



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ELABORACION DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE  
DATOS PARA UNA ESTACION METEOROLOGICA  
UTILIZANDO HERRAMIENTAS LABVIEW.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A :

**BASALDUD CRUZ ROBERTO**



**EXAMENES PROFESIONALES**  
FACULTAD DE QUIMICA

MEXICO, D. F.

2004





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

FIRMA: \_\_\_\_\_

## *Jurado Asignado:*

Presidente: José Antonio Ortiz Ramírez  
Vocal: Carlos Amador Bedolla  
Secretario: Michel Grutter de la Mora  
1er sup. Rodolfo Torres Barrera  
2do sup. Ernesto José Calderón Castillo

Sitio donde se desarrollo el tema:  
Laboratorio de Espectroscopia  
Área de Físicoquímica Atmosférica  
Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

Asesor de Tesis.



Dr. Michel Grutter de la Mora.

Sustentante.



Basaldud Cruz Roberto



*A*

*Estela Cruz Jiménez y Odilon Basaldud García*  
*Mis padres, con admiración y cariño*

*A mis hermanos Carlos A. y Oscar R.*

*Para las dos personas que han cambiado mi vida, llenándola amor y felicidad*

*Patricia, por la paciencia, la comprensión y el apoyo que ha significado para mí tu compañía.*

*Rodrigo, mi hijo, por el amor que le tengo, la felicidad que trajo a mi vida y que con su inquietud continua, siempre es un reto para mí.*

*Cuando creíamos que teníamos todas las respuestas, de pronto, cambiaron todas las preguntas.*

*Mario Benedetti*

## *Agradecimientos:*

*Al Dr. Michel Grutter de la Mora por haberme permitido participar en su grupo de trabajo, así como por su apoyo y amistad.*

*A la ingeniera Gloria Mata por su valiosa dedicación y asesoría en la realización de este sistema de adquisición de datos.*

*Al Ing. Gustavo Vásquez por permitirme tener acceso a sus datos meteorológicos que sirvieron como referencia para evaluar el sistema de adquisición de datos.*

*Este trabajo fue patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), dentro del proyecto 33620-T "Mediciones espectroscópicas en el infrarrojo para la detección de contaminantes en la Ciudad de México".*

# Índice

Introducción.....	1
<b>Capítulo 1 La Zona Metropolitana del Valle de México.....</b>	<b>5</b>
1.1 Caracterización de la ZMVM.....	5
1.2 Los vientos en la Ciudad de México.....	10
1.3 Épocas climáticas en la ZMVM.....	11
1.4 Las Inversiones Térmicas.....	13
<b>Capítulo 2 Variables Meteorológicas.....</b>	<b>16</b>
2.1 ¿Qué es el Viento?.....	17
2.2 Medición de las propiedades del aire.....	18
2.2.1 Humedad.....	18
2.2.2 Medición de la humedad.....	22
2.2.3 Medición de temperatura.....	23
2.2.4 Velocidad de Viento.....	25
2.2.5 Dirección de Viento.....	28
2.2.6 Radiometría.....	29
<b>Capítulo 3 Introducción a LabVIEW.....</b>	<b>31</b>
3.1 Instrumentación Virtual.....	31
3.1.1 Tarjetas de interfaz con la PC.....	33
3.1.2 Realización de mediciones con tarjetas "plug in".....	33
3.1.3 ¿Cómo construir un instrumento virtual?.....	34
3.2 ¿Qué es LabVIEW?.....	34
3.2.1 Diseño de la interfaz de usuario a partir de su código.....	35
3.2.2 Menús de LabVIEW.....	38
3.3 Flujo de Datos.....	39
3.4 Estructuras y Elementos de Programación.....	40
3.5 ¿Cómo utilizar la ayuda?.....	43
3.6 Controladores e indicadores básicos en LabVIEW.....	43
3.7 Diagrama de Bloques.....	45
3.8 Tipos de gráficos en LabVIEW.....	47
3.8.1 Indicadores Chart.....	47
3.8.2 Indicadores Graph.....	47

<b>Capítulo 4 Acondicionamiento de señales</b> .....	<b>49</b>
4.1 Los Transductores.....	50
4.1.1 Monitoreo de temperatura y Humedad Relativa.....	51
4.1.2 Monitoreo de Radiación Solar.....	52
4.1.3 Monitoreo de Dirección y Velocidad de Viento.....	53
4.2 Acondicionamiento de la Señal.....	54
4.2.1 El Sensor de temperatura.....	54
4.2.2 El Sensor de humedad relativa.....	56
4.2.3 El Sensor de Radiación Solar.....	56
4.2.4 El Sensor de velocidad de viento.....	57
4.2.5 El Sensor de dirección de viento.....	58
4.3 Tarjeta de Adquisición de Datos.....	58
4.3.1 Los circuitos de conteo y temporización de entrada y salida.....	60
4.3.2 Tasa de Muestreo.....	60
4.3.3 Rango.....	61
4.4 Adquisición de datos.....	61
4.5 Configuración de la tarjeta 6035E.....	63
4.6 Prueba de tarjetas NI-DAQ.....	64
<b>Capítulo 5 Programación del Instrumento Virtual</b> .....	<b>65</b>
5.1 Panel frontal.....	66
5.2 Diagrama de bloques.....	67
<b>Capítulo 6 Resultados y Conclusiones</b> .....	<b>95</b>
6.1 Resultados.....	96
6.2 Análisis de resultados.....	97
6.3 Conclusiones.....	100
<b>Capítulo 7 Bibliografía</b> .....	<b>102</b>

## Introducción

*La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) constituye el mejor ejemplo de la conflictividad que se establece entre medio ambiente y desarrollo urbano, por ser una de las megalópolis más pobladas del mundo con todos los problemas inherentes en cuanto a contaminación atmosférica. Aunado a esto, posee una serie de características geográficas y climáticas únicas que contribuyen de manera determinante en la severidad de los problemas de contaminación atmosférica:*

- *Se encuentra a una altura de 2240 metros, por lo que el contenido de oxígeno del aire es menor que al nivel del mar. Esto hace que los procesos de combustión interna sean menos eficientes y produzcan por tanto una mayor cantidad de contaminantes.*
  
- *Está rodeado por montañas, las que constituyen una barrera física natural para la circulación del viento, impidiendo el desalojo del aire contaminado fuera del Valle.*

- *Se localiza dentro de la región central del país, por lo cual está sujeto también a la influencia de sistemas anticiclónicos, generados tanto en el Golfo de México como en el Océano Pacífico. Estos sistemas ocasionan una gran estabilidad atmosférica, inhibiendo el mezclado vertical del aire.*
  
- *Presenta con frecuencia inversiones térmicas que provocan el estancamiento de los contaminantes. Por las mañanas, la capa de aire que se encuentra en contacto con la superficie del suelo adquiere una temperatura menor que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa y pesada. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes actúan entonces como una cubierta que impide el movimiento ascendente del aire contaminado.*
  
- *Recibe una abundante radiