pueden recoger aquellos relativos a nubes (cantidad, altura, tipo), visibilidad y tiempo presente y pasado. La recogida de estos datos se denomina observación sinóptica. El gran problema, es la distribución irregular de estaciones meteorológicas y la falta de ellas en grandes regiones, esto dificulta la introducción de los datos en modelos meteorológicos y complica las predicciones climáticas [2].

### **1.3. FENÓMENOS METEOROLÓGICOS**

Los fenómenos principales que constituyen el clima son las temperaturas, vientos, presión atmosférica y precipitaciones. Así, la temperatura del aire depende de la radiación solar; los vientos y la presión atmosférica están relacionados con la altitud; y elementos como la humedad, nubosidad, precipitaciones y evaporación, están íntimamente ligados y se producen de forma encadenada. Para entender cualquier fenómeno meteorológico, es necesario considerar los elementos que intervienen en la conformación del clima y cómo estos están en permanente actividad e interacción.

#### **1.3.1. Temperatura ambiental**

El conocimiento de las temperaturas del aire es fundamental para cualquier estudio climatológico, sin ellas no se puede establecer una distribución de temperaturas, y por ende definir los fenómenos del clima.

Para reflejar las variaciones geográficas de temperatura se recurre a los mapas de isotermas. En éstas se vuelcan los valores de temperaturas medias y se unen todos los puntos con igual valor. La amplitud térmica, consistente en la diferencia entre temperaturas medias más altas y más bajas de un mes o un año. Un conocimiento bastante exacto de la amplitud térmica permite establecer de forma precisa los regímenes térmicos.

El régimen térmico de las regiones próximas al ecuador se caracteriza por una oscilación térmica anual mínima, es decir, su amplitud térmica es muy pequeña (no supera lo 3° C); ésta aumenta en las zonas tropicales (de entre 3 a 10° C.); por su parte, en las zonas templadas ya se aprecian bastante las estaciones, debido a una amplitud térmica considerada.

La **temperatura es una medida de la energía cinética promedio de los átomos y moléculas individuales de una sustancia**. Cuando se agrega calor a una sustancia, sus átomos se mueven más rápido y su temperatura se eleva, o viceversa. La temperatura se mide en grados Celsius, C, o en el SI en Kelvin, K.

A medida que un sistema recibe calor, su temperatura se incrementa, e igualmente, a medida que pierde calor, su temperatura disminuye. Cuando no existe diferencia de temperatura entre dos sistemas, no habrá transferencia de calor entre ellos. Y cuando exista una diferencia de temperaturas, el calor tenderá a moverse del sistema con *mayor* temperatura al sistema con *menor* temperatura, hasta que se alcance el equilibrio térmico. **Esta transferencia de calor** puede darse a través de la *conducción*, *convección* o de la *radiación* o a través de combinaciones de ellas.

### **1.3.1.1 La conducción**

Es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. El aire es un mal conductor del calor. Los objetos malos conductores como el aire o plásticos se llaman aislantes.

#### **1.3.1.1.1 Ecuación diferencial de la conducción de calor**

La conducción es la forma de transferencia de calor en la cual el intercambio de energía ocurre de la región de mayor a la de menor temperatura por el movimiento

cinético o el impacto directo de las moléculas. La ley básica de la conducción de calor basada en observaciones experimentales se conoce como la Ley de Fourier, la cual establece que la tasa de transferencia de calor en una dirección dada, es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección [1]. Para el flujo de calor en la dirección  $x$  la ecuación sería:

$$Q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad [\text{W}]$$

$$\text{O} \quad q_x = \frac{Q_x}{A} = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad [\text{W/m}^2] \quad (1)$$

Donde  $Q_x$  es la tasa de flujo de calor a través del área  $A$  en la dirección  $x$  positiva, y  $q_x$  es el *flujo de calor* en la dirección  $x$  positiva. La constante de proporcionalidad  $k$  se llama *conductividad térmica* del material cuyas unidades están dadas en  $\text{W/m}^\circ\text{C}$ .

Para poder determinar las componentes del flujo de calor  $q_x$ ,  $q_y$  y  $q_z$  se debe considerar un medio isotrópico, de esta manera se obtiene que  $q_x$ ,  $q_y$  y  $q_z$  están relacionadas con los gradientes de temperatura  $x$ ,  $y$  y  $z$  respectivamente.

Considerando un elemento infinitesimal de volumen  $\Delta x \Delta y \Delta z$  se puede deducir la tasa neta que entra por conducción sumando las entradas netas de calor en las tres direcciones, teniendo en cuenta que la tasa de flujo de calor que entra al elemento de volumen a través de la superficie en dirección  $x$  es [1]:

$$Q_x \equiv q_x \Delta y \Delta z \quad (2)$$

Y la tasa de flujo de calor que sale del elemento de volumen en dirección  $x$  a través de la superficie en  $x + \partial x$  es:

$$Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \Delta x \quad (3)$$

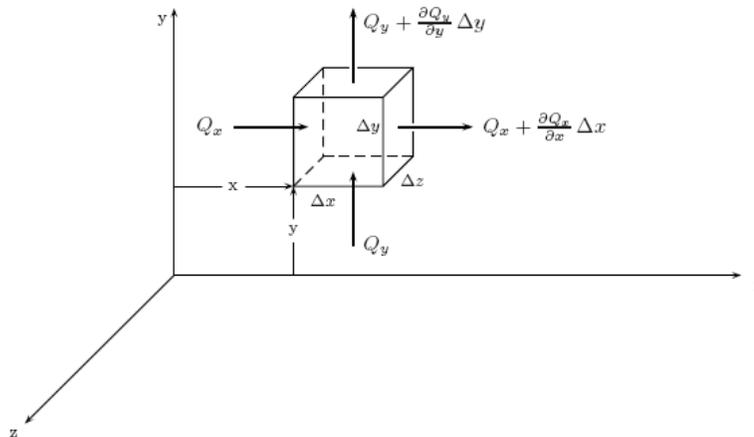


Figura No. 2. Elemento de volumen infinitesimal  $\Delta x \Delta y \Delta z$ . Símbolos para la deducción de la ecuación de conducción de calor<sup>1</sup>.

Sumando cada una de las componentes y simplificando  $\Delta x \Delta y \Delta z$ , se tiene:

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right) + g = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4)$$

Remplazando la ecuación 1 para cada una de las coordenadas se obtiene:

$$\nabla^2 T + \frac{g}{k} = \frac{\rho c_p}{k} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5)$$

El primer y segundo termino del lado izquierdo de la ecuación (5) representan respectivamente las ganancias de calor del sólido por conducción y generación y el lado derecho representa la tasa de variación de temperatura con el tiempo en el sólido [1]. Tenemos los siguientes casos especiales de conductividad térmica uniforme en la ecuación (5):

---

<sup>1</sup> Diseño e implementación de un sistema de refrigeración de recirculación de agua para equipos de laboratorio por Miguel Adolfo López Ortega Universidad del Cauca

- **Sin fuentes de calor.** En este caso  $g = 0$ .

$$\nabla^2 T = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (6)$$

donde

$$\alpha \equiv \frac{k}{\rho c_p}$$

Se conoce como *difusividad térmica*.

- **Estado estable.** Esto es cuando la temperatura no varía con el tiempo.

$$\nabla^2 T + \frac{g}{k} = 0 \quad (7)$$

Denominada *Ecuación de Poisson*.

- **Estado estable, sin fuentes de calor.** Cuando la temperatura no varía con el tiempo y no hay fuentes de calor.

$$\nabla^2 T = 0 \quad (8)$$

Que es la *Ecuación De Laplace*.

El significado físico de la difusividad térmica  $\alpha$  esta relacionado con la velocidad de propagación de calor en el sólido durante la variación de la temperatura con el tiempo [1], [2].

### 1.3.1.2 La convección

Es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser, *natural*, producida solo por las diferencias de densidades de la materia debidas a gradientes de temperatura; o *forzada*, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro.

Cuando un fluido en movimiento pasa sobre un cuerpo sólido o fluye dentro de un canal y si las temperaturas del fluido y del sólido o del canal son diferentes, habrá transferencia de calor entre el fluido y la superficie sólida debido al movimiento relativo entre el fluido y la superficie, a este mecanismo de transferencia de calor se le conoce como convección. El calor se cede o se toma sólo en las paredes, perpendicularmente a la dirección de la corriente del fluido [2].

Como el campo de temperatura de un fluido es influenciado por el movimiento de éste, la determinación de la distribución de temperatura y de la transferencia de calor por convección es un asunto complicado en la mayoría de los casos prácticos. En aplicaciones ingenieriles para simplificar los cálculos de transferencia de calor entre una superficie a una temperatura  $T_w$  y un fluido que se desplaza sobre ella a una temperatura media  $T_f$  se define el coeficiente de transferencia de calor  $h$ , de esta manera se puede definir el flujo de calor en la pared como [1],[2]:

$$q = \left( \frac{dQ}{dA} \right) = h(T_f - T_w) \quad (9)$$

Las unidades del coeficiente de transferencia de calor por convección son  $[W/m^2\text{°C}]$ .

#### **1.3.1.2.1 Ecuaciones básicas de la convección**

Como el análisis de transferencia de calor por convección es complicado debido a que el fluido está en movimiento, la ecuación diferencial de convección de calor debe ser escrita en términos de la masa, el momentum y la energía, ya que estas cantidades se conservan en el proceso de transferencia de calor.

La distribución de temperatura en un campo de flujo está regida por la ecuación de energía donde se puede deducir planteando un balance de energía de acuerdo con la primera ley de la termodinámica sobre un elemento diferencial de volumen.

Hay que tener en cuenta que la velocidad del fluido inmediatamente junto a la placa es nula y la corriente del fluido tiene la misma temperatura que la pared [1]. En la proximidad de la pared no existe turbulencia, si no que la corriente es laminar en una capa límite delgada y el calor se transmite por conducción. Si no hay radiación ni fuentes distribuidas de calor, si consideramos un flujo estable en dos dimensiones cuyos componentes de velocidad son  $u \equiv u(x, y)$  y  $v \equiv v(x, y)$  en las direcciones  $x$  y  $y$  respectivamente, el balance de energía en un elemento diferencial de volumen  $\Delta x \Delta y \Delta z$  se puede plantear así [1], [2]:

$$TCC + TEW = \Delta E$$

Donde:

- **TCC:** Tasa de calor suministrado al elemento por conducción.
- **TEW:** Tasa de energía entregada al elemento debida al trabajo realizado por los esfuerzos superficiales y las fuerzas corporales.
- **$\Delta E$ :** Tasa de incremento de la energía almacenada en el elemento.

De donde se obtiene, luego de algunas operaciones, la ecuación de energía para la convección [2]:

$$\rho c_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left( u \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{\mu}{gcJ} \phi \quad (10)$$

Donde  $\phi$  Es la Función de disipación de energía por viscosidad y viene dada por:

$$\phi = 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \quad (11)$$

En la mayoría de aplicaciones las velocidades de flujo son moderadas, por lo que la función de disipación de energía por viscosidad es muy pequeña y se puede despreciar [2].

La ecuación de continuidad es básicamente la ecuación de conservación de masa, la cual se deduce haciendo un balance de masa de fluido que entra y sale a través de un volumen de control.

La ecuación de conservación de masa puede enunciarse como:

$$TNM_x + TNM_y = 0$$

Donde:

**TNM<sub>x,y</sub>**: Tasa neta de flujo másico que entra al elemento de volumen en dirección x y y respectivamente.

entonces:

$$TNM_x = -\frac{\partial M_x}{\partial x} \Delta x = \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z$$

Análogamente para la dirección y; reemplazando en la ecuación de conservación de masa, asumiendo una densidad constante, se tiene:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (12)$$

La cual es la ecuación de continuidad del flujo estable e incomprensible [1].

Las ecuaciones de momentum se obtienen de la segunda ley de Newton, la cual establece que el producto de la masa por la aceleración en una dirección dada es equivalente a las fuerzas externas que actúan sobre un volumen de control.

Por lo tanto, se tiene:

$$m\vec{a}_i = \vec{F}c_i + \vec{F}s_i \quad (13)$$

Donde:

**F<sub>c</sub><sub>i</sub>**: Fuerzas que actúan sobre el cuerpo en la dirección i.

**F<sub>s</sub><sub>i</sub>**: Fuerzas que actúan sobre la superficie en la dirección i.

Para cada dirección, la ecuación para el momentum será:

Para el eje x:

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (14)$$

Para el eje y:

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (15)$$

Con las ecuaciones (10), (11), (14) y (15) se resuelven los problemas de transferencia de calor por convección.

### 1.3.1.2.2 Convección natural

Ocurre cuando el movimiento del fluido se debe principalmente a fuerzas corporales producidas por variaciones de la densidad del fluido, resultantes de gradientes de temperatura. El campo de velocidad se crea debido a las fuerzas de empuje generadas por el cambio de densidad. Por lo general la única alternativa para determinar el coeficiente de transferencia de calor es el método experimental.

### 1.3.1.2.3 Convección forzada

Es el proceso de alejar la energía térmica de una superficie sólida hacia un fluido circundante, a través del movimiento inducido del fluido, el cual se hace desplazar con una determinada velocidad. Cuando se afecta de cualquier manera la velocidad o la presión de este fluido se dice que el proceso de transferencia de calor es de *convección forzada* [7].

### 1.3.1.3 La radiación

Todos los cuerpos con temperatura por encima del cero absoluto emiten energía en forma de radiación. Así, se denomina *radiación térmica* la que emiten los cuerpos debido a su temperatura absoluta que caracteriza su estado termodinámico. Está constituida por ondas electromagnéticas con una intensidad y una frecuencia que son función de la temperatura del emisor. Los cuerpos que emiten o absorben la totalidad de la energía radiante que incide sobre ellos se denominan cuerpos negros y son un modelo idealizado del radiador perfecto. Un cuerpo negro emite calor a una razón

$$q = \sigma AT^2 \quad (16)$$

Donde A es el área de la superficie, T es su temperatura absoluta y  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzman, cuyo valor es  $\sigma = 5.67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ . A partir de esta ecuación se puede concluir que cualquier cuerpo negro emite radiación cuando se encuentra a una temperatura por encima del cero absoluto y la cantidad de radiación es proporcional a la cuarta potencia de esa temperatura. Si el cuerpo no es un radiador ideal solo emite una función de  $\varepsilon$  de su energía total y se le conoce como un cuerpo gris. En la naturaleza no existen cuerpos negros como tal,

pero si el valor de la emisividad  $\varepsilon$  es cercano a la unidad se puede considerar el cuerpo gris como un cuerpo negro.

Para que exista una transferencia de calor entre dos superficies se hace necesario que exista una diferencia de temperaturas entre ellas; además, se debe tener en cuenta que no toda la radiación que emite su superficie alcanzará la otra, por lo tanto se hace necesario introducir un factor de forma  $F_{1-2}$  que contempla la relación que existe entre la energía radiada por la superficie emisora, que depende de  $\varepsilon$  y el flujo de radiación que llega a la superficie receptora. Bajo estas condiciones la transferencia de calor por radiación se puede evaluar a partir de la siguiente ecuación

$$q_r = A_e F_{1-2} \sigma (T_{em}^4 - T_{re}^4) \quad (17)$$

donde  $q_r$  es el calor transmitido por radiación en la unidad de tiempo,  $A_e$  es el área emisora,  $T_{em}$  es la temperatura de la superficie emisora y  $T_{re}$  es la temperatura de la superficie receptora. Es de notar que el factor de forma  $F_{1-2}$  depende en gran parte de la disposición geométrica de las superficies y de su naturaleza radiante [8].

#### 1.3.1.4. Escala y unidades de temperatura

Las escalas de temperatura más comúnmente usadas son dos: Celsius y Fahrenheit. Con fines de aplicaciones físicas o en la experimentación, es posible hacer uso de una tercera escala llamada Kelvin o absoluta. La escala Celsius es la más difundida en el mundo y se la emplea para mediciones de rutina, en superficie y en altura. La escala Fahrenheit se usa en algunos países con el mismo fin, pero para temperaturas relativamente bajas continúa siendo de valores positivos.

Las temperaturas de referencia, para ambas escalas son los puntos de fusión del hielo puro (como 0° C ó 32° F) y de ebullición del agua pura, a nivel del mar (100° C o 212° F)., la diferencia entre estos dos valores extremos es de 100° C y 180° F, respectivamente en las dos escalas. Por otro lado, la relación o cociente entre ambas escalas es de 100/180, es decir 5/9. Asimismo una temperatura de 0° F es 32° F más fría que una de 0° C, esto permite comparar diferentes temperaturas entre una y otra escala. Un algoritmo sencillo hace posible pasar de un valor de temperatura, en una escala, a unos en la otra y viceversa, o sea:

$$0^{\circ}C = 5/9^{\circ}F - 32 \quad \text{y} \quad 0^{\circ}F = 9/5^{\circ}C + 32$$

La escala absoluta o **Kelvin** es llamada así debido a su creador. El límite teórico inferior de la misma no se puede alcanzar interpretándose el °K como el estado energético más bajo que pueden llegar a alcanzar las moléculas de la materia. En laboratorios de bajas temperaturas se han obtenido valores muy bajos, cercanos a -273.16° C, mediante la congelación del hielo o del hidrógeno, que son los gases de menor peso molecular (es decir los más livianos). Se define como:  
 $273.16^{\circ}K = 0^{\circ}C$

Las escalas de medición de la temperatura se dividen fundamentalmente en dos tipos, las absolutas y relativas. Ya que los valores que puede adoptar la temperatura de los sistemas, no tienen un máximo, sí tienen un nivel mínimo, el cero absoluto. Mientras que las escalas absolutas se basan en el cero absoluto, las relativas tienen otras formas de definirse. [3]

### 1.3.2 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En física la presión está definida como el cociente entre la acción de una fuerza sobre la unidad de superficie. Por lo tanto, la presión atmosférica es

numéricamente igual al peso de una columna de aire que tiene como base la unidad de superficie y como altura la de la atmósfera.

$$P = F/S$$

### 1.3.2.1 Presión sobre un elemento de fluido.

La presión en el elemento del fluido no es causada por la fuerza neta, a menos que esta varíe espacialmente; considerando la presión que actúa sobre el eje x en las dos caras del elemento de fluido, como se observa en la figura No. 3. donde la presión es una función arbitraria de las variables temporales y espaciales.

$$p = p(x, y, z, t) \quad (18)$$

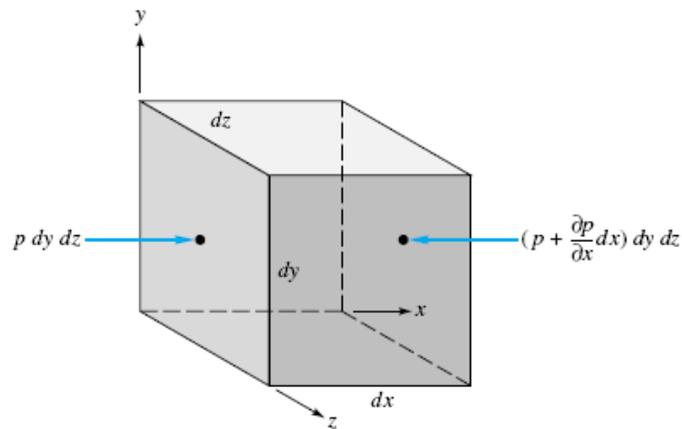


Figura No. 3 Fuerza neta sobre un elemento debido a la variación de presión <sup>2</sup>

La fuerza neta en la dirección x sobre el elemento de la figura No. 3 esta dada por:

$$dF_x = p \, dy \, dz - \left( p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dy \, dz = - \frac{\partial p}{\partial x} dx \, dy \, dz \quad (19)$$

---

<sup>2</sup> Distribución de presión en un fluido, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering

De igual forma, la fuerza neta  $dF_y$  implica  $-\partial p/\partial y$ , y la fuerza neta  $dF_z$  involucra  $-\partial p/\partial z$ . El vector fuerza neta total sobre el elemento debido a la presión es:

$$d\vec{F}_{pres} = \left( -\hat{i} \frac{\partial p}{\partial x} - \hat{j} \frac{\partial p}{\partial y} - \hat{k} \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (20)$$

Los términos dentro del paréntesis corresponden al vector negativo del gradiente de p. Denotando  $\mathbf{F}$  como la fuerza neta por unidad del elemento de volumen se puede escribir la ecuación 20 como:

$$\vec{f}_{pres} = -\vec{\nabla} p \quad (21)$$

Así la fuerza neta no es causada por la presión si no por el gradiente de presión que debe ser balanceada por la gravedad o la aceleración o algún otro efecto en el fluido.

### 1.3.2.2 Equilibrio de un elemento de fluido

El gradiente de presión es una fuerza que actúa sobre la superficie de las caras del elemento. Existen muchas otras fuerzas que actúan sobre el cuerpo, como las electromagnéticas o los potenciales gravitacionales ejerciendo sobre la masa del elemento. Se considera solo la fuerza de la gravedad, o el peso del elemento

$$d\vec{F}_{grav} = \rho \vec{g} dx dy dz$$

O

$$\vec{f}_{grav} = \rho \vec{g} \quad (22)$$

En general, puede haber una fuerza en la superficie debida al gradiente, como la tensión por viscosidad. Para un fluido incompresible con constante de viscosidad, la fuerza neta de viscosidad es:

$$\vec{f}_{vs} = \mu \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) = \mu \vec{\nabla}^2 V \quad (23)$$

Donde VS corresponde a la posición de la tensión por viscosidad y  $\mu$  es el coeficiente de viscosidad.

El vector resultante de estas tres fuerzas (presión, gravedad y tensión por viscosidad) origina el equilibrio de elemento o movimiento con aceleración  $a$ . según las leyes de Newton se tiene:

$$\rho \vec{a} = \sum \vec{f} = \vec{f}_{pres} + \vec{f}_{grav} + \vec{f}_{visc} = -\vec{\nabla}p + \rho \vec{g} + \mu \vec{\nabla}^2 V \quad (24)$$

Esta es una forma de ecuación diferencial del momentun para el elemento de fluido; la aceleración refleja el equilibrio local de fuerzas y no es necesariamente paralela al vector velocidad local, que refleja la dirección de movimiento en ese instante. Según la ecuación No. 24 se puede deducir que el gradiente de presión se puede expresar de la siguiente forma:

$$\vec{\nabla}p = \rho(\vec{g} - \vec{a}) + \mu \vec{\nabla}^2 V = \vec{B}(x, y, z, t) \quad (25)$$

Donde  $\mathbf{B}$  es la notación para el vector suma. Si  $\mathbf{V}$  y  $\mathbf{a} = d\mathbf{V}/dt$  son funciones conocidas de espacio y tiempo y densidad y viscosidad son también conocidas, puede ser resuelta la ecuación 25 por integración directa para  $p(x, y, z, t)$ . Las componentes de esta son equivalentes a tres ecuaciones diferenciales simultáneas de primer orden

$$\frac{\partial p}{\partial x} = B_x(x, y, z, t) \quad \frac{\partial p}{\partial y} = B_y(x, y, z, t) \quad \frac{\partial p}{\partial z} = B_z(x, y, z, t) \quad (26)$$

Las funciones de lado derecho pueden ser integradas sistemáticamente para obtener la distribución  $p(x, y, z, t)$  excepto la función desconocida con respecto al tiempo, ya que no se conoce una relación  $\partial p / \partial t$ ; esta función extra es acondicionada para la variación de tiempo conocido  $p_0(t)$  en algún punto  $(x_0, y_0, z_0, t_0)$ . Si el flujo es constante (independiente del tiempo), la función

desconocida es constante y se encuentra al conocer la presión  $p_0$  en un punto  $(x_0, y_0, z_0)$ . Esto puede parecer complicado, pero no lo es; encontrando la distribución de presión desde una distribución de velocidad conocida es uno de los problemas sencillos de la mecánica de fluidos.

Examinando la ecuación No. 25, se pueden dar tres casos especiales:

- 1. fluido en reposo o con velocidad constante:** los términos de aceleración y viscosidad desaparecen idénticamente, y  $p$  depende solamente de la gravedad y la densidad. Esta es la condición hidrostática.
- 2. traslación y rotación de un cuerpo rígido:** el término de la viscosidad desaparece idénticamente, y  $p$  depende solamente del término  $\rho(\mathbf{g} - \mathbf{a})$ .
- 3. Movimiento irrotacional ( $\nabla \times \mathbf{V} \equiv \mathbf{0}$ ):** el término de la viscosidad desaparece idénticamente y la integral exacta es llamada Ecuación de Bernoulli con la que puede hallarse la distribución de presión.

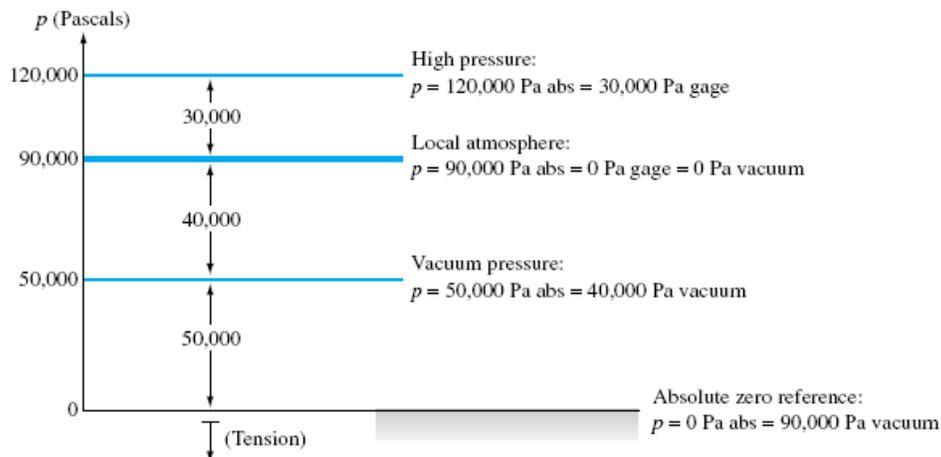


Figura 4. Lecturas de la presión absoluta, de control y de vacío<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Presion absoluta, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, Cap. 2.

Antes de empezar algunos ejemplos, se debe tener en cuenta que los ingenieros tienen que poder especificar presiones como la absoluta (1) o el valor relativo de la atmósfera ambiente local (2). El segundo caso ocurre porque muchos instrumentos de presión son de tipo *diferencial* y graban, no una magnitud absoluta, sino la diferencia entre la presión del fluido y la atmosférica. La medida de la presión puede ser más alta o más baja que la atmósfera local, y en cada caso tiene un nombre:

$p > p_a$  *presión de control*:  $p$  (de control) =  $p - p_a$

$p < p_a$  *presión de vacío*:  $p$  (vacío) =  $p_a - p$

Esto es una abreviatura conveniente, y después suma (o resta) la presión atmosférica para determinar la presión absoluta del fluido.

Si el fluido está en reposo o con velocidad constante,  $\mathbf{a} = 0$  y  $\nabla^2 \mathbf{V} = 0$ . La ecuación 25. De la distribución de presión se reduce a

$$\nabla p = \rho \mathbf{g} \quad (27)$$

Esto es una distribución hidrostática y es correcta para todos los demás fluidos, sin considerar su viscosidad, porque el término de la viscosidad desaparece en la identidad.

Del análisis vectorial se tiene que el vector  $\nabla p$  expresa la magnitud y dirección de la máxima variación espacial o el incremento de la propiedad escalar  $p$ . como un resultado  $\nabla p$  es perpendicular en cualquier punto a las superficies de constante  $p$ . Por tanto la ecuación 27 determina que un fluido en equilibrio hidrostático se alinea con todas las superficies de presión constante normales al vector gravedad local. El máximo incremento de la presión estará en la dirección de la gravedad es

decir hacia abajo. Si el fluido es un líquido, su superficie libre, está a la presión atmosférica, y es normal a la gravedad local, o horizontal.

En el sistema de coordenadas usual  $z$  está hacia arriba, por lo tanto el vector gravedad para problemas a pequeña escala es

$$\mathbf{g} = -g\mathbf{k} \quad (28)$$

donde  $g$  es la magnitud de la gravedad local, por ejemplo,  $9.807 \text{ m/s}^2$ . Para estas coordenadas en la ecuación (26) se tienen las componentes

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g = -\gamma \quad (29)$$

Los primeros dos términos de la ecuación anterior son nulos ya que  $p$  es independiente de  $x$  y  $y$ . por lo tanto  $\partial p/\partial z$  puede reemplazarse por la derivada total  $dp/dz$ , y la condición hidrostática se reduce a

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dz} &= -\gamma \\ \text{o} \quad p_2 - p_1 &= -\int_1^2 \gamma dz \end{aligned} \quad (30)$$

Esta ecuación es la solución del problema hidrostático. La integración requiere un conocimiento de la distribución de la densidad y la gravedad. Los gases y los líquidos usualmente son tratados en forma diferente.

Se extraen las siguientes conclusiones acerca de la condición hidrostática:

la presión en un fluido continuo en reposo se distribuye uniformemente, varía solamente con la distancia vertical y es independiente del recipiente que lo

contiene. La presión es la misma en todos los puntos de un determinado plano horizontal en el fluido. La presión aumenta con la profundidad en el fluido [4].

La presión se mide en Pascal (símbolo **Pa**) en el Sistema Internacional de Unidades, que se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.

### **1.3.3. VIENTO.**

El viento es el estado de movimiento del aire tanto horizontal como verticalmente. Se denomina propiamente "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, reservándose la denominación de "corriente de convección" para los movimientos de aire en sentido vertical.

#### **1.3.3.1 Movimiento atmosférico**

##### **1.3.3.1.1 Dinámica atmosférica**

Las fuerzas que actúan sobre un volumen  $V$  de aire de densidad  $\rho$  en el seno de la atmósfera son (Figura No. 4):

- la fuerza de la gravedad:  $\rho V \vec{g}$
- La fuerza del gradiente de presión  $P$  o fuerza bórica, la cual, por unidad de masa, es:  $-\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} P$ ;
- La fuerza de rozamiento;
- La fuerza de Coriolis.

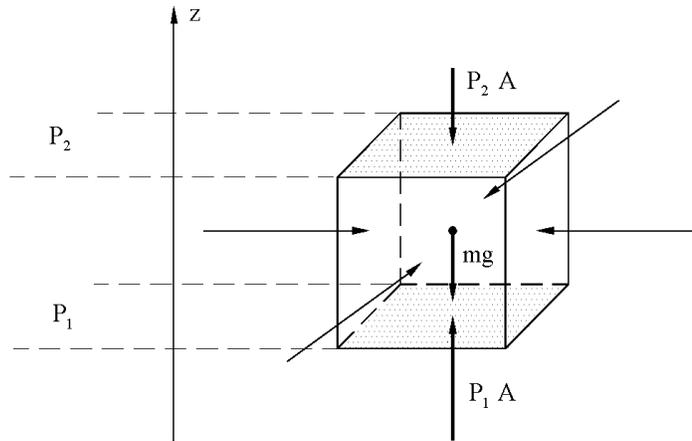


Figura. 5 Diagrama de fuerzas que actúan sobre un volumen de aire de masa  $m^4$

De estas fuerzas, las que actúan según la vertical son la de la gravedad y la componente vertical de la fuerza bática  $-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z}$  (por unidad de masa). Se trata de dos fuerzas que tienen sentidos opuestos y que tienden a compensarse mutuamente y producir el estado del *equilibrio hidrostático*:

$$g = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (31)$$

Si se considera, dentro del fluido atmosférico, un cierto volumen de aire como el que aparece en la figura No. 5 (columna de base A), las fuerzas horizontales de la presión que el resto de fluido ejerce sobre esta porción de aire se compensan entre sí, mientras que en la vertical la diferencia de presiones entre las dos alturas ( $P_1$  y  $P_2$ , con  $P_1 > P_2$ ) determina la aparición de una fuerza vertical hacia arriba (el empuje de Arquímedes,  $(P_1 - P_2)A$ ) que compensa el peso del volumen ( $mg$ ). Las

---

<sup>4</sup> Meteorología y clima M. CARMEN CASAS CASTILLO, movimiento atmosférico Cáp. 3

superficies isobáricas, superficies de igual presión, son planos horizontales cuando se da este equilibrio hidrostático.

Se puede interpretar que la fuerza de gravedad es la responsable tanto de la producción como del mantenimiento del gradiente vertical de presión. Cuando el equilibrio entre las dos fuerzas se rompe, como cuando se tiene un volumen de aire de densidad diferente al del entorno, se producen movimientos verticales acelerados de flotación o de hundimiento de este volumen [5].

#### **1.3.3.1.2 Movimiento horizontal**

El resto de fuerzas (la componente horizontal de la fuerza bórica, la fuerza de Coriolis y la de rozamiento) actúan según el plano horizontal y dan lugar al movimiento horizontal del aire, es decir, al viento.

En Meteorología, el viento en la superficie es de gran importancia, ya que aporta dos propiedades importantes para la determinación del clima, (*Velocidad del viento y dirección del viento*)

#### **1.3.3.2. La velocidad del viento**

Es causada por diversos factores tales como relieve, aceleración de coriolis y las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas de la tierra y de la atmósfera. Las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado por las masas de aire circundante más frío y por tanto, más denso. Por término medio, la velocidad de los vientos horizontales es del orden de algunos centenares de veces más grande que la de los movimientos verticales, aunque hay algunas excepciones, como las tormentas.

### 1.3.3.2.1 El gradiente horizontal de presión.

Es la componente de la fuerza bática según el plano horizontal. La formación de un gradiente horizontal de presión cualquiera representa un estado de desequilibrio momentáneo que da lugar inmediatamente al movimiento horizontal acelerado del aire, es decir, provoca la aparición de viento. Puede aparecer por causas mecánicas (por convergencia o divergencia locales del aire) o por causas térmicas (por la expansión o la compresión del aire sobre una cierta zona de la superficie que ha experimentado un calentamiento o que se está enfriando). Los gradientes horizontales son capaces de mantenerse en el tiempo en un estado de equilibrio dinámico. [5]

### 1.3.3.2.2 Fuerza de coriolis

#### 1.3.3.2.2.1 Marco de referencia no inercial

Para los sistemas coordenados con velocidad constante o inercial, la razón del cambio de la velocidad equivale a la aceleración total del sistema, y las leyes de Newton son aplicables directamente en la forma de las ecuaciones (32) (33)

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{V}) \quad (32)$$

$$\frac{d}{dt}(m\vec{V})_{\text{sys}} = \sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \left( \int_{CV} \vec{V} \rho d^0v \right) + \int_{CS} \vec{V} \rho (\vec{V}_r \cdot n) dA \quad (33)$$

En muchos casos es conveniente usar un sistema coordenado acelerado o no inercial, como en cualquier circulación sobre la superficie terrestre debido a la rotación que posee. Los flujos atmosféricos y oceanográficos experimentan la aceleración de Coriolis. Esta es típicamente menos de  $10^{-5}\mathbf{g}$ , donde  $\mathbf{g}$  es la

aceleración de la gravedad, pero sus efectos sobre distancias de muchos kilómetros pueden ser determinantes en los flujos geofísicos.

Suponga que un fluido inestable tiene una velocidad  $\mathbf{V}$  relativa a un sistema no inercial de coordenadas de  $\mathbf{xyz}$  como se muestra en la figura No. 6. Entonces  $dV/dt$  representará una aceleración no inercial que debe ser añadida vectorialmente a la aceleración relativa  $\vec{a}_{rel}$  para dar la aceleración absoluta  $\vec{a}_i$  relativa a un sistema inercial de coordenadas  $x, y, z$  [4]

$$\vec{a}_i = \frac{d\vec{V}}{dt} + \vec{a}_{rel} \quad (34)$$

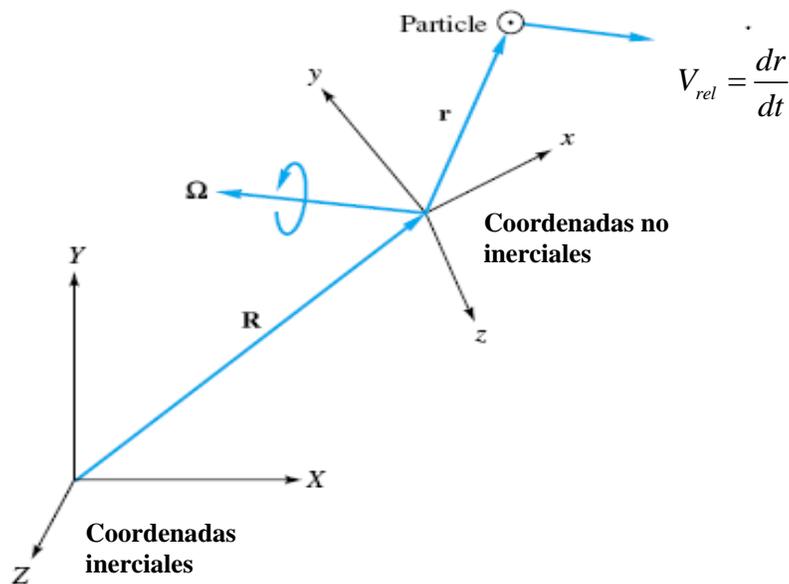


Figura No. 6 Marco referencial no inercial<sup>3</sup>

Aplicando las leyes de Newton a la aceleración absoluta,

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}_i = m \left( \frac{d\vec{V}}{dt} + \vec{a}_{rel} \right) \quad (35)$$

$$\sum \vec{F} - m\vec{a}_{rel} = m \frac{d\vec{V}}{dt} \quad (36)$$

Por lo tanto las leyes de Newton en el sistema no inercial de coordenadas **xyz** son equivalentes a añadir más "Fuerza" al término  $-m\vec{a}_{rel}$  para explicar los efectos del sistema no inercial. En el caso más general, en la figura 6, el término  $\vec{a}_{rel}$  contiene cuatro partes, tres de ellas describen la velocidad angular  $\Omega$  (t) del las coordenadas inerciales. Por inspección en la figura 6, el desplazamiento total de la partícula es

$$\vec{S}_i = \vec{r} + \vec{R} \quad (37)$$

La diferencia de la velocidad total

$$\vec{V}_i = \vec{V} + \frac{d\vec{R}}{dt} + \vec{\Omega} \times \vec{r} \quad (38)$$

Una segunda diferenciación da la aceleración total:

$$\vec{a}_i = \frac{d\vec{V}}{dt} + \frac{d^2\vec{R}}{dt^2} + \frac{d\vec{\Omega}}{dt} \times \vec{r} + 2\vec{\Omega} \times \vec{V} + \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r}) \quad (39)$$

En comparación con la ecuación (34), los últimos cuatro términos de la ecuación (39) representan la respectiva aceleración adicional:

- $d^2\vec{R}/dt^2$  es la aceleración del origen no inercial de coordenadas xyz.
- $(d\vec{\Omega}/dt) \times \vec{r}$  es el efecto de la aceleración angular.
- $2\vec{\Omega} \times \vec{V}$  es la aceleración de coriolis.
- $\vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r})$  es la aceleración centrípeta, dirigida de la partícula normal al eje de rotación con magnitud  $\Omega^2 L$ , donde L es la distancia al eje normal. [4]

### 1.3.3.2.3 Influencia de la fuerza de coriolis:

Cuando se observa el movimiento del aire desde la Tierra, que está en rotación y, por tanto, es un sistema de referencia no inercial, parece como si, además de las fuerzas antes mencionadas, estuviera actuando alguna otra: se trata de la fuerza de Coriolis, una fuerza de inercia, cuyos efectos aparecen por el hecho de que el movimiento de las masas de aire se observa desde la superficie de la Tierra en rotación. Esta fuerza se manifiesta desviando la dirección del aire, de manera que, para un observador situado en la Tierra, produce una desviación de la trayectoria hacia la derecha, en el hemisferio norte, y hacia la izquierda, en el sur.

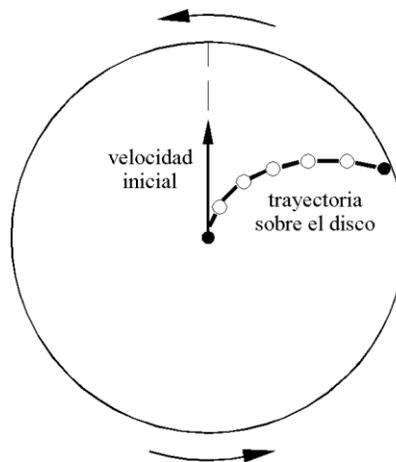


Figura No. 7 El efecto de coriolis<sup>4</sup>

La figura No. 7 muestra el efecto de esta fuerza sobre una masa lanzada desde el centro de un disco giratorio hacia a la periferia. La trayectoria que sigue la masa para un observador en reposo fuera del disco es rectilínea, pero para un observador que gira con el disco la trayectoria es curva. Esto es debido al hecho de que la masa, al ir hacia la periferia (y suponiendo que mantiene la velocidad lineal aproximadamente constante), no puede mantener la misma velocidad angular que el disco ya que el radio va aumentando y, en consecuencia, se va quedando atrasada.

La fuerza de Coriolis, por unidad de masa, se expresa vectorialmente como:

$$F_c = 2\Omega v \sin \varphi \quad (40)$$

donde  $\Omega$  es la velocidad de rotación terrestre,  $7.29 \times 10^{-5}$  rad/s,  $v$  la velocidad de la masa de aire y  $\varphi$  el ángulo que forman los vectores  $\vec{\Omega}$  y  $\vec{v}$ .

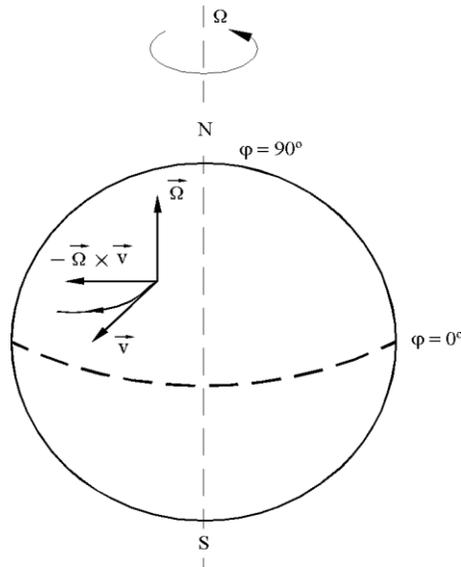


Figura No. 8 La fuerza de Coriolis en el hemisferio norte desvía la trayectoria hacia la derecha<sup>4</sup>

En el caso de movimiento horizontal del aire, el ángulo  $\varphi$  de la expresión (40) coincide con la latitud terrestre. En este caso, la cantidad  $f = 2\Omega \sin \varphi$  se denomina parámetro de Coriolis. La magnitud de la fuerza es directamente proporcional a la velocidad horizontal del aire y al seno de la latitud. En consecuencia, este efecto es máximo en los polos ( $\varphi = 90^\circ$ ), disminuye al decrecer la latitud y es nulo en el ecuador ( $\varphi = 0^\circ$ ). [5]

### 1.3.3.2.4 El viento geostrófico

El movimiento horizontal del aire más sencillo es el que se produce cuando la fuerza del gradiente de presión queda equilibrada completamente por la fuerza de Coriolis, que actúa en la misma dirección y en sentido opuesto. Esta situación se da cuando la fuerza de rozamiento es despreciable, como en la denominada atmósfera libre, por encima de la capa de fricción con el suelo (entre 500 y 1000 m de altura). En este caso, el viento toma una dirección aproximadamente perpendicular al gradiente de presión (es decir, paralela a las isóbaras, como se representa en la figura No. 9) y, siguiendo el movimiento del aire.

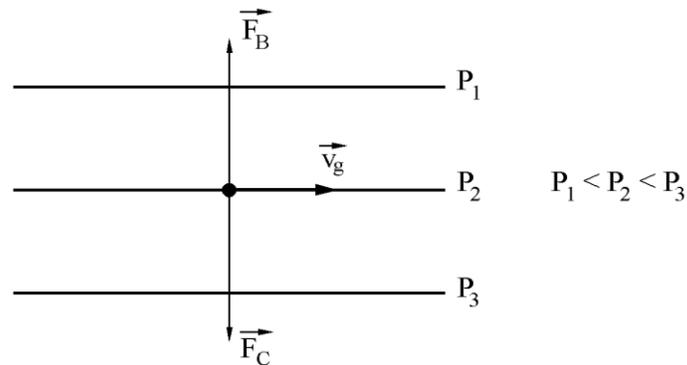


Figura No. 9 Viento Geostrófico<sup>4</sup>

El viento ideal horizontal que cumple esta condición se denomina *viento geostrófico* y su velocidad viene dada por:

$$V_g = \frac{1}{2\Omega\rho \sin\varphi} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (41)$$

Es decir, la velocidad del viento geostrófico es inversamente proporcional al seno de la latitud. Con la excepción de las latitudes bajas, donde la fuerza de Coriolis es prácticamente nula, el viento geostrófico se aproxima mucho al aire observado en la atmósfera libre [5].

#### **1.3.3.4 La dirección del viento**

Depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones) Y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones. En su movimiento [5].

##### **1.3.3.4.1 Los movimientos verticales del aire: ascendencias y descendencias**

La convergencia y la divergencia mecánicas del aire asociadas a los centros de baja y de alta presión pueden dar lugar al movimiento vertical a gran escala del aire, de elevación en el primer caso y de subsidencia en el segundo, con velocidades del orden de los  $5 \cdot 10^0$  cm/s en ambos casos.

Existen otras causas que determinan el movimiento vertical del aire en la atmósfera, como es la convección térmica. Cuando la radiación solar calienta una zona de la superficie terrestre, el aire que hay encima se va calentando por debajo por contacto, de manera que pierde densidad y asciende libremente, y es reemplazado por aire más frío y denso. Se trata de corrientes convectivas de escala local, en que el movimiento vertical puede llegar a ser muy importante; se pueden llegar a tener velocidades del orden de los 10 m/s, como en el interior de las nubes de tormenta.

Otra causa por la cual se pueden producir movimientos verticales del aire es la orografía. El aire puede verse forzado a remontar una barrera orográfica, ya sean montañas, conjuntos de edificios o formaciones vegetales importantes. También podemos tener el ascenso forzado del aire en un sistema frontal, donde una masa de aire caliente es obligada a ascender por encima de otra más fría. Finalmente,

se puede tener convección forzada producida por la turbulencia mecánica que experimenta el aire cuando fluye por una superficie irregular.

#### **1.3.3.4.1.1 La brisa marina y la terrestre**

Cuando se aplica calor a un objeto, su temperatura sube, mientras que al enfriarse de nuevo desprende una cantidad equivalente de calor. En consecuencia, una cantidad dada de calor elevará la temperatura de una unidad de masa de las rocas unas cinco veces más que si esta unidad fuese de agua. Esto explica que en un día cálido y en la costa sea frecuente la aparición de una brisa de mar a tierra, denominada *brisa marina*.

Dado que la radiación solar eleva más la temperatura de la tierra que la del mar, el aire que se encuentra sobre la tierra se calienta y, al perder densidad, tiende a elevarse, con lo que disminuye localmente la presión y, en consecuencia, se produce un gradiente de presión desde el agua hacia la tierra. El aire frío que se encuentra sobre el mar se mueve hacia tierra para ocupar el lugar que ha dejado el aire caliente y refresca las costas con brisas marinas. El aire caliente ascendente se mueve hacia el mar en altura, desciende sobre el mar y forma una célula de convección.

Durante la noche el efecto es el contrario: el mar está más caliente que el continente y la circulación del aire se invierte y da lugar a una *brisa terrestre* o *terral* en la superficie.

Estas dos brisas no son de la misma magnitud; mientras que la velocidad del viento en la brisa marina puede llegar a tomar valores de 4 a 7 m/s, la brisa terrestre no suele presentar velocidades superiores a los 2 m/s. La brisa marina es suficientemente intensa como para dominar sobre la circulación a gran escala de

la región. De hecho, en las latitudes medias, la fuerza de Coriolis desvía la brisa marina que se mueve hacia tierra, de manera que, en realidad, sopla casi paralela a la línea de costa. Estos vientos locales pueden tener un efecto decisivo sobre la temperatura y la humedad de las zonas costeras; el aire húmedo de la brisa marina forma muy a menudo nubes al ascender sobre la costa.

#### **1.3.3.4.1.2 El viento de montaña y el de valle**

En una zona montañosa, durante el día el sol calienta más las laderas de montaña que el valle, de manera que se produce un flujo de aire que asciende desde el valle hasta las cumbres. Se trata del viento *anabático* (ascendente), que alcanza la velocidad más alta a primeras horas de la tarde. Simultáneamente se produce el movimiento del aire siguiendo el eje del valle, en el sentido en que el terreno asciende. Este viento local de valle, generalmente muy flojo, es compensado por un viento de retorno en altura que es alimentado por los vientos anabáticos, que muchas veces queda enmascarado por la circulación general de la zona.

Durante la noche, la circulación se invierte. Las laderas de la montaña se enfrían por radiación y el aire que tienen encima, más frío y denso, desciende desde la cima y se hunde en el valle, lo que da lugar a lo que se conoce con el nombre de *viento catabático* (descendente). Paralelamente se forman vientos de montaña a lo largo del eje del valle, que soplan hacia las zonas más bajas, mientras que en altura aparece también una corriente de retorno que los compensa.

#### **1.3.3.4.2 La circulación general atmosférica**

Es la configuración a escala planetaria de los vientos y de la presión como consecuencia de la diferente radiación solar recibida por el planeta en cada latitud y del efecto de la rotación terrestre. El aire que rodea la Tierra se calienta más en

contacto con el ecuador que en otros puntos, ya que es la zona donde la radiación solar cae de forma más perpendicular. Así, el grosor de la troposfera en el ecuador es más grande que en los polos.

A causa del movimiento de rotación de la tierra, el aire que se dirige hacia el polo norte por las capas altas, va siendo desviado por el efecto de Coriolis hacia la derecha de su trayectoria inicial, progresivamente con más curvatura, hasta convertirse en viento del sudoeste. Al llegar a los 30° de latitud (aproximadamente la de las islas Canarias) ha pasado a ser ya un viento del oeste y se ha enfriado suficientemente como para comenzar a caer hacia el suelo. Una vez en la superficie, se dirige hacia al ecuador, pero no como viento del norte, ya que la desviación de Coriolis vuelve a actuar sobre él y lo convierte en viento del nordeste, donde asciende, y así queda cerrada una célula de convección limitada entre los 30° y el ecuador, denominada *célula de Hadley* (descrita por Hadley en el año 1735).

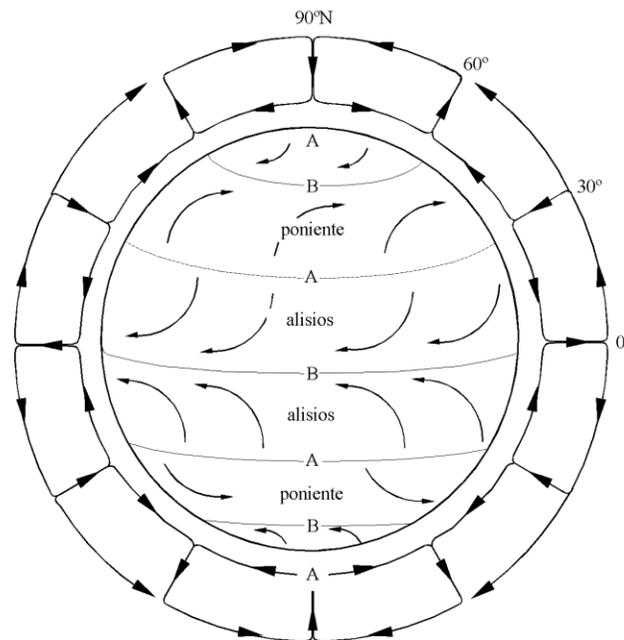


Figura 10. Circulación general de la atmósfera<sup>4</sup>

La desviación del aire en latitudes bajas, cerca del ecuador, no se puede justificar totalmente por el efecto de Coriolis, debido al bajo valor que esta fuerza toma en esta zona, se explica en términos de la conservación del momento cinético. Figura No. 10

Asimismo, el aire frío y denso que se mueve desde los polos sobre tierra en dirección al ecuador comienza a hacerse del nordeste hasta llegar a los 60° de latitud (aproximadamente, al sur de Groenlandia), en que se hace totalmente del este. En este momento ya se ha calentado suficientemente como para ascender y se dirige nuevamente hacia al polo por las capas altas como viento del sudoeste. En cuanto se encuentra sobre el polo norte, desciende y se cierra el ciclo. La zona intermedia de latitudes  $30^\circ < \varphi < 60^\circ$  recibe el nombre de *zona templada* y en ella predominan los vientos de componente oeste, no sólo en superficie sino también en altura, en buena parte de la troposfera. En esta zona el transporte horizontal es muy importante.

Colombia por encontrarse geográficamente entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio, está sometida a los vientos Alisios, que soplan del noreste en el hemisferio Norte y del sureste en el hemisferio Sur. En Colombia los vientos están influidos principalmente por las condiciones locales y por el rozamiento proporcionado por las grandes irregularidades que presenta la cordillera de los Andes, al ramificarse en tres sistemas que se extienden longitudinalmente a lo largo del país con diferentes elevaciones. Además los dos mares que bañan también tienen su papel en el comportamiento del viento. Esto hace que la dirección y la velocidad del viento varíen de un instante a otro y de un sitio a otro.

La variación del clima y mas en específico la variación de las variables climáticas como lo son la velocidad y dirección del viento en Colombia se ven mas afectadas debido a la topografía existente, como lo son las cordilleras, costas, altitudes,

entre otras, hacen que estas variables sean muy inestables ya que existen brisas marinas que hacen que varié de forma brusca entre la noche y el día, esto hace que la medición de estas variables sea periódica y en estaciones muy cercanas una de otra para realizar un promedio de estas variables.

#### 1.3.3.4.3 Medida de la dirección del viento

Viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla. En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa de los vientos dividida en 360°. El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro del reloj. De este modo, un viento del SE equivale a 135°; uno del S, a 180°; uno del NW, a 315°, etc. (véase Figura. No 11)

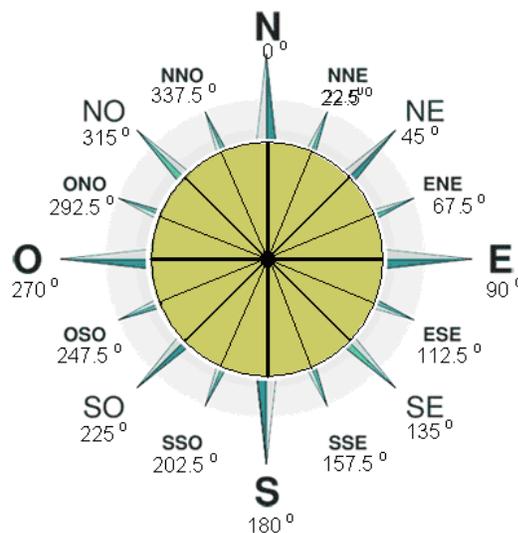


Fig. No 11 La rosa de los vientos dividida

## 1.4 SENSORES METEOROLÓGICOS

Los dispositivos que son capaces de transformar un tipo de variable física en otra, se llaman transductores. Cada uno de los sensores meteorológicos emplea un

transductor característico que transforma la señal climática análoga presente en el ambiente, en otra con niveles cuantificables de voltaje [6]. A continuación se describen instrumentos para medir la velocidad y dirección del viento, la temperatura del medio y la presión atmosférica

#### **1.4.1 Sensor de velocidad del viento**

Los anemómetros de copela o hélice son los tipos de sensores más comúnmente usados para la medición de la velocidad horizontal del viento. Se usa una veleta para medir la dirección.

##### **1.4.1.1 Anemómetro de copela (tipo Robinson)**

Este instrumento consiste en un conjunto de tres copelas centralmente conectadas a un eje vertical para la rotación. De acuerdo al diseño, por lo menos una copela está enfrentando siempre el viento que viene de frente. La forma aerodinámica de las copelas convierte la fuerza de presión del viento en torque rotatorio. La rotación de la copela es casi linealmente proporcional a la velocidad del viento sobre un rango especificado. Un transductor dentro del anemómetro convierte este movimiento rotatorio en una señal eléctrica que se envía a través de un cable a una tarjeta de adquisición de datos. La tarjeta por medio del constante desplazamiento de las copelas puede calcular la velocidad del viento real. [6,9]

##### **1.4.1.2 Anemómetros de hélice**

Este instrumento consiste en una hélice (o sostén) montado sobre un eje horizontal que se orienta en el viento a través del uso de una veleta. El anemómetro de hélice también genera una señal eléctrica proporcional a la velocidad del viento. Aunque los dos tipos de sensores difieren un poco en su sensibilidad a las fluctuaciones de velocidad del viento, no hay alguna ventaja

clara de un tipo sobre otro, el mas usado usualmente es el de copela, para la valoración del recurso.

#### 1.4.1.3 Modelo matemático del sensor de velocidad del viento.

Un anemómetro es un dispositivo destinado a medir la velocidad relativa del viento que incide sobre él. Si el anemómetro está fijo colocado en tierra, entonces medirá la velocidad del viento reinante, pero si está colocado en un objeto en movimiento, puede servir para apreciar la velocidad de movimiento relativo del objeto con respecto al viento en calma.

Los sensores de cazoleta (Figura. No. 12) o también llamados ANEMOMETRO DE ROBINSON, debido a su investigador **John T. R. Robinson**, o de rotación, está dotado de cazoletas unidas a un eje de giro vertical, o de una hélice con un eje horizontal. La velocidad de giro es proporcional a la velocidad del viento. Esta velocidad, es medida en nudos o en km/h, marca el tipo de viento, utilizándose universalmente la escala BEAUFORT (anexo 4)



Figura. No. 12 Anemómetro de Robinsón<sup>5</sup>

Debido a que la resistencia aerodinámica de la cazoleta es diferente entre la parte cóncava y convexa, el viento provoca un momento sobre el eje, que lo hace girar a

---

<sup>5</sup> <http://www.windpower.org/es/tour/wres/wndsprac.htm>

una determinada velocidad angular, que es proporcional a la velocidad del viento. La medida de la velocidad de giro, se puede hacer por métodos mecánicos, eléctricos o magnéticos

En los anemómetros eléctricos, el eje es el de un generador eléctrico de corriente continua (dinamo), cuyo voltaje generado es proporcional a la velocidad de rotación y con ello a la del viento. En la figura No. 13 se puede observar la dependencia de la velocidad respecto de la velocidad angular para un anemómetro de copela, se representa matemáticamente esta dependencia.

Nomenclatura:

- $V$  = Velocidad del Viento
- $\rho$  = Densidad del aire ( $=1,2 \text{ Kg/m}^3$ )
- $R$  = Radio del centro de la cazoleta.
- $\omega$  = Velocidad de giro del anemómetro (V. Angular)
- $A$  = Área recta de la cazoleta (Proyección plano perpendicular a la varilla)
- $C_{Da}$  = Coeficiente de arrastre de las cazoletas en la parte cóncava
- $C_{Db}$  = Coeficiente de arrastre de las cazoletas en la parte convexa
- $M_R$  = Par resistente del eje de giro.

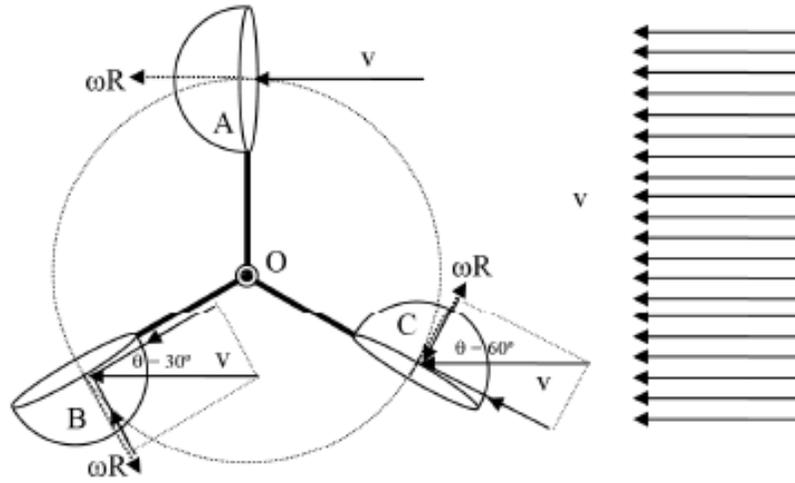


Fig. No. 13 Anemómetro de Copela, descripción Coordenadas de velocidad respecto a la velocidad angular

La Velocidad de giro se toma constante, con lo que hay equilibrio de momentos, y la suma es nula,

$$\sum M_0 = M_A - M_B - M_C - M_R \quad (42)$$

Los momentos  $M_A$  y  $M_B$  para el sistema de la Fig. No. 11 Queda de la forma

$$M_A = C_{Da} \frac{1}{2} \rho (V - \omega R)^2 A \cdot R \quad (43)$$

$$M_B = C_{Db} \frac{1}{2} \rho (V \sin 30^\circ + \omega R)^2 A \cdot R - C_{Db} \frac{1}{2} \rho (V \cos 60^\circ + \omega R)^2 A \cdot R \quad (44)$$

Remplazando estos valores (43) y (44) en (42) se obtiene

$$\sum M_0 = C_{Da} \frac{1}{2} \rho (V - \omega R)^2 A \cdot R - C_{Db} \frac{1}{2} \rho (V \sin 30^\circ + \omega R)^2 A \cdot R - C_{Db} \frac{1}{2} \rho (V \cos 60^\circ + \omega R)^2 A \cdot R - M_R \quad (45)$$

Factorizando y simplificando se tiene

$$\sum M_0 = \frac{1}{2} \rho A R \left[ \left( C_{Da} - \frac{1}{2} C_{Db} \right) \cdot V^2 - (2\omega R (C_{Da} + C_{Db})) \cdot V + \omega^2 R^2 (C_{Da} - 2C_{Db}) \right] - M_R \quad (46)$$

Obteniéndose el polinomio de 2º grado, que da la velocidad del viento en función de la velocidad de giro:

$$\left( C_{Da} - \frac{1}{2} C_{Db} \right) \cdot V^2 - (2\omega R (C_{Da} + C_{Db})) \cdot V + \left[ \omega^2 R^2 (C_{Da} - 2C_{Db}) - \frac{2M_R}{\rho A R} \right] = 0 \quad (47)$$

Considerando que el momento de rozamiento es despreciable, se tiene que la velocidad es:

$$V = \omega R \frac{2(C_{Da} + C_{Db}) \pm 3\sqrt{2}\sqrt{C_{Da} C_{Db}}}{2C_{Da} - C_{Db}} \quad (48)$$

Con lo que finalmente:

$$V = K\omega \quad (49)$$

De la ecuación (49) se puede observar la dependencia de la velocidad del viento con la velocidad angular o velocidad de giro de las copelas.

#### 1.4.2 Sensor de dirección del viento

Una veleta de viento se usa para medir dirección de viento. El tipo de veleta de viento más familiar usa una aleta que se conecta a un eje vertical. La veleta constantemente busca una posición de equilibrio de fuerza encuadrándose en el viento, la Figura No. 14 parte superior muestra un ejemplo de este tipo de sensor, la mayoría de las veletas de viento usan un tipo de potenciómetro como

transductor cuya potencia de salida es una señal eléctrica a la posición de la veleta. Esta señal eléctrica se transmite por medio del cable a una tarjeta de adquisición de datos y relaciona las posiciones de la veleta a un punto de referencia conocido (normalmente norte, verdadero). Por consiguiente, la alineación (u orientación) de la veleta de viento a un punto de referencia especificado es importante, normalmente se usa este punto de referencia al norte.

La veleta proporciona un voltaje conocido a través del elemento del potenciómetro y entonces las medidas del voltaje donde el brazo limpio está en contacto con un elemento conductivo. La relación entre estos dos voltajes determina la posición de la veleta de viento. Este signo es interpretado por el sistema de la tarjeta que usa la relación y la compensación para calcular la dirección de viento real [6,9].



Fig. No. 14 Sensor DAVIS DS7911-00<sup>6</sup>

### **1.4.3. Sensor de temperatura**

Existen sensores que son capaces de medir temperatura, transformándola en una señal eléctrica. Algunos tipos muy usado de sensores de temperatura son:

---

<sup>6</sup> Red de estaciones meteorológicas para prevención de desastres en Manizales, Fernando Mejía Fernández

#### **1.4.3.1 Las termocuplas.**

Se denomina **termocupla** a la unión entre dos metales diferentes, que generan un voltaje eléctrico cuando se encuentran a una temperatura diferente a la temperatura ambiente. Es usado básicamente teniendo una temperatura de referencia.

#### **1.4.3.2 Termiododos y termotransistores.**

El voltaje en la unión de la base y el emisor depende de la temperatura y sirve como medida de la misma. Un método común es utilizar dos transistores con corrientes de colector diferentes y determinar la diferencia de sus voltajes base – emisor, la cual es directamente proporcional a la temperatura. Estos transistores se combinan con otros componentes de circuito en un solo *chip* para obtener un sensor de temperatura con su acondicionador de señal asociado, como es el caso del sensor LM35, el cual se puede usar en intervalos de -40°C a 110°C típicamente y produce una salida de 10mV/°C.

#### **1.4.3.3 Termistor**

Los termistores son aquellos sensores que son capaces de dar una indicación de la temperatura a través de la variación de su resistencia eléctrica. Existen dos clases de termistores: NTC y PTC.

##### **1.4.3.3.1 NTC**

Un Termistor NTC (Negative Temperature Coeficient) es una resistencia variable cuyo valor va decreciendo a medida que aumenta la temperatura. Son resistencias de coeficiente de temperatura negativo, constituidas por un cuerpo semiconductor

cuyo coeficiente de temperatura es elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura [10].

Se emplean en su fabricación óxidos semiconductores de níquel, zinc, cobalto, etc. la relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal sino exponencial:

$$R = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (50)$$

donde  $R_0$  y B son constantes que deben ser ajustadas y dependen del material y dimensiones del termistor; T es la temperatura en grados Kelvin y  $T_0$  es la temperatura correspondiente a  $R_0$ .

La característica tensión-intensidad ( $V/I$ ) de un termistor NTC presenta una característica peculiar ya que, cuando las corrientes que lo atraviesan son pequeñas, por lo tanto el consumo de potencia ( $R \times I^2$ ) será demasiado pequeña para registrar aumentos apreciables de temperatura, o lo que es igual, descensos en su resistencia ohmica; en esta parte de la característica, la relación tensión – intensidad será prácticamente lineal y en consecuencia cumplirá con la ley de Ohm [10][11].

Si se sigue aumentando la tensión aplicada al termistor, se llegara a un valor de intensidad en que la potencia consumida provocara aumentos de temperatura suficientemente grandes como para que la resistencia del termistor NTC disminuya apreciablemente, incrementándose la intensidad hasta que se establezca el equilibrio térmico. Ahora se encuentra, en una zona de resistencia

negativa en la que disminuciones de tensión corresponden aumentos de intensidad

#### **1.4.3.3.2 PTC**

Un termistor PTC (Positive Temperatura Coefficient) es una resistencia variable cuyo valor va aumentando a medida que se incrementa la temperatura. Y se utilizan en una gran variedad de aplicaciones: limitación de corriente, sensor de temperatura, desmagnetización y para la protección contra el recalentamiento de equipos tales como motores eléctricos. También se utilizan en indicadores de nivel, para provocar retardos en circuitos, como termostatos, y como resistores de compensación.

Este tipo de termistor pierde sus propiedades y puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llega a ser demasiado alta. Las aplicaciones de un termistor PTC están por lo tanto restringidas a un determinado margen de temperaturas. Hasta un determinado valor de voltaje, la característica ( $I/V$ ) sigue la ley de Ohm, pero la resistencia aumenta cuando la corriente que pasa por el termistor PTC provoca un calentamiento y se alcanza la temperatura de conmutación. La característica ( $I/V$ ) depende de la temperatura ambiente y del coeficiente de transferencia de calor con respecto a dicha temperatura ambiente.

#### **1.4.3.4 Modelo matemático del sensor de temperatura**

Para realizar el modelo del sensor consideremos que este tiene una masa  $m$  [Kg], un calor específico  $c$  [J/Kg ó C] y un área superficial  $A$  [m<sup>2</sup>] con la que intercambia calor con el medio. Durante la medición de temperatura, sea de un líquido o un

medio gaseoso, el sensor es inmerso completamente de modo que no intercambie calor con otro medio.

En el tiempo cero menos, la temperatura del sensor iguala a la del fluido

$$t = 0^- \quad T = T_F$$

$T_F$  Cambia súbitamente (Función paso)

$$t = 0^+ \quad T > T_F$$

La ecuación de equilibrio térmico es la siguiente:

$$\text{calor de entrada} - \text{calor se salida} = \text{Grado de cambio calorico del sensor}$$

Asumiendo que el calor de salida es cero se tiene: El calor de entrada es:

$$Q = hA(T_F - T) \quad (51)$$

Donde h: coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y el sensor [W/m<sup>2</sup> °C].

El aumento del contenido calórico del sensor [J] es:

$$mc[T - T(0^-)] \quad (52)$$

La tasa de aumento del contenido calórico del sensor [J/s] es:

$$mc \frac{d}{dt} [T - T(0^-)] \quad (53)$$

Definiendo  $\Delta T = T - T(0^-)$  y  $\Delta T_F = T_F - T_F(0^-)$  tenemos la siguiente ecuación diferencial de primer orden:

$$hA(\Delta T_F - \Delta T) = mc \frac{d}{dt} \Delta T \quad (54)$$

$$\tau \frac{d}{dt} \Delta T + \Delta T = \Delta T_F \quad (55)$$

Donde:

$$\tau = \frac{mc}{hA} \quad (56)$$

Utilizando la transformada de Laplace para resolver la ecuación diferencial, se obtiene la función del sensor:

$$\tau[s\Delta T(S) - \Delta T(0^-)] + \Delta T(s) = \Delta T_F(s) \quad (57)$$

Con  $\Delta T(0^-) = 0$ , resulta:

$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta T_F(s)} = G(s) = \frac{1}{\tau \cdot s + 1} \quad (58)$$

La cual describe el comportamiento dinámico de un sistema de primer orden.

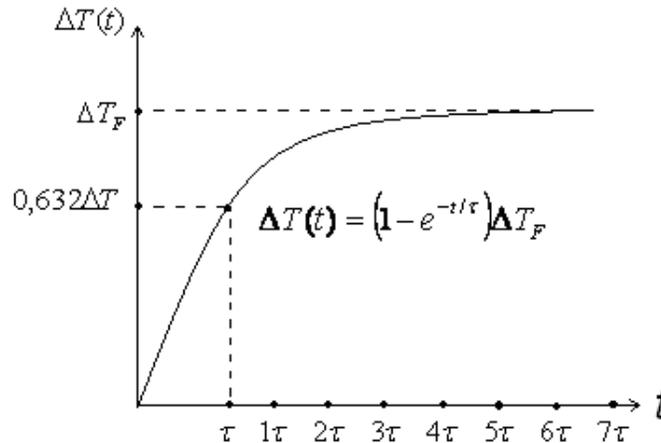


Figura. No. 15. Curva de respuesta de la ecuación del sensor<sup>1</sup>.

En la figura No.15 se muestra la respuesta correspondiente a la anterior ecuación, frente a una función paso de entrada. La curva alcanza el 63.2% del valor final ( $\Delta T_F$ ) cuando  $t = \tau$ , se observa también que para valores de  $t \geq 5\tau$  la medida que entrega el sensor se acerca a un 90% al valor real, por lo que se toma un valor

confiable de la medida para un tiempo de  $4\tau$  . Esto se hace normalmente, ya que se llega al estado estable solo cuando  $\tau = \infty$  [7].

#### **1.4.4 Sensor de presión atmosférica**

Un barómetro es un dispositivo que mide la presión atmosférica (barométrica). Hay varios sensores de presión barométricos la mayoría de ellos emplea un transductor piezoeléctrico que proporciona un rendimiento estándar a una tarjeta. Este tipo de sensor puede requerir una fuente externa de potencia para su apropiado funcionamiento.[8]

##### **1.4.4.1 Sensores de presión con semiconductores**

Una variación de presión sobre una membrana, hace actuar un único elemento piezo-resistivo semiconductor.

Al aplicar presión al diafragma, se produce un cambio de resistencia en la galga extensiométrica, que causa a su vez un cambio en el voltaje de salida en proporción directa a la presión aplicada. La galga extensiométrica es una parte integral del diafragma de silicio, y por lo tanto no se introducen los errores típicos debidos a diferencias de expansiones térmicas. No obstante, los parámetros de salida de la galga extensiométrica dependen de la temperatura, sin embargo, se requiere que el dispositivo esté compensado si se utiliza sobre un rango de temperatura extensa. Una red simple de resistencias se puede utilizar para un rango estrecho de temperatura,

## **2. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA METEOROLOGICO.**

### **2.1 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA METEOROLOGICO BASICO.**

Una estación meteorológica se encarga de medir diversas magnitudes ambientales (velocidad y dirección del viento, humedad, temperatura, luz, presión, etc.) para almacenarlas en rangos de tiempos de 1, 2 y 5 minutos, dependiendo del tipo de estudio a realizar (se utiliza generalmente tiempos de 1 min. ya que de estos se pueden hacer promedios para cualquier otra medida) y/o mostrarlas a un usuario y transmitir los datos obtenidos por los diferentes sensores meteorológicos para ser analizados por una persona encargada (meteorólogo) y así poder realizar diferentes estudios y/o predicciones sobre el clima (Figura. No. 16).

Éste tipo de estaciones son muy frecuentes y necesarias en zonas de alta accidentalidad como lo son los departamentos del Cauca, Caldas, Valle, entre otros, debido a sus antecedentes. En el Cauca se puede observar en la Universidad del Cauca, estación a cargo del grupo GEA (Grupo de estudios ambientales). En Caldas, en la Universidad de Caldas a cargo del Ingeniero Marino Javier Rivera.

Algunas estaciones meteorológicas son capaces, también, de enviar y recibir información vía radio de una unidad externa y/o base de datos general.

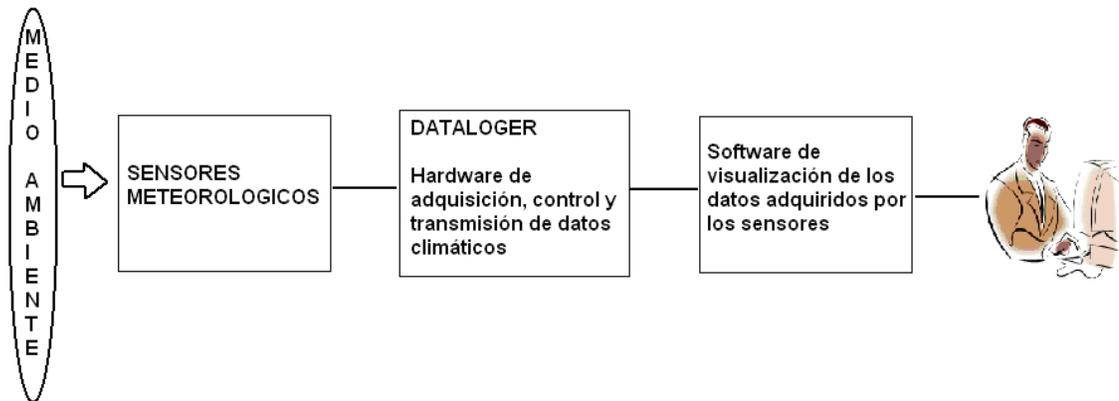


Figura No. 16 Diagrama de bloques de una estación meteorológica

## 2.2 REQUERIMIENTOS

Una vez conocido el funcionamiento básico de un sistema meteorológico general, se dio inicio al diseño y construcción del prototipo de estación meteorológica. Para esto se hizo necesario considerar algunos requerimientos. Un sistema general es muy completo, el cual sensa muchos fenómenos físicos mencionados anteriormente, lo cual es de gran complicación su implementación, ya que el factor económico influye notablemente.

### 2.2.1 Condiciones ambientales

El principal requerimiento de este sistema se encabeza en construir un sistema que solo monitoreara 4 variables físicas, (velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura ambiente y dirección del viento) ya que la zona de Popayán tiene una geografía montañosa, donde estas variables durante todo el año son muy inestables, por otro lado físicamente estas variables, están relacionadas entre si y meteorológicamente son de gran importancia para la predicción del clima sin desmeritar las otras.

### **2.2.2 Rangos de trabajo de los sensores**

Las magnitudes de las variables climáticas a medir no son muy amplias, para lo cual los sensores meteorológicos no tienen que tener un gran rango de trabajo, pero deben trabajar bajo condiciones ambientales extremas, donde se obligan a responder de una manera eficiente, debido a posibles eventualidades. Según observaciones y análisis en la ciudad de Popayán, estas magnitudes pueden oscilar alrededor de los siguientes rangos para cada variable.

- Rango de temperatura: de 8 a 33 °C
- Rango de presión: de 75 – 90 Kp (Kilopascales)
- Rango de velocidad del viento: 0 – 50 Km/h
- Rango de dirección del viento: abarca todas las direcciones 0° – 360°

En condiciones ambientales extremas, estos rangos pueden variar de acuerdo a los siguientes valores.

- Rango de temperatura: de -20 a 45 °C
- Rango de presión: de 50 – 110 Kp (Kilopascales)
- Rango de velocidad del viento: 0 – 90Km/h
- Rango de dirección del viento: abarca todas las direcciones 0° – 360°

### **2.2.3 Tiempo de respuesta de los sensores**

En meteorología los tiempos de respuesta de los sensores son del orden de 1 minuto, este es un tiempo muy grande relativamente. Ya que para efectos de estudios meteorológicos, no se requieren que los sensores respondan en intervalos de tiempos cortos.

#### **2.2.4 Compacto**

Este requerimiento es propio de este trabajo, ya que se quiere crear una estación meteorológica móvil que sea de fácil transporte, instalación, y manejo; Donde se pretende utilizar una memoria interna en el sistema para almacenar los diferentes tipos de datos, y ser llevados a un análisis posterior.

#### **2.2.5 Presupuesto**

Este requerimiento es de gran importancia ya que no se cuenta con gran presupuesto, debido a que será financiada por recursos propios, y se pretende construir una estación económica respecto a las otras, para lograr una competitividad mediante este factor, por conocimiento la estación perteneciente a la Universidad del Cauca, fue adquirida por la suma de aproximadamente \$ 28`000.000 de pesos y se pretende bajar este valor lo máximo posible.

### **2.3 CONCEPCIÓN DEL SISTEMA A CONSTRUIR**

El prototipo de estación meteorológica a desarrollar, será capaz de medir temperatura ambiente presión atmosférica, la velocidad y dirección del viento, Los cuales son almacenados en una memoria interna, en rangos de tiempo de 1 minuto. Además, se encarga de mostrar la información a un usuario mediante un display LCD en tiempo real, controlada por un teclado con opciones de menú. Y mediante un PC descargar los datos utilizando una interfaz gráfica para crear una base de datos para un futuro análisis.

El sistema a realizar será capas de ejecutar diferentes acciones al mismo tiempo según lo dicho anteriormente, con lo que se pretende utilizar un microcontrolador

para facilitar estas funciones. Teniendo en cuenta esto y todos los requerimientos previstos se dio el paso al desarrollo del diseño.

## **2.4 DISEÑO DEL SISTEMA**

Este sistema consta de tres etapas importantes las cuales son: Escogencia de sensores para la medición meteorológica, Diseño del hardware para adquisición y transmisión de datos climáticos y desarrollo del software de visualización y almacenamiento de los datos adquiridos. Estas etapas se pueden observar en la figura No 16 que representa la de un sistema meteorológico básico.

### **2.4.1 Sensores para la medición meteorológica según su requerimiento.**

Esta etapa señala el diseño del conjunto de sensores climáticos y los principios físicos aplicados a cada uno de ellos para su funcionamiento adecuado. Cada uno de los sensores emplea un transductor característico que transforma la señal climática análoga presente en el ambiente, en otra con niveles cuantificables de voltaje, adecuados a los requerimientos

#### **2.4.1.1 Sensor de temperatura.**

Para la observación de la temperatura se emplean muchos tipos diferentes de termómetros. En la mayor parte de los casos, un termómetro normal que abarque un rango habitual de temperaturas es más que suficiente. Es importante situarlo de modo que queden minimizados los efectos de los rayos solares durante el día y la pérdida de calor por radiación durante la noche, para obtener así valores representativos de la temperatura del aire en la zona a medir.

Un típico sensor de la temperatura del aire del ambiente está conformado por tres partes: el transductor, un dispositivo de la interfase, y un escudo o casilla de protección contra la radiación. El transductor contiene un elemento material (normalmente níquel o platino) con una relación conocida entre su resistencia y temperatura, los cuales son llamados Termistores, detectores térmicos de resistencia (RTDS) [6].

#### **2.4.1.1.1 Sensor DAVIS DS7817**

El Sensor de Temperatura DS7817 se usa para medir las temperaturas del aire, agua, o tierra, y puede usarse en cualquier parte donde un sensor de temperatura fiable y económico se requiera. El sensor se encapsula en una gorra de vinilo para la protección contra la radiación directa. Es de tipo termistor de alambre de platino, el cual produce un cambio de resistencia proporcional a la temperatura. Presenta un terminal de conexión tipo conector modular RJ 11. Con una alimentación de tensión de 5 V y tierra. Se puede observar en la figura No. 17.



Figura No. 17 Sensor de temperatura DS7817

El rango de funcionamiento del sensor DS7817 es de  $-45^{\circ}$  a  $60^{\circ}\text{C}$  con una exactitud de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , condiciones que cubren los requerimientos mínimos del sistema, como se puede observar en el anexo No. 1

Para asegurar las lecturas exactas al medir la temperatura del aire libre, el Sensor de Temperatura DS7817 debe escudarse de la luz del sol directa y otras fuentes de reflejó o radiación de calor.

#### 2.4.1.1.2 Acondicionamiento de la señal del DS7817

El sensor DS7817 es de tipo termistor de alambre de platino, como se dijo anteriormente, donde su resistencia varía con la temperatura. La ecuación No. 50 describe el comportamiento de un sensor de tipo termistor NTC, donde la resistencia varía exponencialmente respecto a la temperatura. Según las especificaciones del sensor, esta variación se representa en la figura No. 18

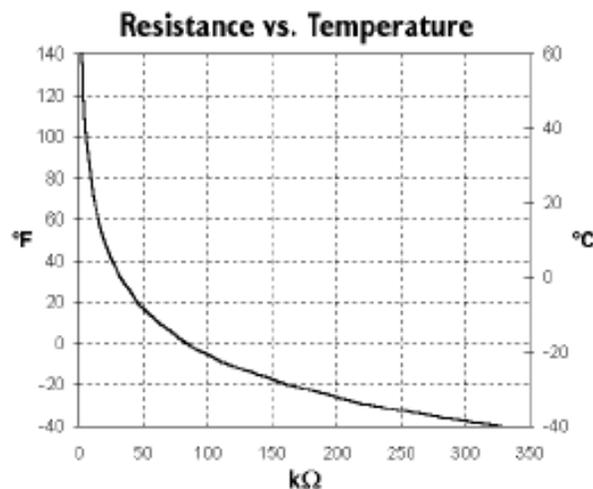


Figura No. 18 variación de la resistencia con la temperatura de un DS7817<sup>7</sup>

La señal entregada por el sensor es análoga, por lo que se requiere una etapa de acondicionamiento digital. Para la conexión del sensor de temperatura, se tiene en cuenta los datos del fabricante, este sensor contiene un Terminal RJ11 con 4

---

<sup>7</sup> Data sheet DS7817 Davis

cables de conexión de los cuales el rojo y negro se conectan a Vcc y GND respectivamente, el verde y amarillo miden la temperatura en función del cambio de resistencia el cual, se conecta al ADC donde se digitaliza la señal, como se indica en la Figura No. 19

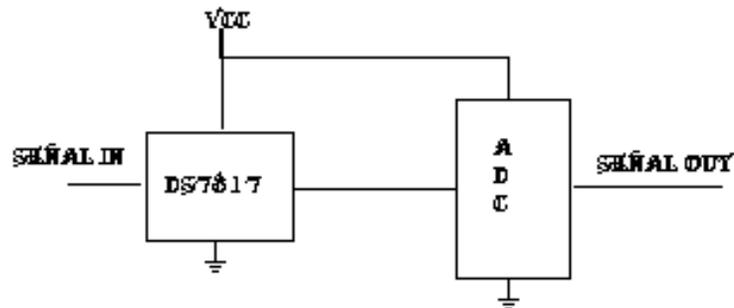


Figura No. 19 Acondicionamiento de la señal DS7817

#### 2.4.1.2 Sensor de presión atmosférica

*Infineon* y *Motorola* fabrican una serie de sensores de presión con semiconductores, cuyas prestaciones y su bajo precio son parte de la tecnología asociada. Un diseño único dotado de un ajuste con láser controlado por ordenador, hace que estos dispositivos sean altamente competitivos.

##### 2.4.1.2.1 Sensor Motorola MPX4115

El funcionamiento de los sensores de presión de la serie MPX de *Motorola* está basado en el diseño patentado del calibrador de fuerza. A diferencia de los sensores de presión más convencionales que utilizan las cuatro resistencias exactamente apareadas en una configuración de puente de Wheatstone, la serie MPX utiliza solamente un único elemento piezoresistivo implantado en un diafragma de silicio que censa la tensión mecánica inducida en el diafragma por

una presión externa. La salida es un voltaje analógico proporcional a la presión de entrada y al voltaje de alimentación. La alta sensibilidad y una excelente repetitibilidad a largo plazo, hacen que sean las unidades más apropiadas para la mayoría de aplicaciones.

Los sensores de presión MPX están disponibles como un elemento sensor básico, con calibración y compensación de temperatura interno o con un circuito de acondicionamiento de señal completo incluido en el chip. El empleo de unidades sin la compensación de la temperatura permite realizar una compensación externa al grado deseado. Además tiene la capacidad para medición de presiones en modo *diferencial, absoluto, o manométrica*.

La precisión es muy buena debido al ajuste de las resistencias de calibración y compensación con láser, controlado por ordenador, dando la medición de presión muy exacta sobre un rango amplio de temperatura. El efecto de la temperatura es típicamente  $\pm 0.5\%$  del fondo de escala, sobre un rango de temperatura de 0 a 85 °C, mientras que el efecto sobre la tensión de offset, sobre un rango de temperatura similar, es de  $\pm 1$  mv como máximo.

El MPX4115, sensor absoluto, tiene una entrada de referencia al vacío, es decir, la tensión de salida es mínima en el vacío y no a presión ambiente. El voltaje de salida diferencial del sensor (0 a 5 V), aumenta linealmente con el aumento de la presión aplicada del sensor.

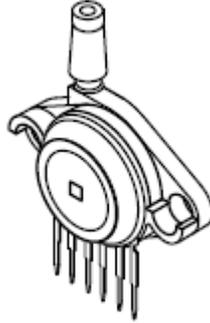


Fig. No. 20 Sensor de la familia Motorola MPX4115<sup>8</sup>

#### 2.4.1.2.2 Acondicionador de la señal interna

*Motorola* ha integrado circuitos dentro del sensor, además de la compensación y calibración en temperatura en el chip con la serie MPX2000, ofrece actualmente un acondicionador de la señal con un amplificador que se ha integrado en el chip de la serie MPX4115 para permitir una interconexión directa a cualquier microcontrolador que tenga un convertidor A/D.

Su conexión es muy sencilla se compone de 6 pines como lo muestra la Figura No. 20 los cuales se conectan como lo indican la Tabla No 1, La conexión de los pines 4, 5, y 6 son internos por lo que no se deben conectar

Tabla No 1 Pines de conexión del sensor de Presión atmosférica

<b>Números de pines del sensor MPX4115</b>			
1	Vout (Voltaje salida)	4	No Conexión
2	Gnd (tierra)	5	No Conexión
3	Vs (Voltaje Entrada)	6	No Conexión

---

<sup>8</sup> Data sheet MPX4115 Motorola

La Conexión y acoplamiento de la señal de este sensor se muestra en la figura No. 21 donde se realiza un filtro para minimizar el ruido pertinente Figura No. 22 y su señal se digitaliza para su procesamiento.

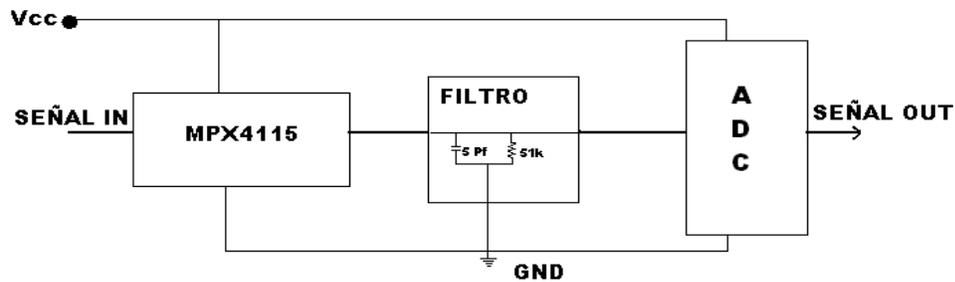


Figura No. 21 Acondicionamiento de la señal MPX4115

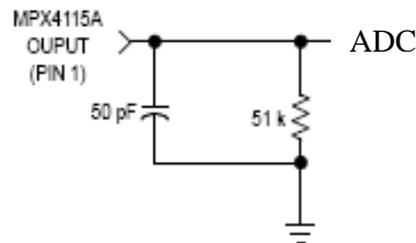


Figura No. 22 Filtro para conexión del sensor MPX4115

### 2.4.1.3 Sensor de velocidad y dirección del viento

Una veleta de viento se usa para medir la ***dirección del viento***. El tipo de veleta de viento más familiar usa una aleta que se conecta a un eje vertical. La veleta constantemente busca una posición de equilibrio de fuerza encuadrándose en el viento. La mayoría de las veletas de viento usan un tipo de transductor potenciómetro cuya potencia de salida es una señal eléctrica proporcional a la posición de la veleta.

***La velocidad del viento*** se mide por medio de un anemómetro, un instrumento que consiste en tres o cuatro semiesferas huecas montadas sobre un eje vertical.

El anemómetro gira a mayor velocidad cuanto mayor sea la velocidad del viento, y se emplea algún tipo de dispositivo para contar el número de revoluciones y calcular así su velocidad.

Existen sistemas que involucran estos dos tipos de sensores en un mismo sensor o sistema, esto hace que se su precio sea inferior a otros y sea de menos complicación la ubicación del mismo en un sistema meteorológico. Un sensor de este tipo es el DAVIS DS7911

#### **2.4.1.3.1 Sensor anemómetro DAVIS DS7911**

Este sensor se compone de dos tipos de sensores, el de velocidad del viento y el de dirección del viento, lo que lo hace ideal por la simplicidad y por su bajo presupuesto frente al que presentan los mismos sensores por separado, por estas características se adapta perfectamente a las necesidades planteadas para este proyecto. El sensor se puede observar en la Figura No. 14.

- *El sensor de velocidad del viento* es de tipo copelas donde la velocidad del viento varia de acuerdo a la velocidad de giro del sensor, entregando pulsos por segundo proporcionales a la velocidad del viento. Con un rango de medición de 0 a 280 Km./h con una exactitud del  $\pm 5\%$ , y una resolución de 1 Km./h, para un tiempo de respuesta de 2.25 segundos.
- *El sensor de dirección del viento* es de tipo hélice donde la dirección del viento varía en función de la dirección angular de un potenciómetro que abarca un ángulo de 0 a 360° generando una diferencia de potencial, con lo que la dirección varia en función del voltaje, así para un ángulo entregado por el sensor, este entrega un voltaje que varia de 0 a 5V correspondiente a la

dirección del viento, con una exactitud de  $\pm 7^\circ$  y una resolución de  $1^\circ$  con  $22.5^\circ$  entre los puntos del compás. El tiempo de respuesta del sensor es de 8 a 9 segundos.

El sensor DS7911 en conjunto presenta un terminal de conexión tipo RJ 11, un peso de 2 lb y dimensiones 18.5" de largo x 7.5" de alto x 4.75" de ancho, Estas y otras características se pueden observar en el anexo 3. Su alimentación es de 5 voltios y tierra.

#### **2.4.1.3.2 Acondicionamiento de la señal**

Las señales entregadas por el sensor DS7911, es análoga para el sensor de dirección del viento, donde varía en función de la diferencia de potencial generado por la variación de la resistencia del potenciómetro, y digital la entregada por el sensor de velocidad del viento, en este caso entrega pulsos los cuales son contados para observar la cantidad de vueltas que da el sensor en un determinado tiempo. Por estos motivos se requiere introducir por separado estas dos señales y generar una etapa de acondicionamiento de señal para cada variable, y así trabajar sobre cada una de ellas. Este sensor contiene un Terminal RJ11 con 4 cables de conexión de los cuales el amarillo y verde se conectan a Vcc y GND respectivamente, verde la salida análoga de dirección del viento que varía de 0 a 5V y Negro los pulsos de salida del anemómetro para su conteo los cuales indican la velocidad del viento.

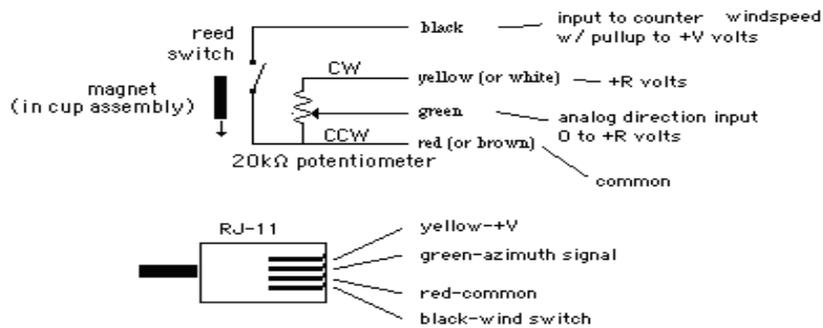


Figura No. 23 Terminal del sensor DS7911<sup>9</sup>

#### 2.4.1.3.2.1 Acondicionamiento de la señal del sensor de velocidad del viento.

Para acoplar la señal entregada por el sensor DS7911 de velocidad del viento el cual genera pulsos por unidad de tiempo, es necesario realizar el conteo de estos mediante un microcontrolador, para lo cual se desarrolla una interfaz que permite transformar el conteo de los pulsos a la siguiente ecuación:

$$1 \text{ mph} = 2.25 * \text{pulsos} / \text{segundo} \quad (59)$$

Este interfaz se presenta en el siguiente circuito mostrado en la figura No. 24 el cual es entregado por la casa del fabricante "DAVIS". Este tipo de adaptador sirve para los sensores anemómetro DAVIS modelos DS7911, DS7913, DS7914 y DS6410.

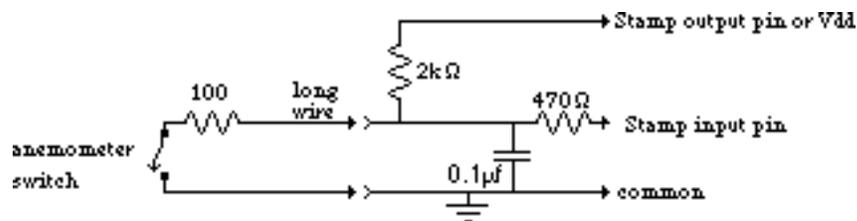


Figura No. 24 Circuito interfaz para sensor DAVIS DS7911 de velocidad del viento<sup>9</sup>

<sup>9</sup> [www.Emesystems.com/ol2wind.html](http://www.Emesystems.com/ol2wind.html)

El diseño o acondicionamiento de la señal para este sensor, se muestra en el siguiente diagrama de bloques, figura No. 25

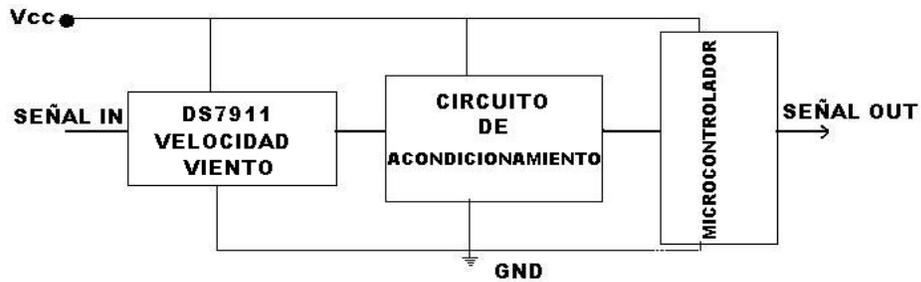


Figura No. 25 Acondicionamiento de la señal DS7911 para velocidad del viento

#### 2.4.1.3.2.2 Acondicionamiento del la señal del sensor de dirección del viento.

El sensor DS7911 consta de un potenciómetro el cual produce un voltaje entre 0 y 5 V que varía linealmente con el ángulo (acimut) Esta configuración requiere tres conectores en un cable entregado por el anemómetro, con un terminal RJ11, estos son: Vcc, GND y el voltaje entregado por la variación del ángulo que varia de 0 a 5V según la dirección y que se convierte en un valor digital a través de un ADC que entra al PIC; como lo indica la figura. No. 26

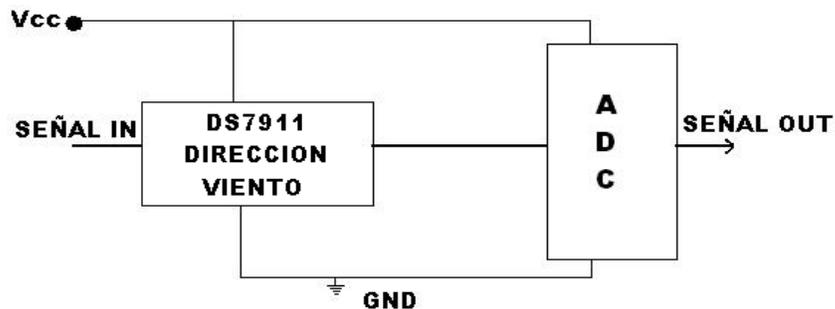


Figura No. 26 Acondicionamiento de la señal DS7911 para dirección del viento

El potenciómetro en el sensor está libre de moverse 360 grados, pero hay una banda muerta de cerca de 10 grados en el punto de cruce en el recorrido del potenciómetro. Según las indicaciones La figura No. 27, la señal de salida es 0 voltios para 5 grados antes de que la señal comience a crecer linealmente y el voltaje es máximo con 5 grados en el otro extremo del recorrido. Por simplicidad se utiliza  $10^\circ$  para el factor de la calibración de la banda muerta.

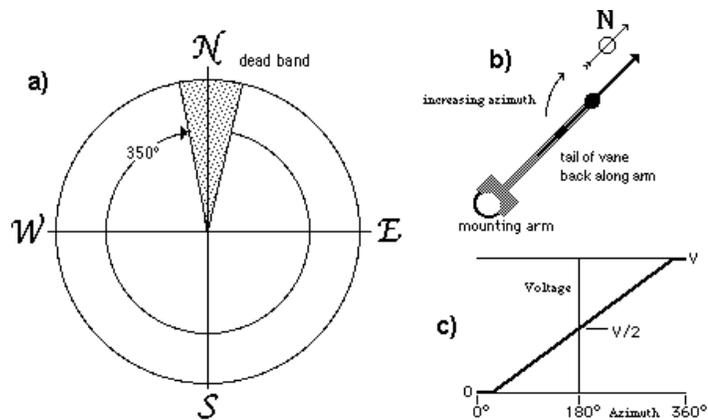


Figura No. 27 Configuración de dirección del viento, a) banda muerta de alrededor de  $10^\circ$  b) dirección nominal norte o cruce por cero C) Linealidad de dirección en función del voltaje obtenido<sup>9</sup>

## 2.4.2 Diseño del hardware para adquisición, y transmisión de datos climáticos

Toda estación Meteorológica porta un data logger en el cual se obtienen los datos de los fenómenos físicos de estudio, donde se realiza la adquisición, adecuación y transmisión de estos. También se puede obtener una visualización en tiempo real de estas variables.

Para el procesos de adquisición, se utiliza un conversor de señal ya que los sensores meteorológicos pueden entregar señales analógicas y/o digitales, para poder adecuar estas señales y/o mostrar en tiempo real mediante un display, este proceso se lo puede realizar mediante un microcontrolador ya que contiene internamente un ADC, se puede también realizar ajustes internos de las señales obtenidas, y además guardar los datos en una memoria interna, para posteriormente trasmitirlas a través de un software hacia un PC.

La tarea del microcontrolador es la de realizar la adquisición de datos a través del conversor análogo digital (ADC), acondicionamiento de estos datos y almacenarlos en su memoria interna para luego ser enviados a través del circuito integrado MAX232 que realiza la conexión de comunicación al PC.

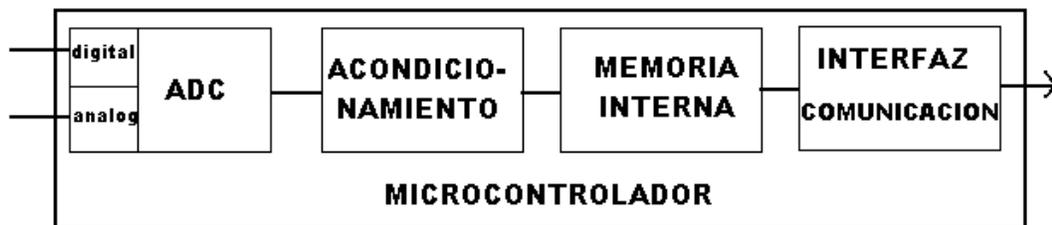


Figura No. 28 Microcontrolador

#### 2.4.2.1 Microcontrolador PIC18F452

Es el elemento encargado del control de datos y del manejo de la información del sistema Fabricado por Microchip

##### 2.4.2.1.1 Criterio de selección del microcontrolador pic18f452

Este es un microcontrolador de tecnología CMOS de 8 bits y 40 pines. Teniendo en cuenta las siguientes características se escogió este microcontrolador:

- Operación de voltaje amplio (2.5V- 6.0V)
- Conversor análogo-digital
- Altas velocidades de reloj.
- Reprogramable.
- Interfase disponible SCI (Interfase Comunicación Serial)
- Memoria de programa hasta 32kB
- Modulo USART: (Transmisión Recepción síncrono Asíncrono Universal)
- Relativamente económico.

Aparte de este sistema existe un menú de interacción con el usuario el cual se visualiza a través de un display LCD y controlado por medio de un teclado matricial con conexión al microcontrolador

#### **2.4.2.2 Visualización de datos**

La visualización de los datos adquiridos se realiza en tiempo real por medio de un display LCD con su respectivo menú controlado por un teclado hexadecimal

##### **2.4.2.2.1 Modulo LCD**

Se usa un módulo capaz de representar 2 líneas de 16 caracteres cada una a través de 8 líneas de datos, se le envía el carácter ASCII que se desea visualizar así como ciertos códigos de control que permiten realizar diferentes efectos de visualización. Igualmente mediante estas líneas de datos el módulo devuelve información de su estado interno. Con otras tres señales adicionales se controla el flujo de información entre el módulo LCD y el equipo informática que lo gestiona. En el anexo No. 5 se observa la descripción para su conexión para este tipo de

LCD. Este display es controlado a través de un teclado matricial el cual indica que datos de variables mostrar y/o cuando empezar a guardar datos.

#### **2.4.2.2.1 Teclado matricial**

El teclado matricial 4 x 4. Se trata del periférico de entrada por excelencia que va a permitir introducir todo tipo de datos para su posterior procesamiento. Con este teclado se controla el menú de operación, el cual indica que variable se desea observar al usuario, cuando inicia a funcionar el sistema y como operar.

#### **2.4.3 Desarrollo del software de visualización y almacenamiento de los datos adquiridos**

Es la última etapa conformada por un software el cual se desarrollo en Visual Basic para la adquisición y visualización de los datos obtenidos y transmitirlos hacia una PC, para generar una base de datos y posteriormente un estudio en los centros de acopio. Este software se describe mas adelante con mayor detalle.

#### **2.4.4 Diseño prototipo de la estación meteorológica**

Teniendo en cuenta las tres etapas anteriormente descritas. Se obtiene el diseño que se utiliza para la construcción del sistema prototipo de estación meteorológica, la cual se representa a continuación. Figura No. 29 donde se acopla cada conexión del sensor descrito, utilizando el microcontrolador como herramienta de adquisición de datos entregados por los sensores y donde se hace un control de datos, y transmisión de estos, paralelamente, se entregan estos a una LCD y se controla un menú de operaciones mediante un teclado hexadecimal.

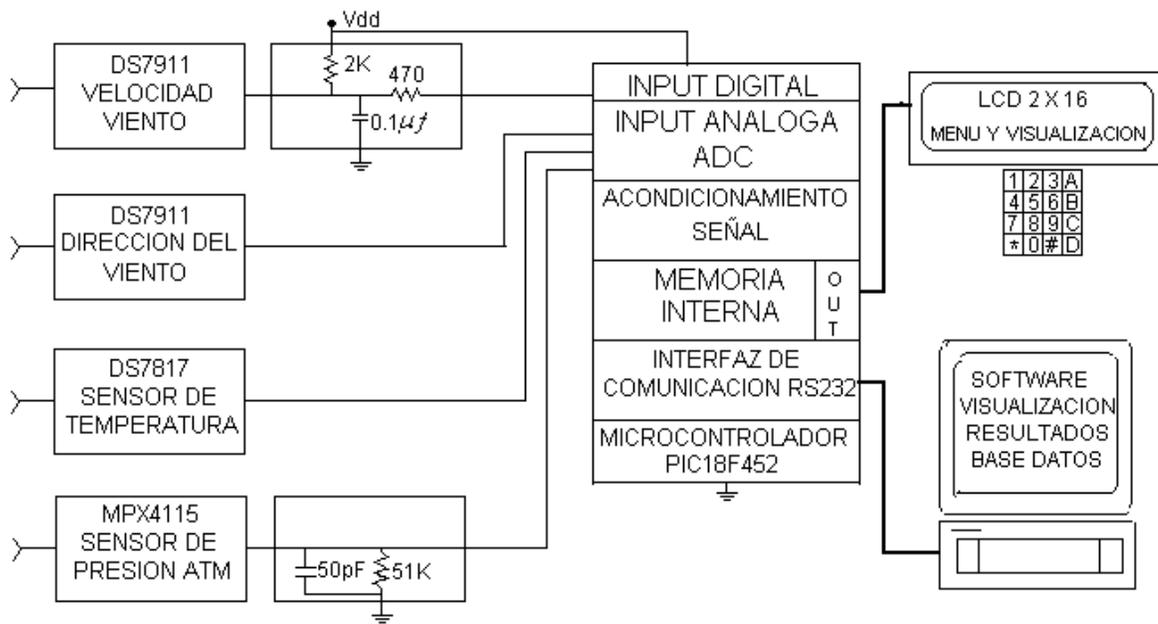


Figura No. 29 Diseño de la estación meteorológica

#### 2.4.5 Mecanismo general del sistema prototipo meteorológico

El sistema se encarga de tomar los datos entregados por los sensores de los diferentes fenómenos físicos, donde se filtran estas señales para algunos sensores; posteriormente se envían a un convertidor análogo digital para poder digitalizarlas y realizar su adecuación, los datos adquiridos son guardados en la memoria interna del microcontrolador para poder ser observadas en tiempo real mediante el display. Los datos obtenidos se manejan por medio de un menú activado por un teclado matricial, y/o son entregadas a través de un puerto de comunicación RS 232 hacia un PC por medio de un software de visualización donde se crea una base de datos. Como lo indica el diagrama de flujos mostrado en la Figura No. 30 el cual representa el mecanismo general del sistema. Este depende de la opción del menú para poder controlar la operación que se desea realizar con los datos adquiridos.

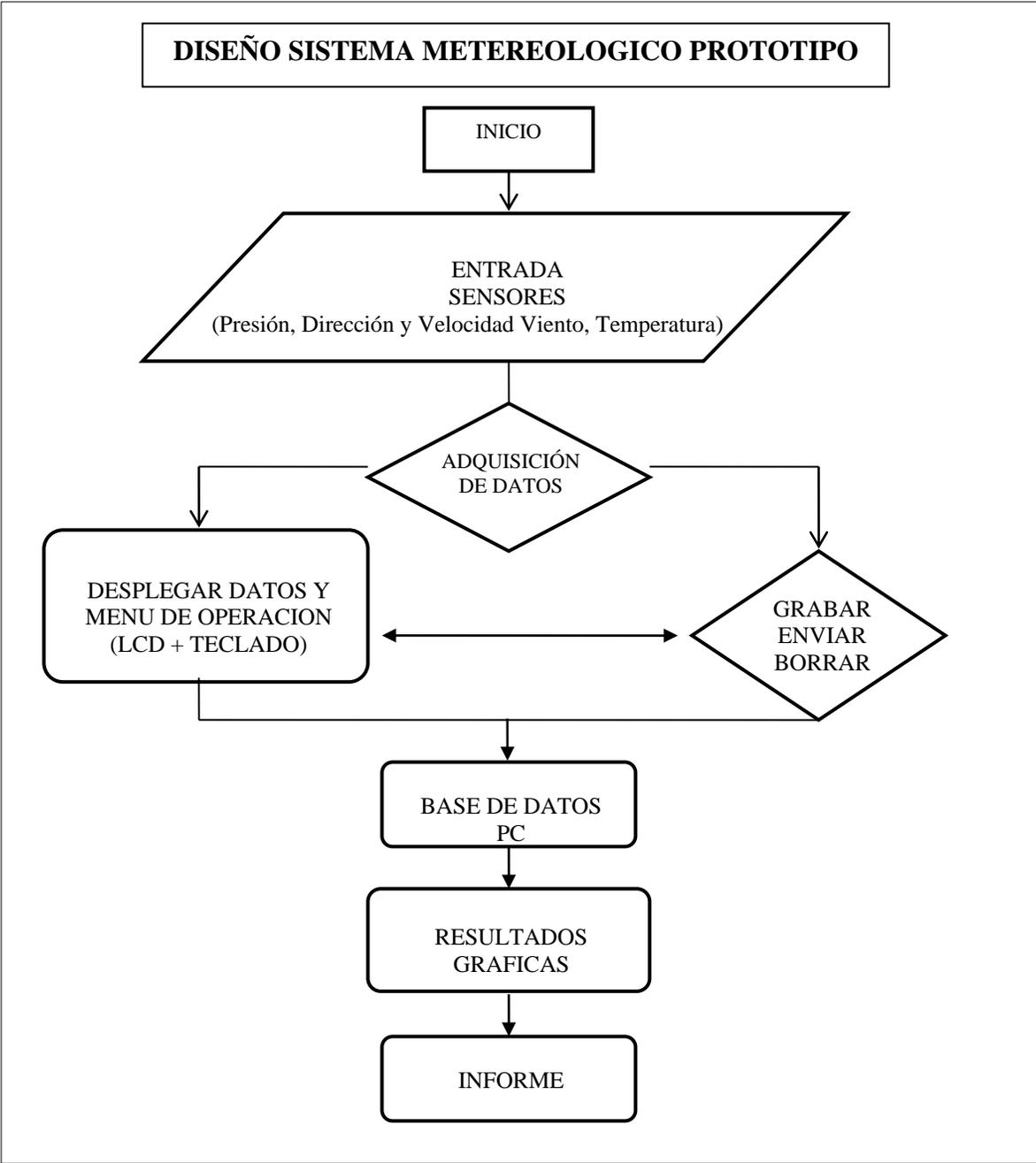


Figura No. 30 Diagrama de bloques del mecanismo general del sistema

### **3. CALIBRACION DE LOS SENSORES Y ADECUACION DEL SISTEMA METEOROLOGICO.**

Una vez conocido los requerimientos y el funcionamiento de esta estación meteorológica se procede su construcción, para lo cual se requiere como primera medida la calibración de cada uno de los sensores del sistema por separado.

La calibración es el proceso de ajuste, control o determinación de la escala de un instrumento contra un estándar conocido. La fiabilidad y utilidad de todos los datos derivados de cualquier analizador de la medida depende principalmente de su estado de calibración.

Básicamente lo que se hace con el proceso de calibración de los sensores, es asegurar que estos trabajen en los rangos de operación adecuados; lo primero a tomar en cuenta es la caracterización de cada sensor por separado para observar su rango de funcionamiento.

Una vez obtenido la perfecta calibración de estos se procede al desarrollo del hardware “data Logger” donde, conociendo las especificaciones del microcontrolador a utilizar se conecta y acondiciona todo lo necesario para obtener un perfecto funcionamiento, lo que le permite obtener lecturas confiables de su entorno. De igual forma se consideran también las señales de Entrada/Salida y la alimentación de los sensores incorporados al sistema; los diferentes módulos del microcontrolador que se utiliza y sus respectivos pines. A continuación se describe la calibración de cada sensor y por último se efectúa el diseño de la placa del circuito impreso para ensamblar todos los componentes y obtener el prototipo deseado junto con el desarrollo de la aplicación descarga y visualización de los datos.

### 3.1. CALIBRACIÓN Y ADECUACIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA

Como se indicó, el sensor de temperatura que se empleó es de la casa DAVIS de tipo termistor NTC, para su calibración se realizaron los siguientes pasos:

Ajuste de los parámetros de la expresión teórica (ecuación xx) que proporciona el valor de la resistencia  $R$  de un termistor en función de su temperatura  $T$ . en este paso se utiliza una taza con agua en la cual se sumerge el termistor para un valor de temperatura controlado y fijo. La temperatura  $T$  del agua se mide con un termómetro digital de termocupla suministrado por el laboratorio de ingeniería física de la Universidad del Cauca y la resistencia  $R$  del termistor con un multímetro digital; así se determinan las constantes desconocidas  $R$  y  $T$ .

Este procedimiento proporciona valores para la resistencia  $R_0$  del termistor al aplicar a este una temperatura  $T_0$ . Al linealizar la ecuación 50 se obtiene la expresión:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) + \frac{1}{T_0} \quad (60)$$

La cual representa una ecuación lineal de la forma  $Y = mX + b$  en donde la pendiente está dada por el coeficiente del logaritmo natural del parámetro en función de la resistencia del termistor.

De la expresión anterior es fácil inferir un procedimiento simple para determinar el valor experimental del término  $\beta$  el cual consiste en sumergir el termistor, previamente conectado al multímetro, en un vaso con agua fría y tomar la lectura

de la temperatura del agua y de la resistencia del termistor; seguidamente se eleva gradualmente la temperatura del agua y se toman las lecturas respectivas. La temperatura del agua fue elevada gradualmente entre 0 y 60 grados centígrados.

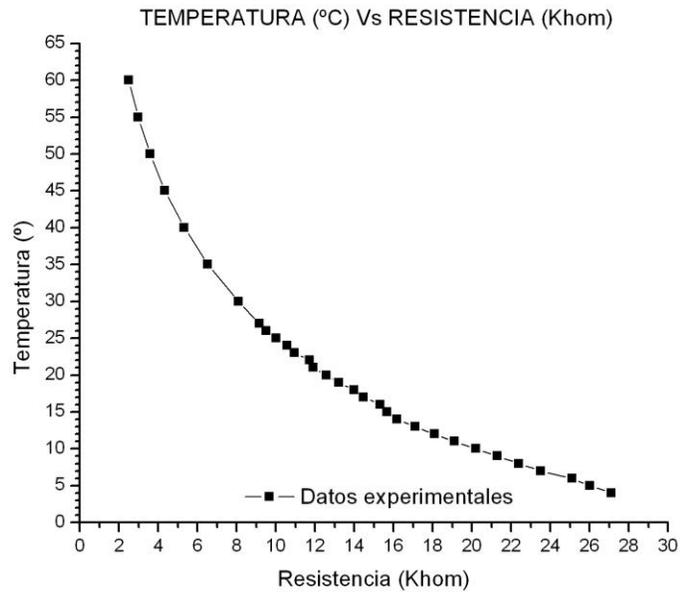


Figura No. 31 Grafica de Temperatura vs. Resistencia; indica la variación que tiene el sensor DS7817 y representa una función exponencial

En la Figura No. 31 se puede observar la relación de temperatura en función de la resistencia que responde a una ecuación exponencial en R. Para linealizar esta expresión se aplica la función  $\ln(X)$  a los valores de la variable Resistencia y se obtiene una función de tipo  $Y = mX + b$  que corresponde a una función lineal. Esta función se representa en la figura No. 32.

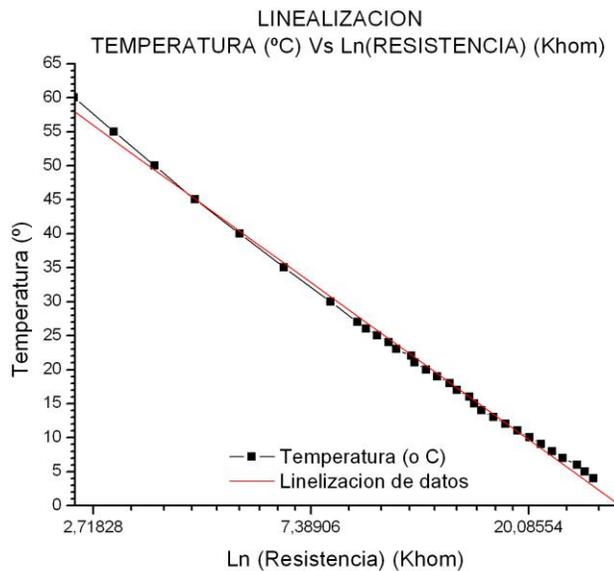


Figura No. 32 Representación lineal del sensor de temperatura aplicando Ln (x)

### 3.2 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES DE DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO

Las especificaciones entregadas por el fabricante para el anemómetro garantizan una precisión de  $\pm 0,3$  a  $0,5$  m/s (o 3 a 5% desde 15 m/s).

#### 3.2.1 Calibración del anemómetro (velocidad del viento)

La calibración, es la etapa final y esencial del proceso, que permitirá poder hacer uso del anemómetro.

Para esto se utilizó un ventilador con diferentes niveles de velocidad y un sistema de mediciones de esta variable que fue suministrado en forma de préstamo por el ingeniero marino Javier rivera de la universidad de caldas y un osciloscopio para obtener los niveles de frecuencia del sensor.

A continuación se describen el procedimiento realizado junto con los resultados obtenidos.

Primero se realizó el montaje mostrado en la figura No. 33, luego se midieron y registraron las velocidades del viento percibidas por el equipo de referencia del viento a diferentes intervalos de velocidad midiendo los valores de frecuencia obtenidos, junto con esto se realizaron las medidas con el sensor de velocidad del viento que se va a calibrar.

Para poder obtener diferentes valores de velocidad del viento se variaron los parámetros de distancia y velocidad, así se obtuvieron la mayor cantidad de datos posibles para su calibración.



Figura. No. 33 Esquema experimental para la calibración del sensor de Velocidad del viento.

Los valores obtenidos con este procedimiento se registran en la grafica de la figura 34. Se puede observar la linealidad de estos datos en comparación con los tomados por el anemómetro, la gráfica corresponde a una ecuación lineal de pendiente  $m= 3.22 \text{ mts}$  e intercepto  $b=1.254 \text{ m/s}$ . por lo tanto  $Y = 3.22(m)X + 1.254(m/ s)$

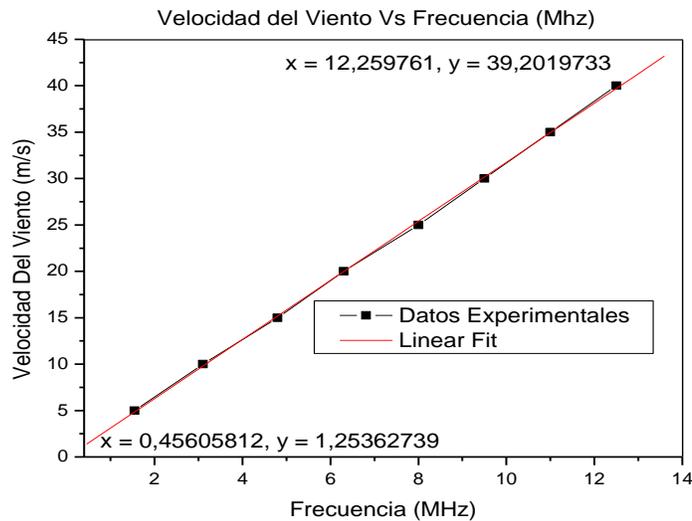


Figura. No. 34 Velocidad del viento Vs. Frecuencia. Linealidad del sensor DAVIS

### 3.2.2 Calibración del sensor de dirección del viento (veleta)

Para calibrar el sensor de dirección del viento se siguió el siguiente procedimiento: Primero se conectó el cable de señal del sensor a un voltímetro, luego se montó el sensor sobre un graduador tomado como banco de ángulos para la veleta véase Fig. No. 35 a); seguidamente se acopló de tal manera que el norte marcara 0 voltios para 0 grados mediante una brújula. Ver Figura. No. 35 b). Se tomaron diferentes valores de ángulos en función de su voltaje, que varía de 0 a 5 voltios, de tal manera que al girar un determinado ángulo se obtuviera su valor correspondiente en voltios. Se tomaron los valores de voltaje para los ángulos comprendidos entre  $5^{\circ}$  y  $355^{\circ}$  ya que según la casa constructora existe una banda muerta de alrededor de  $10^{\circ}$  en el norte lo que corresponde a los ángulos limitados por estos valores.



a) Adecuación De Norte equivalente a 0°



b) Esquema Calibración Para toma De datos Sensor De Dirección viento

Fig. No. 35 a) y b) Calibración Sensor De Dirección Del viento

Los datos obtenidos en este procedimiento se muestran en la figura No. 36, esta representa una línea recta que corta al eje de las coordenadas en el cero lo que corresponde a la ecuación.  $Y = mX$  . donde m es la pendiente de la recta. Para los valores obtenidos en la grafica figura No. 34 el valor de m es  $m=72,4 \text{ } ^\circ/V$ . por lo anterior la Ecuación representativa a la recta queda de la siguiente manera:

$$Y = 72.4(^{\circ}C/V)X \quad (61)$$

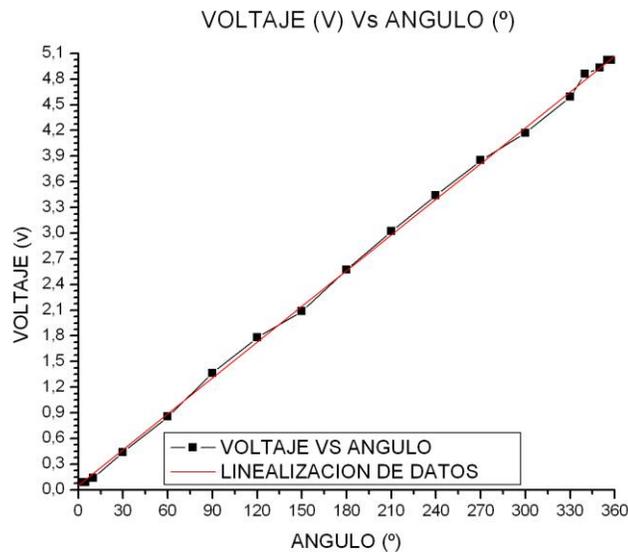


Figura. No. 36 Calibración del sensor de dirección del viento

La veleta del viento es un potenciómetro de los  $k\Omega$  del valor nominal ( $20 \pm 1$ )  $k\Omega$  según el fabricante. La posición del limpiador, o la resistencia del limpiador al Terminal del extremo son lineales con acimut. Sin embargo, hay una banda muerta de alrededor 10 grados. Según lo enviado por el fabricante, el punto del cruce ocurre cuando la cola de la veleta está detrás a lo largo del brazo y la extremidad precisa del brazo. Esa dirección es nominal del norte.

### 3.3 CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN MPX4115

La serie de dispositivos MPX4115 son piezoresistencias de silicio sensibles a la presión que proporciona una variación de tensión exacta y lineal directamente proporcional a la presión que se le aplica. El rango de las presiones que se necesita medir está centrado y distribuido en aproximadamente el 70% del rango

de medida del sensor. Entonces, el valor de la medida se obtiene a partir de la función de transferencia suministrada por el fabricante.

Dado que en nuestro medios los instrumentos con los que se mide la presión no tienen la suficiente sensibilidad, resulta una tarea muy complicada la calibración de éste sensor con estos instrumentos de medida, ya que se necesita una variación de presión de 15 KPa. a 115 KPa. Aproximadamente. Se probó utilizando un barómetro analógico y uno digital con resultados fallidos.

Dado que el fabricante suministra la función de transferencia se optó por trabajar con esta, por lo tanto, solo fue necesario comprobar a grandes rasgos su funcionalidad y/o linealidad.

La ecuación de transferencia entregada por la casa del fabricante es la siguiente:

$$V_{out} = V_s (Px0.009 - 0.095) \quad (62)$$

$$V_s = 5.1V \pm 0.25Vdc \quad (63)$$

Remplazando  $v_s$  en la ecuación No. 30 obtenemos la ecuación de transferencia de datos suministrada por el fabricante

$$V_{out} = 0.0459(V / kp) * P - 0.4845(V) \quad (64)$$

Según el data sheet entregado por el fabricante que se tomo como referencia, El offset es de 0.135 kp

En la figura No. 37 se puede observar la linealidad del sensor de presión en función de voltaje de salida que oscila de 0 a 5V, estos datos se pueden observar en los Anexos No. 2a) y 2b)

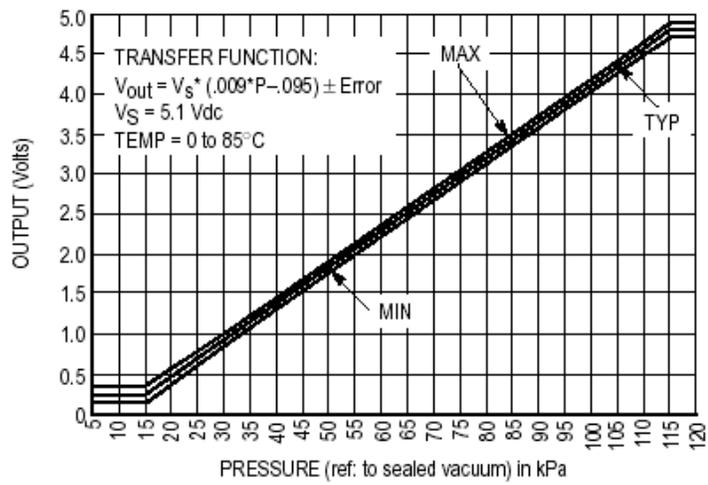


Figura No. 37 Linealidad del sensor y rangos sobre los cuales puede trabajar junto con su función de transferencia<sup>8</sup>

### **3.4 ADECUACION Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA**

Una vez terminadas las etapas de conexión y calibración de cada sensor se procede a la adecuación de las señales usando un microcontrolador, este lleva adjunto una pantalla de LCD para visualización y un teclado para acceder al Menú de interacción con el usuario.

Posteriormente se realizan las conexiones necesarias para cada sensor, como se indica en las figuras No. 19 21 25 y 26. La señal obtenida se ingresa al microcontrolador (PIC18F452) por medio de un ADC (Conversor Análogo Digital). El proceso siguiente consiste en la recolección y almacenamiento de los datos, para esto se toma el promedio de los datos por minuto para almacenarlos en la memoria flash del microcontrolador; esta memoria se utiliza por su amplia capacidad de almacenamiento y porque no es volátil.

Dado que el sistema en general entrega valores cada minuto, es posible modificar la aplicación para que se realicen estudios ya sea de 24 horas o uno solo de 7455 minutos, tiempo en el cual la memoria llegará a su tope máximo.

Junto con esta etapa se realiza la conexión de un display LCD al igual que un teclado matricial, para poder observar los datos en tiempo real, poder almacenarlos, enviarlos hacia un PC y/o borrarlos a partir de una orden dada desde el teclado a través de un MENU.

Se desarrolla un hardware que permite la comunicación entre la estación y el PC, para ello se elige la comunicación vía serial porque puede realizarse a grandes distancias, por su facilidad y porque tiene pocos hilos, además trabaja similarmente con otros sistemas.

Por último, se desarrolla una aplicación en la plataforma Visual Basic 6.0 para la descarga y creación de una base de datos.

Los primeros montajes del sistema se realizaron sobre protoboard, pero este tipo de montajes cuando se implementan circuitos de cualquier índole, como los de esta aplicación, no son muy buenos debido a que en ellos se induce mucho ruido inducido por los cables y por la misma protoboard. El ruido es un factor crítico para este tipo de sistemas ya que la señal se puede enmascarar en él y las medidas realizadas no van a presentar una buena estabilidad ni una buena confiabilidad; sin embargo, estos montajes son necesarios porque con ellos se puede identificar fallas en el circuito que pueden corregirse fácilmente, en cambio si el montaje del circuito se realiza directamente sobre un circuito impreso, solucionar un problema que se presente en este implica volver a reconstruir el circuito una y otra vez.

Cuando se logra obtener el circuito final se procede a realizar el montaje del sistema general, en las figuras. No. 38 y 39 se puede apreciar el diagrama general esquemático implementado, este se pasa a una tarjeta impresa construida artesanalmente donde se realiza el montaje del hardware de este esquemático.

Se llega a la conclusión de realizar una placa para el sistema de sensores y adecuación de la señal junto con sus periféricos (teclado y pantalla) y otra para la conexión serial ya que después de un análisis profundo se observa que este introduce un ruido en la toma de datos, por lo que se opta por construir dos tarjetas por separado. Para la alimentación de este sistema se elige un adaptador de voltaje de 9 V y se realiza un circuito para reducirlo a 5V, utilizando un regulador de voltaje (LM7805), el cual limita el voltaje máximo de alimentación al PIC a este valor. Este sistema tiene una cualidad importante y es que gracias a él se pueden utilizar pilas de 9 V para la alimentación del sistema ya que no requiere

un gran consumo en corriente. El dispositivo electrónico que mas corriente necesita es el LCD que sin embargo es muy bajo.

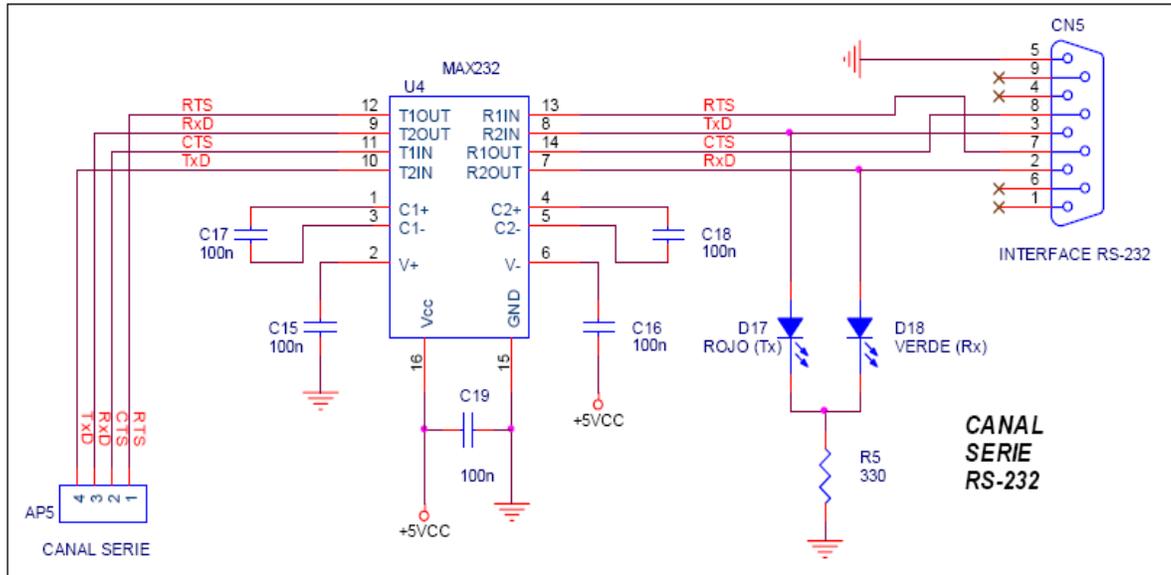


Figura. No. 38 Esquema eléctrico interno de comunicación RS232

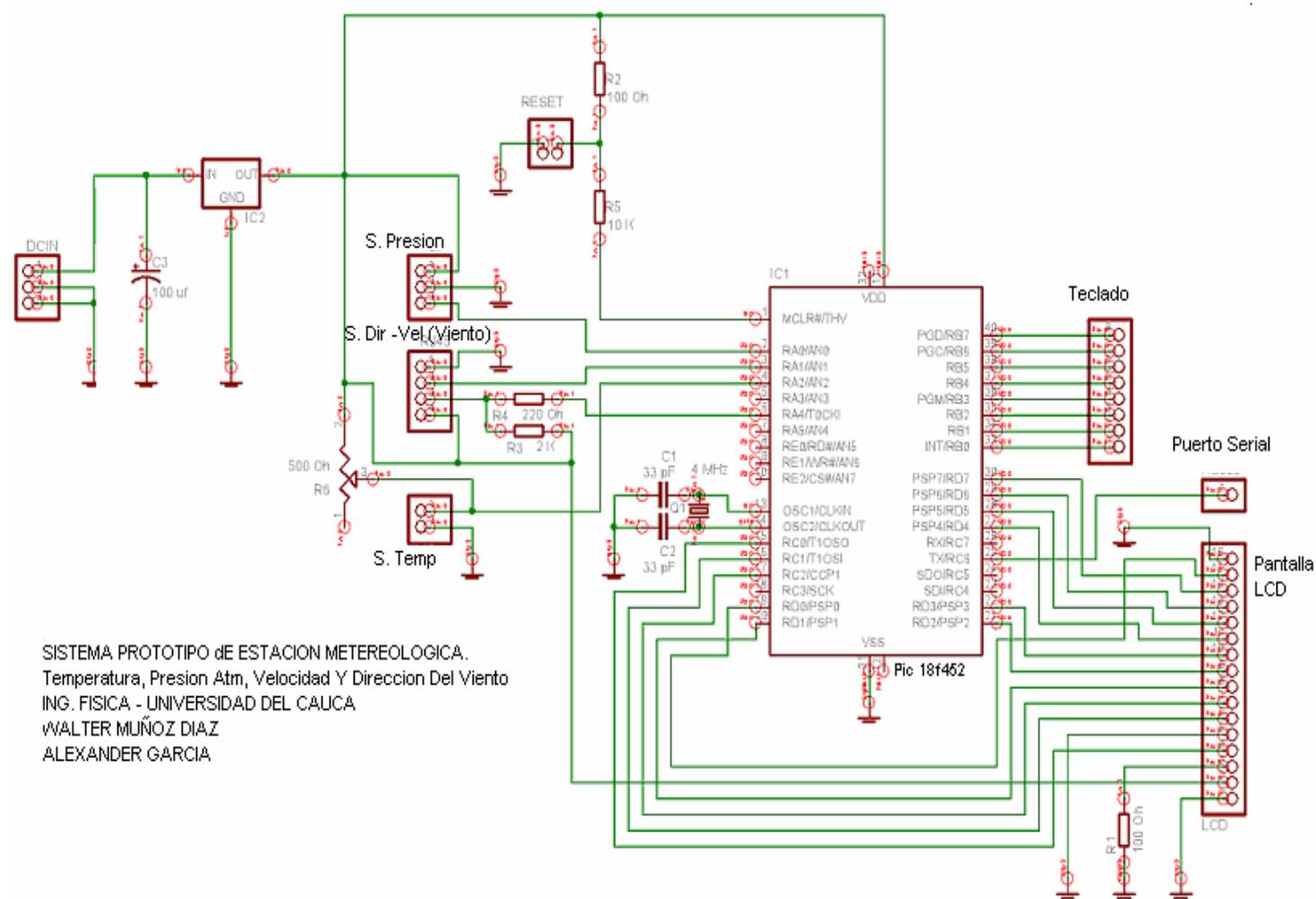


Figura No. 39 Esquemático Interno Circuito General

El montaje del sistema en general, se ensambla en una caja rectangular de 10.5cm x 21.5cm y 7cm de color negro, en donde se acoplo la pantalla LCD y el teclado para controlar el menú de operación. También se adjuntan los puertos o conectores para los diferentes sensores utilizados, junto con un DB9 (puerto de comunicación serial) y adaptador de alimentación.

Después de haber incorporado el sistema como tal y de verificar que los dispositivos electrónicos funcionasen según lo presupuestado, se procede a la ubicación de el sistema para verificar su funcionamiento en conjunto, para lo cual se procede a la obtención de valores de las variables de interés y se las compara con los datos obtenidos por la estación meteorológica a cargo del grupo GEA de la Universidad del Cauca

#### **3.4.1 Descripción del software desarrollado**

La aplicación gráfica desarrollada presenta como principales características un panel frontal o interfaz de usuario amigable, en la cual se destacan elementos tales como conexión con puerto serial, valores de las variables físicas; Para llevar a cabo esta adquisición de las señales por medio del *PC*, fue necesario realizar un acople del receptor al *PC* a través de un *MAX-232*, como se observa en la Figura No. 38.

En primer lugar se realizo el programa para permitir el ingreso de datos a través del puerto serial. Una vez obtenidos se procede a su almacenamiento, y se envían a una base de datos mediante un comando de control, para lo cual se emplea una hoja de Excel.

## 4. FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS DEL SISTEMA

En este capítulo se detallarán, en forma breve el funcionamiento del manejo e instalación del sistema prototipo, tanto la parte correspondiente al hardware como al software para su correcto empleo; también se describirá los resultados obtenidos experimentalmente.

### 4.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PROTOTIPO DE ESTACION METEOROLOGICA

#### 4.1.1 Descripción del menú de operaciones

El dispositivo implementado es automático para censar las variables climáticas. Al iniciarse por primera vez indica un mensaje de bienvenida donde luego despliega los valores de las variables físicas registradas, figura No. 39



Figura No. 39 variables registradas

Al presionar la tecla No. A enseña el menú de opciones, donde aparece las opciones A) MENU, B) PLAY (empezar a grabar), C) SEND (enviar datos vía serial al PC) y D) DELAY (borrar datos guardados) como se muestra en la figura No. 40



Figura. No. 40 Menú de Operación del sistema

Al darle la opción B de PLAY el sistema empieza a guardar los datos obtenidos por los sensores en la memoria del equipo (Memoria Flash); el equipo se lo puede configurar para realizar diferentes rangos de estudios como por ejemplo estudios por 15 minutos, por 1 hora o un estudio por el tiempo de 7455 minutos (124 H), en el cual se llenaría la totalidad de la memoria,

Se pueden observar estos datos en cualquier momento a través de la opción A del menú; Cuando el sistema inicia la instrucción de guardar, opción B de play, en la pantalla se muestra un signo de > en la parte inferior derecha y cuando termina un signo ✕ en la misma posición, figura No. 41



Figura. No. 41 Almacenamiento de datos

Una vez los datos encuentran guardados, se pueden volver a realizar más estudios, lo que quiere decir volver a tomar más datos. O si estos datos no nos interesan se puede proceder a borrarlos, como lo enseña el menú de opciones.

Cuando se termina de tomar los datos se procede a descargarlos hacia el PC mediante la opción de SEND (envió) a través del puerto serial mediante una aplicación software diseñado en la plataforma visual Basic 6.0.

El software diseñado es muy cómodo de usar, a través de un pulsador o una orden (click) este recolecta todos los datos obtenidos en el data logger para transmitirlos hacia el software, en donde los ordena para poderlos guardar en una base de datos, para nuestra comodidad, se utilizó una hoja de texto en EXCEL para su recolección y/o análisis. La hoja de Excel que crea el software presenta datos de: Presión, Temperatura, Velocidad Viento, Dirección Viento, valores medios (promedio), valores máximos y mínimos los cuales utilizan los meteorólogos para su posterior análisis

#### **4.1.2 Instalación del sistema meteorológico**

La instalación de la estación meteorológica es muy sencilla, solo se debe tener en cuenta los requerimientos que indica el IDEAM en cuanto a seguridad y ubicación de los sensores;

##### **4.1.2.1 Requerimientos del IDEAM**

Debe existir la protección para las personas que manipulen e intervengan con estos equipos, la ubicación de los sensores de velocidad y dirección del viento se debe ubicar a una altura aproximada de 10m sobre el nivel de suelo, en un campo abierto, el sensor de temperatura se debe ubicar en una garita o caja de madera

en lo posible blanca donde no intervenga otra radiación posible y solo se detecte la temperatura.

El sensor de temperatura, dirección y velocidad del viento tiene conexiones con terminales RJ11. La conexión de estos es muy fácil de realizar ya que el data logger indica donde se conecta cada uno esto, para el sensor de presión no hay problema ya que esta ubicado en el data logger, se puede observar en la figura No. 42.



Figura. No. 42 Puertos de los sensores en el Data Logger

La alimentación del sistema es de 5V se utiliza un adaptador de 9V ya que el sistema hace una regulación mediante un LM7805 lo cual facilita para utilizar baterías de 9V para lugares donde no exista corriente eléctrica.

## 4.2 RESULTADOS

Los resultados de este proyecto abarcan desde la calibración de los diferentes tipos de sensores hasta un análisis de los datos obtenidos, los cuales son presentados en el anexo No. 6. La ubicación del sistema meteorológico, y la precisión de esta estación prototipo se analizaron con respecto a la existente en la Universidad del Cauca.

Se tomaron datos por un periodo de 12 horas comprendido desde las 6:00 AM hasta las 6:00 PM. como dijimos anteriormente esta estación guarda datos cada minuto, normalmente las estaciones o pronósticos meteorológicos presentan un análisis cada hora y luego entregan un análisis promediado para cada mes del año, para este prototipo se efectuaron mediciones de los parámetros de interés durante un día (6:00 AM hasta las 6:00 PM del 12 de febrero de 2009), donde se obtuvieron valores de las variables cada minuto y se realizó un análisis promedio cada hora.

Los resultados generales obtenidos para cada sensor se observan en el anexo No. 6, estos resultados son originados a partir del software de descarga de datos. Las graficas que se obtienen a partir de estos datos se muestran en las Figuras No. 43, 44, 45 y 46 que corresponden a las variables de dirección del viento, temperatura, velocidad del viento y presión atmosférica respectivamente

Las tablas Números 2, 3, 4 y 5 muestran los valores promedios, máximos y mínimos de la temperatura, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento respectivamente, en intervalos de una hora, al igual que el promedio general del día de estudio, tanto para la estación prototipo como para la estación GEA de la Universidad del Cauca.

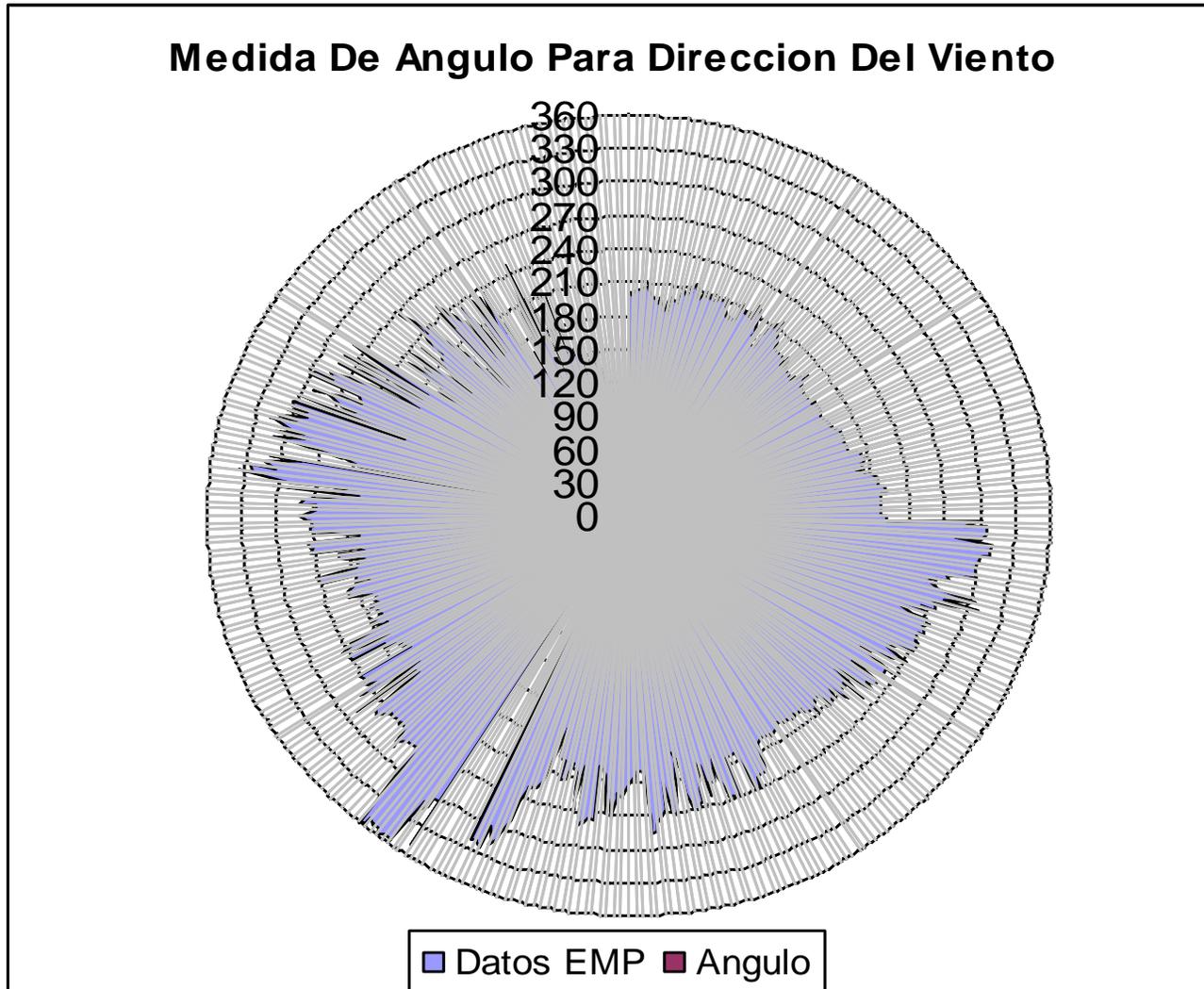


Figura. No. 43 Esquema de resultados Del Angulo Respecto a la dirección de velocidad

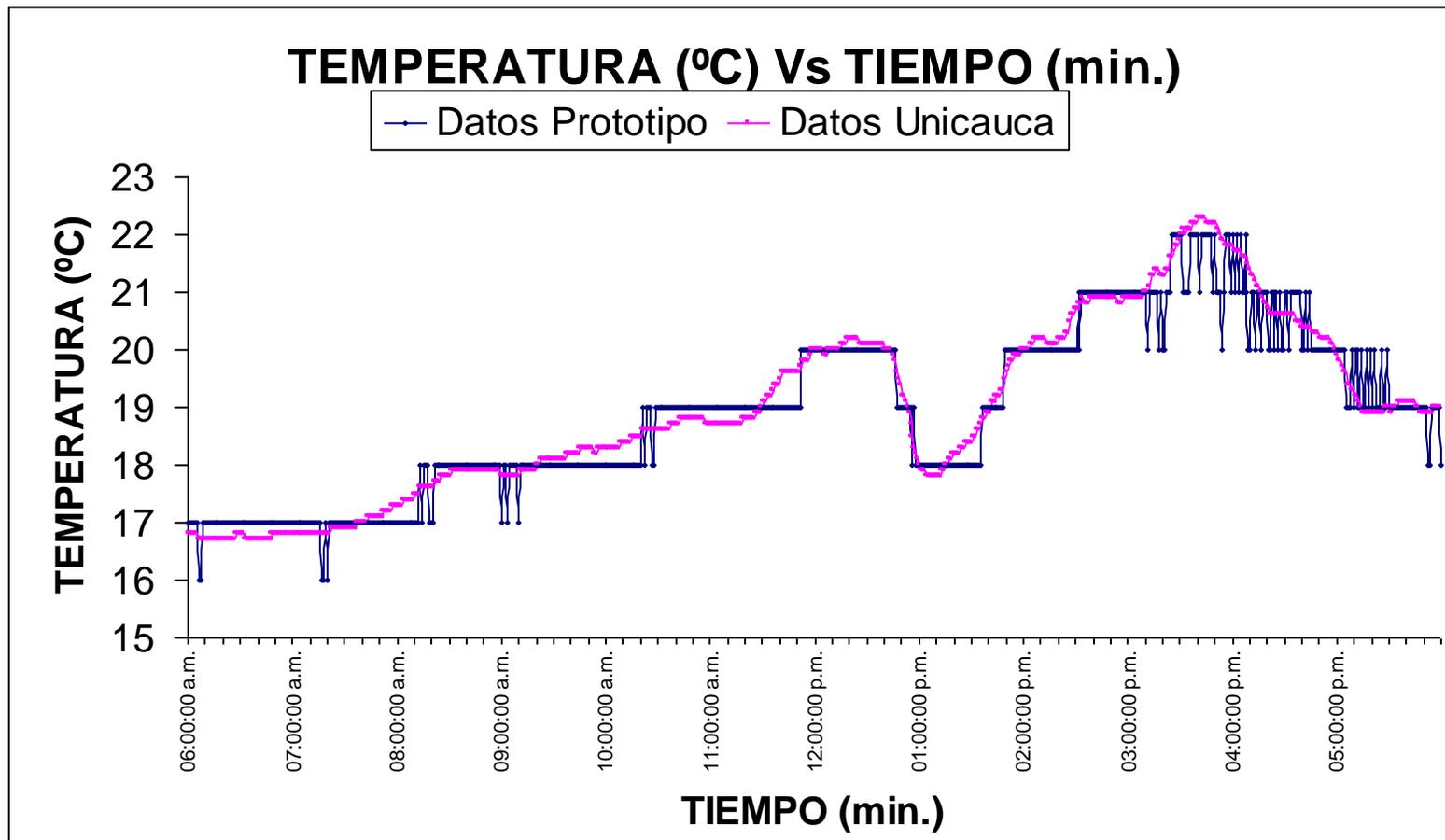


Figura. No. 44 Esquema de resultados Del Temperatura Vs Tiempo

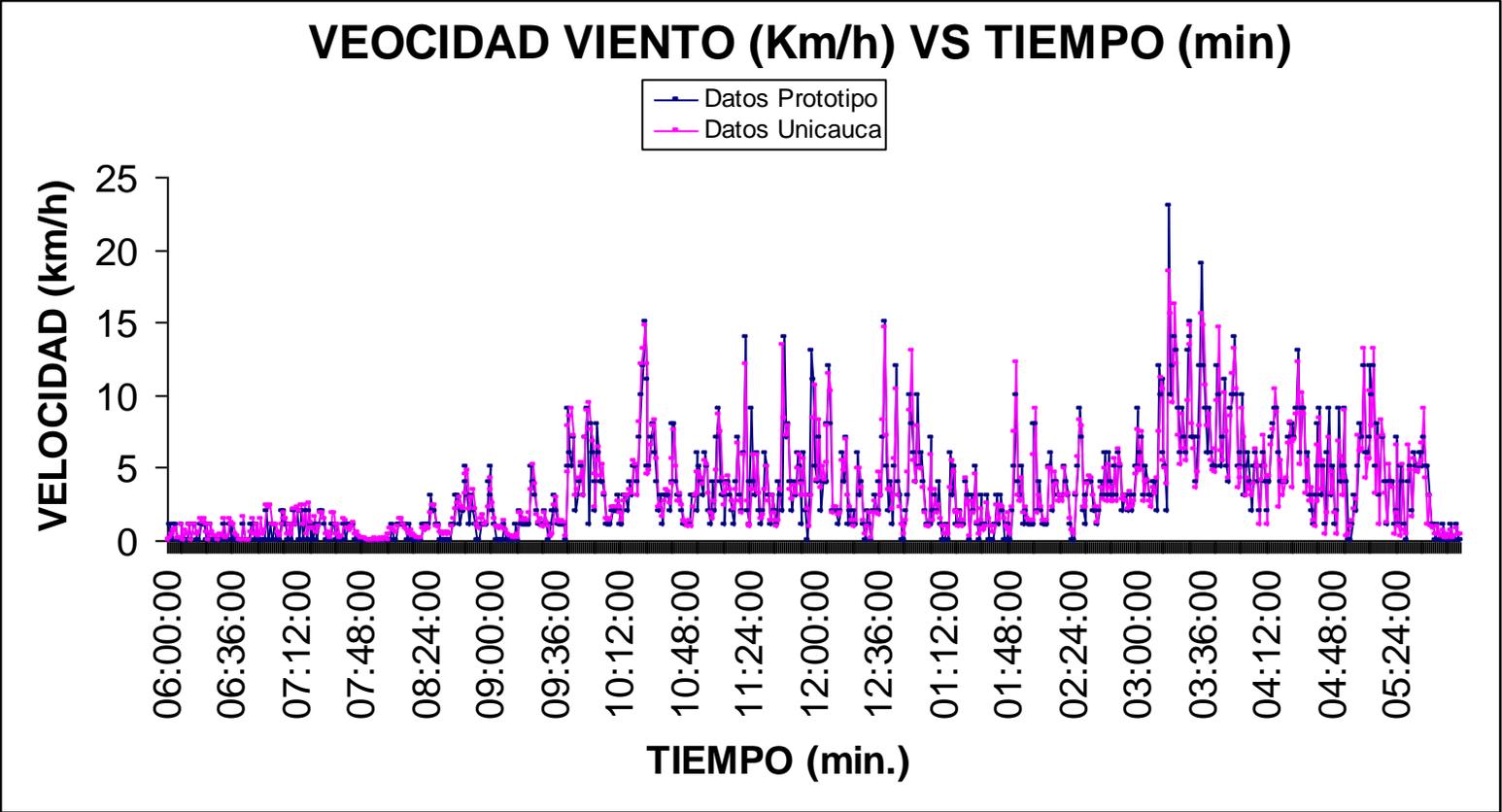


Figura. No. 45 Esquema de resultados de Velocidad del viento Vs Tiempo

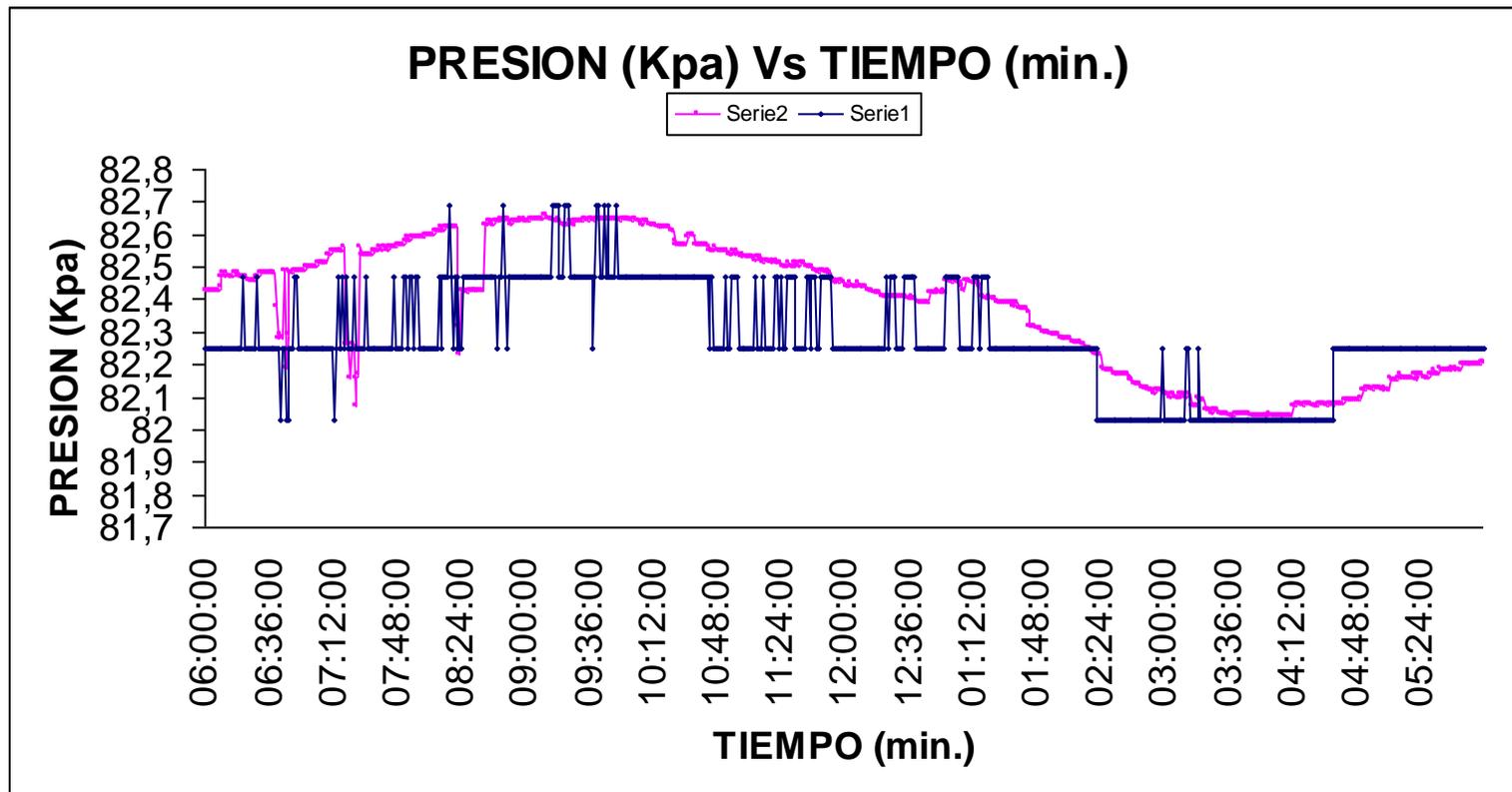


Figura. No. 46 Esquema de resultados De Presión Atmosférica Vs Tiempo

Tabla No. 2 Valores de temperatura Media, Máxima y Mínima (°C) por cada hora obtenidos por la EMP

	Valores	6 – 7 AM	7 – 8 AM	8 – 9 AM	9 – 10 AM	10 – 11 AM	11 – 12 AM	12 – 1 PM	1 – 2 PM	2 – 3 PM	3 – 4 PM	4 – 5 PM	5 – 6 PM	Vr. Diario
<b>EMP</b>	<b>Medios</b>	16,967	16,933	17,717	17,95	18,6	19,133	19,733	18,583	20,467	21,267	20,567	19,183	<b>18,925</b>
	<b>Máximos</b>	17	17	18	18	19	20	20	20	21	22	22	20	<b>22</b>
	<b>Mínimos</b>	16	16	17	17	18	19	18	18	20	20	20	18	<b>16</b>
<b>EMU</b>	<b>Medios</b>	16,74	16,948	17,728	18,073	18,592	19,155	19,808	18,638	20,532	21,673	20,738	19,092	<b>18,976</b>
	<b>Máximos</b>	16,8	17,3	17,9	18,3	18,8	20	20,2	20	20,9	22,3	21,8	19,9	<b>22,3</b>
	<b>Mínimos</b>	16,7	16,8	17,3	17,8	18,3	18,7	18,1	17,8	20	20,9	20	18,9	<b>16,7</b>
<b>E (%)</b>		1,357	0,089	0,062	0,681	0,043	0,115	0,379	0,295	0,317	1,873	0,825	0,477	<b>0,269</b>

Tabla No. 3 Valores de presión atmosférica (KP) media, máxima y mínima por cada hora

	Valores	6 – 7 AM	7 – 8 AM	8 – 9 AM	9 – 10 AM	10 – 11 AM	11 – 12 AM	12 – 1 PM	1 – 2 PM	2 – 3 PM	3 – 4 PM	4 – 5 PM	5 – 6 PM	Vr. Diario
<b>EMP</b>	<b>Medios</b>	82,017	82,183	82,733	83,183	82,833	82,383	82,267	82,183	81,383	81,05	81,417	82	<b>82,136</b>
	<b>Máximos</b>	83	83	84	84	83	83	83	83	82	82	82	82	<b>84</b>
	<b>Mínimos</b>	81	81	82	82	82	82	82	82	81	81	81	82	<b>81</b>
<b>EMU</b>	<b>Medios</b>	824,5	825,1	825,6	826,5	825,9	825,1	824,2	823,8	821,9	820,6	820,7	821,7	<b>823,8</b>
	<b>Máximos</b>	825	825,9	826,5	826,6	826,5	825,4	824,6	824,6	822,9	821,1	821,3	822,1	<b>826,6</b>
	<b>Mínimos</b>	821,9	820,7	822,3	826,3	825,4	824,5	823,9	822,9	821,1	820,4	820,4	821,2	<b>820,4</b>
<b>E (%)</b>		0,525	0,396	0,2096	0,645	0,294	0,154	0,186	0,240	0,9812	1,231	0,796	0,207	<b>0,296</b>

Tabla No. 4 Valores de velocidad del viento (Km/h) media, máxima y mínima por cada hora

	Valores	6 – 7 AM	7 – 8 AM	8 – 9 AM	9 – 10 AM	10 – 11 AM	11 – 12 AM	12 – 1 PM	1 – 2 PM	2 – 3 PM	3 – 4 PM	4 – 5 PM	5 – 6 PM	Vr. Diario
<b>EMP</b>	<b>Medios</b>	0,383	0,567	1,1	2,317	3,867	4,133	3,867	2,017	3,45	7,733	4,45	3,333	<b>3,101389</b>
	<b>Máximos</b>	2	2	5	9	15	14	15	10	9	23	13	12	<b>23</b>
	<b>Mínimos</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
	<b>TIPO De viento</b>	Calma	Calma	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Flojito	Ventolina	Ventolina	<b>Ventolina</b>
<b>EMU</b>	<b>Medios</b>	0,676	0,862	1,293	2,767	4,17	3,978	4,308	2,213	3,393	7,848	4,67	3,578	3,313194
	<b>Máximos</b>	2,4	2,5	4,8	9,5	14,8	13,4	14,6	12,3	9,1	18,5	12,3	13,2	18,5
	<b>Mínimos</b>	0	0	0	0,1	0,9	0,9	0,1	0,3	0,4	2,2	0,2	0,1	0,0
	<b>TIPO De viento</b>	Calma	Calma	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Ventolina	Flojito	Ventolina	Ventolina	<b>Ventolina</b>
<b>E (%)</b>		43,343	34,223	14,927	16,263	7,266	3,896	10,237	8,857	1,680	1,465	4,711	6,847	6,393

Tabla No. 5 Valores de dirección del viento ( ° ) media, máxima y mínima por cada hora

Valores	6 – 7 AM	7 – 8 AM	8 – 9 AM	9 – 10 AM	10 – 11 AM	11 – 12 AM	12 – 1 PM	1 – 2 PM	2 – 3 PM	3 – 4 PM	4 – 5 PM	5 – 6 PM	Vr. Diario
<b>Medios</b>	201,7	193,067	201,383	277,217	237,033	250,4	229,25	273	245,083	273,733	217,517	146,2	<b>228,799</b>
<b>Máximos</b>	215	220	218	309	264	285	324	358	273	334	280	247	<b>358</b>
<b>Mínimos</b>	182	183	186	214	222	215	39	7	225	1	154	111	<b>1</b>
<b>Orientación De viento</b>	SSS	SSS	SSS	ONO	OSO	OSO	SO	O	OSO	O	SSS	SSE	<b>SO</b>

## **5 ANALISIS**

### **5.1 ANALISIS PREVIO A LA INSTALACIÓN DE UNA ESTACION METEREOLÓGICA**

Según normas establecidas por la Organización Meteorológica Mundial que en Colombia, tiene como garante al IDEAM se establece que al instalar sistemas de medición y monitoreo climático se debe tener en cuenta parámetros de protección para las personas y usuarios que manipulen e intervengan estos equipos como lo son arnés de protección, guantes y toda la indumentaria necesaria y además su ubicación debe realizarse de la siguiente manera: Para obtener datos climáticos representativos los equipos y sensores se deben colocar lejos de obstrucciones que puedan influir en las mediciones. La altura estándar de exposición de los instrumentos de viento en un terreno abierto es 10 m sobre el suelo. El terreno abierto se define como un área donde la distancia entre el instrumento y cualquier obstáculo (árboles, edificios, etc.) es al menos 10 veces la altura de la obstrucción. Un sistema de medición meteorológica debe disponer de una garita o jaula para la ubicación del sensor de temperatura, situada a 1.5 m del suelo, preferiblemente de madera u otro material que no posea un coeficiente de absorción térmico alto para asegurar el perfecto funcionamiento de este y evitar otros efectos de radiación

Tomando en cuenta estos parámetros se opto por montar la estación meteorológica en las instalaciones de la universidad del cauca donde se encuentra una estación similar a cargo del grupo GEA. La estación fue ubicada en la zona verde de la universidad del cauca localizada frente al colegio industrial, donde se encuentra la estación perteneciente a la universidad del cauca, para poder comparar los datos obtenidos con los de la estación existente que usamos como unidad de comparación. La ubicación de esta se puede observar en la figura

No.47 se muestra la torre donde se monto los sensor de dirección y velocidad del viento, el cual se encuentra a un poco más de 10 m sobre el suelo. Para la ubicación de este se utilizo una brújula para fijar el norte y obtener el valor de cero como lo indica la calibración de este sensor. En la figura No. 48 se muestra la garita de madera done se ubicó del data loger, los sensores de temperatura y presión atmosférica.



Figura. No.47 Torre Donde se realizo el montaje de la estación Meteorológica.



Figura. No 48 Garita de madera para data loger y sensores de temperatura y presión

La ubicación de los sensores en esta localidad se puede observar en la figura No. 49, según la normatividad se puede observar que el sensor de temperatura se encuentra dentro de la garita, donde no esta expuesto a los rayos directos del sol ni a ninguna otra radiación, ver figura No. 49C. Se puede observar que el sensor de dirección y velocidad del viento se encuentra un poco más alto y separado que el existente en la estación de la universidad del cauca para evitar interferencia entre cada sistema, se puede observar su equivalente dirección en ambos sensores lo que indico una perfecta ubicación.

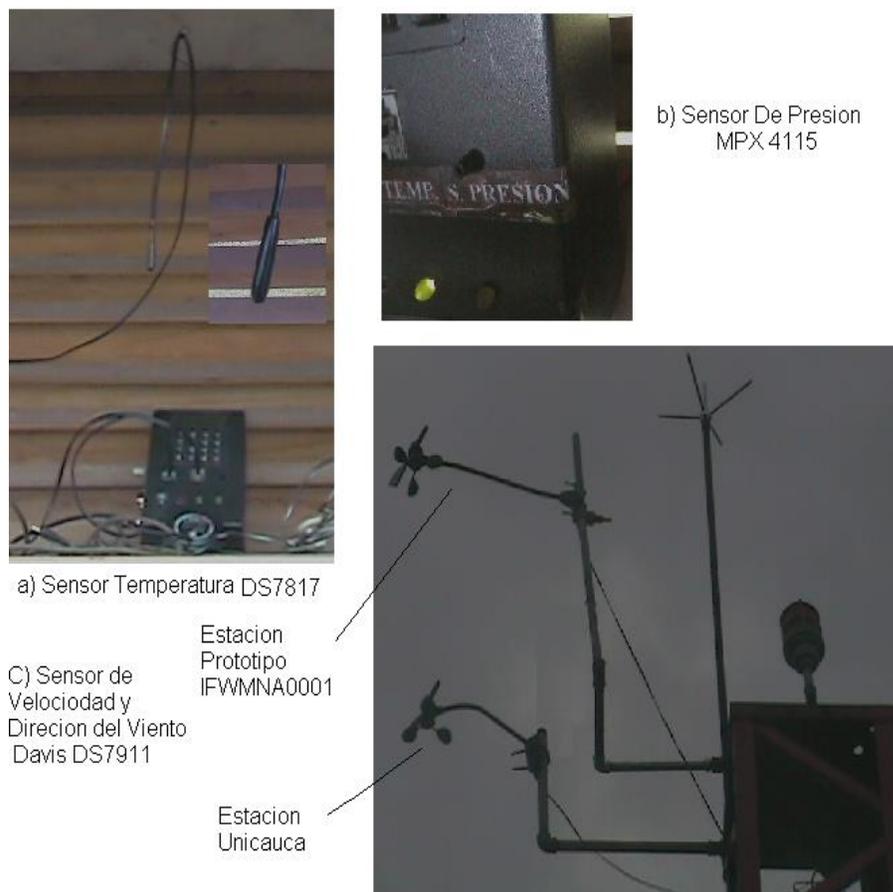


Figura. No 49 Ubicación de los sensores en la estación a) Sensor de Temperatura, b) sensor de presión atmosférica, c) Sensor de dirección Y velocidad del viento.

## **5.2 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA METEREOLÓGICO PROTOTIPO**

Para efectuar un mejor análisis, se comparan los resultados obtenidos con los generados por la estación meteorológica perteneciente a la Universidad del Cauca ubicada en el mismo lugar; Se realiza un análisis independiente para cada variable climática

Tomando los datos obtenidos de la estación meteorológica perteneciente a la U. del cauca como unidad de comparación con los tomados en la practica por la estación prototipo como se observa en las figuras. No. 43, 44, 45 y 46 se puede notar una correlación entre los dos sistemas. La línea azul corresponde a los datos obtenidos de la estación meteorológica prototipo y la línea de color violeta corresponde a valores obtenidos de la estación perteneciente a la universidad del cauca.

### **5.2.1 Análisis de temperatura**

Un análisis en temperatura de los datos obtenidos del día como promedio se puede inferir de los resultados indicados en la tabla No. 11, esta tabla indica que los datos o valores de temperatura tomados de la estación meteorológica prototipo señalan que el área de influencia de la estación para este día (12/02/2009) de estudio presenta una temperatura media diaria de 18.925 °C, valor que oscila entre una temperatura mínima de 16 °C y una máxima de 22 °C.

Para la periodo de estudio, las horas que presentaron las mayores temperaturas son entre las 3 y 5 de la tarde, valor que oscila alrededor de una temperatura máxima de 22 °C respectivamente, y una temperatura mínima de 20 °C.

Las horas que registran las menores temperaturas son entre 6 y 8 AM, valor que oscila entre una temperatura promedio de 16.967 °C y 16.933 °C respectivamente junto con una temperatura máxima de 17 °C respectivamente, y una mínima de 16°C. Todos estos resultados se pueden observar en la tabla No. 11.

### **5.2.2 Análisis de presión atmosférica**

Los valores de presión atmosférica obtenidos por la estación meteorológica prototipo se pueden observar en el anexo No. 6 de resultados junto con los obtenidos por la estación perteneciente a la universidad del cauca y un análisis mas detallado se observa en la tabla de resultados No. 12 donde se observa que no presenta un cambio brusco o alterado en sus valores de presión, en esta tabla se observa los valores de presión atmosférica medios máximos y mínimos promedios por cada hora para el rango de periodo de estudio para la estación prototipo como para la estación perteneciente a la universidad del cauca.

Los datos de presión atmosférica obtenidos por la estación meteorológica prototipo indican que el área de influencia de la estación para este día (12/02/2009) de estudio presenta una presión atmosférica media diaria de 82.136 Kp. valor que oscila entre una presión mínima de 81 Kp y una máxima de 84 Kp.

Para el periodo de estudio, las horas que presentaron las mayores presiones atm. son entre las 9 a 10 de la mañana, valor que oscila alrededor de una presión máxima de 84 Kp, y una presión mínima de 82 Kp. Las horas que registran las menores temperaturas son entre 2 y 5 PM, valor que oscila entre una presión promedio de 81.05 Kp y 81.417 Kp con una presión máxima de 82 Kp. y una mínima de 81 Kp. Todos estos resultados se pueden observar en la Tabla No. 12.

Asimismo se puede observar los valores obtenidos por la estación meteorológica perteneciente a la universidad del cauca (EMU) donde se obtienen valores en unidades de milibares, según la tabla No. 1 donde 1 Kp equivale a 10 milibares, nos podemos dar cuenta que los datos obtenidos por la estación prototipo están en un rango similar a al de trabajo de la estación meteorológica perteneciente a la universidad, aunque de todos los datos obtenidos es el que mas difiere, esto se debe a que no se realizo un calibración pertinente para este sensor y se tuvo que trabajar con la función de transferencia entregada por la casa del fabricante que en este caso es motorola.

En la tabla No. 12 nos podemos dar cuenta que para la estación prototipo el valor promedio es de 82.136 Kp y para la estación de la universidad realizando una conversión de milibares a kp el promedio total diario es de 82.38 Kp. donde este valore son muy similar al obtenido por la estación prototipo.

### **5.2.3 Análisis de velocidad del viento**

Los datos pertenecientes al recorrido del viento que se obtuvieron por la estación meteorológica entregaron una medida de velocidad (Km/h); de estas características: La velocidad media diaria sobre todo el estudio como tal es de 3,101389 Km/h., valor que oscila entre un máximo de 23 Km/h y un mínimo de 0 Km/h, como se observa en la Tabla No. 13. Se presenta mayor incidencia de vientos débiles según la escala BEAUFORT (anexo No. 4), es de característica *ventolina* ya que el promedio no supera los 5 km/h, pero se debe tener en cuenta que existe un tiempo (de 3 a 4 PM) en el que el viento alcanza su máximo valor de 23 Km/h donde su característica seria *bonancible* (de brisa suave), pero el promedio durante esta hora que fue de 7.733 Km/h es de característica *flojito*. El periodo de tiempo donde el viento alcanza su mínimo valor es entre 6 y 8 a.m.

donde se registra un máximo de 2 km/h y un mínimo de 0 km/h este tipo de viento es de calma donde no supera 1 Km/h.

Al comparar estos datos con los obtenidos por la estación meteorológica perteneciente a la universidad del cauca nos podemos dar cuenta según la tabla de resultados No. 13 para esta medida que los valores son muy similares y con características de viento iguales según la escala de BEAUFORT, con lo que se puede decir que los resultados obtenidos están cercanos a los a los esperados.

#### **5.2.4 Análisis de dirección del viento**

Los datos obtenidos se presentan en el anexo No. 6 y para un mejor análisis se realiza un promedio por hora, estos resultados se presentan en la Tabla No 14. y se puede observar que la dirección del viento durante todo el periodo de estudio se encuentra dirigido sobre el tercer cuadrante y parte del cuarto de la rosa del viento dividida, mas exactamente un promedio de estos datos nos dice que esta dirigida sobre el Sur Oriente con un grado de inclinación promedio de 228.799.

Al graficar los datos de dirección del viento del anexo No. 6 obtenemos la grafica mostrada en figura No. 62 se puede observar que presenta un mayor porcentaje de datos que varia entre los ángulos, 210° y 330° que corresponde a la dirección SSO (Sur-Sur-Occidente) a NO (Nor-Occidente) respectivamente.

Se puede observar también que al final del día realiza un cambio de dirección, aproximadamente a unos 100° que equivale a la dirección E.S.E (ORIENTE- SUR-ORIENTE) y luego se mantiene constante durante el final del periodo de estudio, esto se debe a que en ese momento la fuerza del viento no era tan apreciable como para mover la veleta.

### **5.3 ANÁLISIS DE IMPREVISTOS EN LA CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

La construcción de este sistema tuvo muchas complicaciones, una de estas fue la de escoger los sensores utilizados, en primer lugar se tuvo en cuenta su precio ya que para Los instrumentos o sensores para medir la magnitud y dirección del viento son de elevado costo, difícil localizarlos y no permiten su uso masivo.

Con la colaboración del ingeniero Electrónico Marino Javier Rivera de la universidad de caldas se llego a la conclusión de utilizar los sensores de la casa DAVIS DS7911-00 los cuales eran mas económicos y además en opción de préstamo se obtuvo un data logger para su calibración, igualmente se adquirió el sensor de temperatura DS7817 de la misma casa del fabricante por ser uno de los mas utilizados en estudios meteorológicos; gracias a esto se logro reducir sustancialmente el costo del sistema.

El sensor de presión atmosférica que se utilizo fue el MPX4115 suministrado por el ing. Diego Bravo (Director de Trabajo de grado).

Otro problema que se tuvo en la construcción del equipo data logger fue el almacenamiento de los datos, ya que la memoria del microcontrolador EEPROM es demasiado pequeña, así que tras investigaciones se llego a la conclusión de utilizar la memoria flash del mismo, que tiene mayor capacidad de almacenamiento y además presenta la característica de ser no volátil.

Una vez construido el sistema, la toma de datos se tenía que hacer a 10m sobre el nivel del suelo por lo cual se solicito al ing. Agrónomo. CARLOS GALLARDO quien esta a cargo de la estación de la Universidad del Cauca permitir la instalación de la estación prototipo. Gracias al ingeniero físico Andrés Ordóñez y

al grupo G.E.A al cual pertenece, se adquirieron los datos de la estación de la universidad para su futuro análisis en comparación con la estación prototipo.

#### **5.4. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA AMBIENTAL**

El sistema de adquisición de datos meteorológicos se debe desarrollar al aire libre, por esta razón tiene impactos en el medio ambiente que hay que cuidar y tener en cuenta, como la ubicación del sistema en un terreno baldío, a 10 metros sobre el suelo y con la protección adecuada.

Los sensores no realizan ningún tipo de ruido, evitando así la contaminación sonora y brindando un bienestar a La comunidad en general. El sistema como tal, con todo y sus componentes eléctricos y electrónicos no provoca ningún tipo de radiación y no tiene ninguna influencia negativa sobre la sociedad y la naturaleza.

#### **5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y ADMINISTRATIVO**

En el desarrollo de este proyecto se trata de utilizar componentes de bajo costo.

Para nuestro diseño de anemómetro, se consideró la construcción de un anemómetro fácilmente reaplicable y a bajo costo, con lo cual se permita la fácil reproducción de este instrumento tanto para fines profesionales, investigativos y/o docentes.

A continuación se enunciarán los componentes y sus costos para tener una clara idea del presupuesto necesario para este proyecto.

Tabla No. 6 Relación material costo de la totalidad del proyecto

<b>MATERIALES</b>	<b>COSTO</b>
PIC18F452	35.000
SENSOR DE TEMPERATURA DS7817	95.000
SENSOR DE PRESION MPX 4115	65.000
SENSOR DE VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO DS7911-00	880.000
PANTALLA LCD 2 X 16	40.000
TECLADO MATRICILA 4 X 4	20.000
CONECTOR DB9 Y MAX 232	20.000
DISPOSITIVOS ELECTRONICOS	60.000
CAJA PARA DADALOGER	15.000
ADAPTADOR DE CORRIENTE	18.000
IMPREVISTOS	30.000
MPLAB IDE	0
VISUAL BASIC 6.0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1.278.000</b>

## 5.6. ANÁLISIS DE LEGALIDAD DEL PROYECTO

Para el desarrollo de este proyecto se utilizo fuentes de información como Internet y libros nombrados en la bibliografía de este documento. En cuanto a la legalidad del interne se utilizo paginas gratuitas. La información tomada de los libros se adquirió de la biblioteca y de libros originales de propiedad de la biblioteca de la universidad del cauca, de los profesores de esta misma y del ingeniero marino Javier rivera de la universidad de caldas.

En cuanto a la utilización del Software Visual Basic 6.0 junto con el software MPLAB se utilizo los paquetes adquiridos por la Universidad del Cauca.

Por lo tanto este proyecto cumple con los derechos de autor y sin violar la ley.

## 6 CONCLUSIONES

Se realizó un estudio de todas las variables físicas y los sensores a utilizar para tener un conocimiento más exacto de su funcionamiento, en donde se logró una adecuación de la señal entregada por los sensores a partir de una pertinente caracterización y calibración.

Se construye un hardware prototipo de estación meteorológica, con base en parámetros de estaciones existentes, que posee características necesarias para realizar las tareas o especificaciones requeridas.

Se diseñó una aplicación en un entorno grafico para PC la cual permite la adquisición de los datos de las variables meteorológicas anteriormente descritas y facilita su almacenamiento en una base de datos, de tal manera que puedan posteriormente ser estudiados.

Los sensores de dirección y velocidad del viento deben instalarse de tal forma que queden en posición vertical. Además se debe instalar en la parte más alta de la torre, evitando que cualquier obstáculo pueda interferir en su recorrido. El último tramo de la torre debe medir (mínimo 0,5 m. aprox. Ya que incluso, la más pequeña desviación, puede alterar las mediciones.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que el sistema prototipo presento un leve desfase en sus medidas con respecto a los valores obtenidos por la estación perteneciente a la Universidad del Cauca, esto se debe a que el sistema solo realiza la toma de medidas de cantidades enteras y no decimales como si lo hace la estación existente. Pero el comportamiento de los datos es muy

similar en las dos estaciones, por lo que se puede concluir que los datos obtenidos están acorde a los esperados.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos, se puede decir que desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde del 12 de febrero del 2009, la temperatura promedio de Popayán fue de aproximadamente 18.925 °C, la presión atmosférica promedio de 82 kp., la dirección del viento promedio fue de 228.799°, lo que indica que esta dirigido al SO (Sur Occidente) con una velocidad promedio de 3.101 Km/h, lo que permite clasificarlo como de tipo ventolina.

Los datos meteorológicos se realizan por periodos trimestrales, semestrales y/o anuales, en los cuales se hacen promedios mensuales; para nuestro caso se realizaron por un periodo de 12 horas.

En cuanto al aspecto económico resulta muy costoso el hecho de comprar una estación meteorológica que realice las operaciones descritas en este proyecto, el costo de una estación meteorológica comercial es de alrededor de treinta millones de pesos M/C lo que hace que el sistema meteorológico construido, que tiene un valor monetario mas bajo, sea atractivo a los posibles clientes potenciales.

El objetivo general del proyecto se cumplió, el cual era implementar un sistema prototipo de estación meteorológica que monitoree temperatura del medio, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento. En el cual se obtienen los valores censados de las variables climáticas estudiadas, estos datos son guardados y/o visualizarlos en tiempo real, para posteriormente ser descargados mediante una aplicación software hacia un PC y crear una base de datos, para un análisis futuro.

## 7 PROYECCION

Teniendo en cuenta los fuertes cambios climáticos que se presentan en la actualidad, debidos al calentamiento global y a la contaminación ambiental, se hace necesario monitorear otro tipo de variables que puedan brindar una información más detallada del comportamiento de los factores que afectan en una determinada región. Esto se lograría mediante la inclusión de otro tipo de sensores tales como: de humedad, de precipitaciones, de radiación solar, lluvia acida, entre otros.

El monitoreo de las variables climáticas es un proceso que requiere de mucho tiempo de seguimiento, a fin de establecer un posible patrón de comportamiento, se hace necesario establecer un mecanismo que facilite la transmisión de la información a través de grandes distancias. Esto permitiría que la instalación pueda operar de una manera más autónoma, disminuyendo el tiempo necesario de vigilancia presencial.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARLEKAR, B. V. y DESMOND, R. M. Transferencia de Calor. 2ª Edición. México Interamericana, 1985.
- [2] OZISIK, NECATI. Transferencia de Calor. 1ª Edición. Bogotá McGraw – Hill Latinoamericana, 1979.
- [3] JUAN INZUNZA B. Meteorología Descriptiva. Universidad de Concepción Chile 2000 – 2003.
- [4] FRANK M. WHITE. Fluid Mechanics. Fourth Edition. McGraw-Hill, 2000. Pág. 60 - 64
- [5] M. CARMEN CASAS CASTILLO. Meteorología y Clima. 1ª Edición, Edicions UPC, 1999. Pág. 63 - 78
- [6] HELFRICK Y WILLIAM D. COOPER. Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A. México 1991.
- [7] L. MIGUEL ADOLFO O. Diseño e implementación de un sistema de refrigeración de recirculación de agua para equipos de laboratorio. Unicauca 2007
- [8] trabajo de grado Mario Patiño
- [9] BASTIDAS LAMPREA, FABIO JIMMY Sistema electrónico digital en anemometría y heliometría. Unicauca. Popayán 1988
- [10] BOLTON, W. Mecatronica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica, 3ª Edición. México Alfaomega, 2006.
- [11] BEASLEY, FIGLIOLA. Mediciones mecánicas. 3ª Edición. México Alfaomega, 2000.
- [12] JUAN INZUNZA B. FÍSICA: Introducción a la Mecánica. Universidad de Concepción Chile, Agosto 2002, Pág. 276 -278
- [13] SHERIFF, FERNANDO: El libro del clima. Hermann Blume. Madrid 1983
- [14] <http://www.senamhi.gob.pe/main.php?u=inter&p=1502>

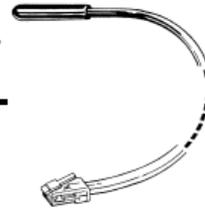
[15] [www.teleline.terra.es/personal/fremiro](http://www.teleline.terra.es/personal/fremiro)

# ANEXOS

**Anexo No. 1 Características del Sensor de Temperatura DAVIS 7817**

## External Temperature Sensor

7817



Perception and Wizard Sensors

The External Temperature Sensor is used to measure temperatures in general conditions. It is well-suited for air, water, or soil temperature measurements, and it may be used anywhere a reliable, low-cost temperature sensor is required. The sensor is epoxy-encapsulated in a vinyl cap. The External Temperature Sensor uses a precision platinum wire thermistor as a sensor. The thermistor produces a resistance change proportional to temperature.

To ensure accurate readings when measuring outdoor air temperature, the External Temperature Sensor should be shielded from direct sunlight and other sources of reflected or radiated heat. We recommend the use of a Davis Radiation Shield (# 7714) or its equivalent for this purpose.

### General

Sensor Type	Platinum wire thermistor
Time Constant	
In Still Air	240 seconds
In Liquid	20 seconds
Attached Cable Length	25' (7.6 m)

Note: There is no absolute maximum cable length. Increasing the cable length above 300' (90 m) causes an increased measurement error at a rate of approximately +0.06°F (+0.03°C) per 100' (30 m) at 136°F (60°C) and +0.012°F (+0.006°C) per 100' (30 m) at 77°F (25°C).

Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular connector (RJ-11)
Recommended Maximum Cable Length (see Note 1 below)	300' (90 m) from Sensor to SIM
Housing Material	Black Vinyl
Housing Dimensions	0.25" diameter x 1.25" long (6.5 mm diameter x 32 mm long)
Weight	4.5 oz. (128 g)

### Console Data

Note: (These specifications apply to sensor output as converted by Davis Instruments weather station consoles.)

Range	-50° to 140°F (-45° to 60°C)
Accuracy (see Note 2)	±1°F (±0.5°C) (typical)
Resolution	1.0° or 0.1°F or 1.0° or 0.1°C Celsius is converted from Fahrenheit and rounded to the nearest 0.1° or 1°C
Sample and Display Update Interval	16 seconds (max)

### WeatherLink® Data

Note: (These specifications apply to sensor output as logged and displayed by the WeatherLink.)

Temperature	Average over archive interval
High and Low Temperature	Maximum and minimum values during archive interval

### Input/Output Connections

Black & Red	Common
Green & Yellow	Temperature (variable resistance to common); 10KOhm, nominal

## Anexo No. 2a) Funcionalidad y puertos de conexión sensor presión MPX4115



## Integrated Silicon Pressure Sensor Altimeter/Barometer Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPX4115 series is designed to sense absolute air pressure in an altimeter or barometer (BAP) applications. Motorola's BAP sensor integrates on-chip, bipolar op amp circuitry and thin film resistor networks to provide a high level analog output signal and temperature compensation. The small form factor and high reliability of on-chip integration makes the Motorola BAP sensor a logical and economical choice for application designers.

### Features

- 1.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations
- Durable Epoxy Unibody Element
- Easy-to-Use Chip Carrier Option

### Application Examples

- Altimeter
- Barometer

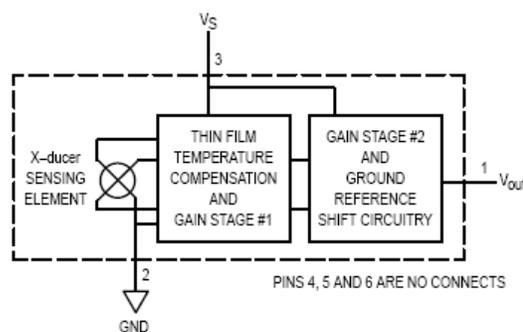
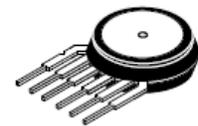


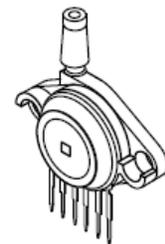
Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

## MPX4115 SERIES

OPERATING OVERVIEW  
INTEGRATED  
PRESSURE SENSOR  
15 to 115kPa  
(2.18 to 16.7 psi)  
0.2 to 4.8 Volts Output



BASIC CHIP CARRIER  
ELEMENT  
CASE 867-08, STYLE 1



PORT OPTION  
CASE 867B-04, STYLE 1

NOTE: Pin 1 is the notched pin.

PIN NUMBER			
1	V <sub>out</sub>	4	N/C
2	Grd	5	N/C
3	V <sub>S</sub>	6	N/C

NOTE: Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Pin 1 is noted by the notch in the Lead. Do not connect to external circuitry or ground.

## Anexo No. 2b) Características del sensor de presión MOTOROLA MPX4115

## MPX4115 SERIES

### MAXIMUM RATINGS(1)

Parametrics	Symbol	Value	Unit
Overpressure <sup>(2)</sup> (P1 > P2)	P <sub>max</sub>	400	kPa
Burst Pressure <sup>(2)</sup> (P1 > P2)	P <sub>burst</sub>	1000	kPa
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-40° to +125°	°C
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	-40° to +125°	°C

1. T<sub>C</sub> = 25°C unless otherwise noted.

2. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

### OPERATING CHARACTERISTICS (V<sub>S</sub> = 5.1 Vdc, T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range <sup>(1)</sup>	P <sub>OP</sub>	15	—	115	kPa
Supply Voltage <sup>(2)</sup>	V <sub>S</sub>	4.85	5.1	5.35	Vdc
Supply Current	I <sub>o</sub>	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset <sup>(3)</sup> @ V <sub>S</sub> = 5.1 Volts (0 to 85°C)	V <sub>off</sub>	0.135	0.204	0.273	Vdc
Full Scale Output <sup>(4)</sup> @ V <sub>S</sub> = 5.1 Volts (0 to 85°C)	V <sub>FSO</sub>	4.725	4.794	4.863	Vdc
Full Scale Span <sup>(5)</sup> @ V <sub>S</sub> = 5.1 Volts (0 to 85°C)	V <sub>FSS</sub>	—	4.59	—	Vdc
Accuracy <sup>(6)</sup> (0 to 85°C)	—	—	—	± 1.5	%V <sub>FSS</sub>
Sensitivity	V/P	—	46	—	mV/kPa
Response Time <sup>(7)</sup>	t <sub>R</sub>	—	1.0	—	mS
Output Source Current at Full Scale Output	I <sub>o+</sub>	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time <sup>(8)</sup>	—	—	20	—	mSec
Offset Stability <sup>(9)</sup>	—	—	± 0.5	—	%V <sub>FSS</sub>

Decoupling circuit shown in Figure 3 required to meet electrical specifications.

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Weight, Basic Element (Case 867)	—	—	4.0	—	Grams
Common Mode Line Pressure <sup>(10)</sup>	—	—	—	690	kPa

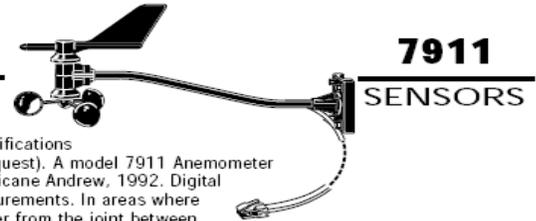
#### NOTES:

- 1.0kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range.
- Offset (V<sub>off</sub>) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Full Scale Output (V<sub>FSO</sub>) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
- Full Scale Span (V<sub>FSS</sub>) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
  - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
  - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
  - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure at 25°C.
  - TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
  - TcOffset: Output deviation with minimum pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
  - Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V<sub>FSS</sub> at 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized.
- Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.
- Common mode pressures beyond what is specified may result in leakage at the case-to-lead interface.

## Anexo No. 3 Características del sensor de velocidad y dirección del viento DAVIS 7911

### ANEMOMETER, Standard

The Anemometer includes both wind speed and wind direction sensors. Rugged components stand up to hurricane-force winds, yet are sensitive to a light breeze. Includes sealed stainless-steel bearings for long life. The range and accuracy specifications of this unit have been verified in wind-tunnel tests (information available upon request). A model 7911 Anemometer reported wind speeds of 175 miles per hour before its tower collapsed during hurricane Andrew, 1992. Digital filtering, with time constant as specified below, is applied to wind direction measurements. In areas where icing of the anemometer is a problem, use Anemometer Drip Rings to deflect water from the joint between moving parts.



### SPECIFICATIONS

#### General

##### Sensor Type

Wind Speed . . . . . Wind cups and magnetic switch  
Wind Direction . . . . . Wind vane and potentiometer

**Attached Cable Length** . . . . . 40' (12 m)

**Cable Type** . . . . . 4-conductor, 26 AWG

**Connector** . . . . . Modular connector (RJ-11)

##### Recommended Maximum Cable Length

Wizard and Monitor . . . . . 140' (42 m) Sensor to Console  
GroWeather and EnviroMonitor . . . . . 250' (75 m) from Sensor to SIM + 250' (75 m) from SIM to Console

##### Material

Wind Vane and Control Head . . . . . UV-resistant ABS  
Wind Cups . . . . . Polycarbonate  
Anemometer Arm . . . . . Black-anodized aluminum

**Dimensions** . . . . . 18.5" long x 7.5" high x 4.75" wide (89 mm x 83 mm x 38 mm)

**Weight** . . . . . 2 lbs. 15 oz. (1.332 kg)

#### Console Data (These specifications apply to sensor output as converted by Davis Instruments weather station consoles.)

##### Range

Wind Speed (See Note 1) . . . . . 0 to 175 mph (150 knots, 78 m/s, 280 km/hr)  
Wind Direction . . . . . 0° to 360° or 16 compass points  
Wind Run . . . . . 0 to 1999.9 miles (1999.9 km)

##### Accuracy

Wind Speed . . . . . ±5%  
Wind Direction . . . . . ±7°  
Wind Run . . . . . ±5%

##### Resolution

Wind Speed . . . . . 1 mph (1 knot, 0.1 m/s, 1 km/hr)  
Wind Direction . . . . . 1° (0° to 355°), 22.5° between compass points  
Wind Run . . . . . 0.1 m (0.1 km)

##### Measurement Timing

Wind Speed Sample Period . . . . . 2.25 seconds  
Wind Speed Sample and Display Interval . . . . . 2.25 seconds (Monitor & Wizard), 3 seconds (GroWeather & EnviroMonitors)  
Wind Direction Sample Interval . . . . . 1 second (Monitor & Wizard), 1.5 seconds (GroWeather & EnviroMonitors)  
Wind Direction Filter Time Constant (typical) . . . . . 8 seconds (Monitor & Wizard), 6-9 seconds (GroWeather & EnviroMonitors)  
Wind Direction Display Update Interval . . . . . 2 seconds (Monitor & Wizard), 1 second (GroWeather & EnviroMonitors)  
Wind Run Sample and Display Interval . . . . . 3 seconds (GroWeather & Energy EnviroMonitor)

#### WeatherLink® Data (These specifications apply to sensor output as logged and displayed by the WeatherLink.)

**Wind Speed** . . . . . Average during archive interval  
**High Wind Speed** . . . . . Maximum during archive interval  
**Wind Direction** . . . . . Dominant wind direction during archive interval  
**Wind Run** . . . . . Sum over archive interval (GroWeatherLink & Energy WeatherLink)

#### Input/Output Connections

**Black** . . . . . Wind speed contact closure to ground  
**Green** . . . . . Wind direction pot wiper (360° = 20 kOhm)  
**Yellow** . . . . . Pot supply voltage  
**Red** . . . . . Ground

## Anexo No. 4 Escala BEAUFORT para características de velocidad del viento

La velocidad del viento, medida en nudos o en km/h, marca el tipo de viento, utilizándose universalmente la escala BEAUFORT

F	DEFINICIÓN	NUDOS	Km/h	OBSERVACIONES EN LA MAR (M) Y EN LA TIERRA (T)
0	CALMA	< 1	< 1	<b>M:</b> La mar está como un espejo. <b>T:</b> El humo sube verticalmente.
1	VENTOLINA	1-3	1-5	<b>M:</b> Rizos sin espuma. <b>T:</b> La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas.
2	FLOJITO (Brisa muy débil)	4-6	6-11	<b>M:</b> Olas pequeñas que no llegan a romper. <b>T:</b> El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas.
3	FLOJO (Brisa débil)	7-10	12-19	<b>M:</b> Olas algo mayores cuyas crestas comienzan a romper. Borreguillos dispersos. <b>T:</b> Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas.
4	BONANCIBLE (Brisa moderada)	11-16	20-28	<b>M:</b> Las olas se hacen más largas. Borreguillos numerosos. <b>T:</b> El viento levanta los árboles pequeños. En los estanques se forman olas pequeñas.
5	FRESQUITO (Brisa fresca)	17-21	29-38	<b>M:</b> Olas moderadas alargadas. Gran abundancia de borreguillos, eventualmente algunos rociones. <b>T:</b> Se mueven los árboles pequeños. En los estanques se forman olas pequeñas.
6	FRESCO (Brisa fuerte)	22-27	39-49	<b>M:</b> Se comienzan a formar olas grandes. Las crestas de espuma blanca se extienden por todas partes. Aumentan los rociones. <b>T:</b> Se mueven las ramas grandes de los árboles. Silban los hilos del telégrafo. Se utilizan con dificultad los paraguas.
7	FRESCACHON (Viento fuerte)	28-33	50-61	<b>M:</b> La mar engruesa. La espuma de las crestas empieza a ser arrastrada por el viento, formando nubecillas. <b>T:</b> Todos los árboles se mueven. Es difícil andar contra el viento.
8	TEMPORAL (Duro)	34-40	62-74	<b>M:</b> Olas de altura media y más alargadas. De las crestas se desprenden algunos rociones en forma de torbellinos, la espuma es arrastrada en nubes blancas. <b>T:</b> Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.
9	TEMPORAL FUERTE (Muy duro)	41-47	75-88	<b>M:</b> Olas gruesas: la espuma es arrastrada en capas espesas. Las crestas de las olas comienzan a romper. Los rociones dificultan la visibilidad. <b>T:</b> Ocurren desperfectos en las partes salientes de los edificios, cayendo chimeneas y levantando tejados.
10	TEMPORAL DURO (Temporal)	48-55	89-102	<b>M:</b> Olas muy gruesas con crestas empenachadas. La espuma se aglomera en grandes bancos, siendo arrastrada por el viento en forma de espesas estelas blancas. En su conjunto la superficie del mar parece blanca. La visibilidad se reduce. <b>T:</b> Se observa rara vez. Arranca árboles y ocasiona daños de consideración en los edificios.
11	TEMPORAL MUY DURO (Borrasca)	56-63	103-117	<b>M:</b> Olas excepcionalmente grandes (los buques de pequeño y mediano tonelaje pueden perderse de vista). La mar está completamente cubierta de bancos de espuma blanca extendidas en la dirección del viento. Se reduce aún más la visibilidad. <b>T:</b> Observada muy rara vez. Ocasiona destrucción en todas partes.
12	TIEMPO HURACANADO (Huracán)	64-71	118-133	<b>M:</b> El aire está lleno de espuma y de rociones. La mar está completamente blanca debido a los bancos de espuma. La visibilidad es muy reducida. <b>T:</b> SIN COMENTARIOS.
13		72-80	134-149	Las nuevas tecnologías permiten cuantificar nuevas escalas (13 a 17) en las cuales deseamos que nadie se vea envuelto.
14		81-89	150-166	
15		90-99	167-183	
16		100-108	184-201	
17		109-118	202-220	

La velocidad del viento se suele expresar en km/h (en tierra) y en nudos (en la mar):

$$v \text{ (km/h)} = 3,6 \cdot v \text{ (m/s)}$$

$$v \text{ (m/s)} = v \text{ (km/h)} / 3,6$$

$$v \text{ (nudos)} = 1,9438 \cdot v \text{ (m/s)}$$

$$v \text{ (m/s)} = 0,5144 \cdot v \text{ (nudos)}$$

$$v \text{ (nudos)} = 1,852 \cdot v \text{ (km/h)}$$

$$v \text{ (km/h)} = v \text{ (nudos)} / 1,852$$

### Anexo No. 5 Descripción de conexión de una LCD 2x16

Pin nº	Símbolo	Conexión	Descripción
1	V <sub>ss</sub>	V <sub>ss</sub>	Patilla de tierra de alimentación
2	V <sub>dd</sub>	V <sub>dd</sub>	Patilla de alimentación de +5V
3	V <sub>o</sub>	V <sub>o</sub>	Patilla de contraste del cristal líquido. Normalmente se conecta a un potenciómetro a través del cual se aplica una tensión variable entre 0 y +5V que permite regular el contraste del cristal líquido.
4	RS	RA0	Selección del registro de control/registro de datos: <b>RS =0</b> Selección del registro de control <b>RS=1</b> Selección del registro de datos
5	R/W	RA1	Señal de lectura/escritura <b>R/W=0</b> El Módulo LCD es escrito <b>R/W=1</b> El Módulo LCD es leído
6	E	RA2	Señal de activación del módulo LCD: <b>E=0</b> Módulo desconectado <b>E=1</b> Modulo conectado
7-14	D0-D7	RB0-RB7	Bus de datos bi-direccional. A través de estas líneas se realiza la transferencia de información entre el módulo LCD y el sistema informático que lo gestiona

# **ANEXO No. 6**

## **Resultados experimentales obtenidos**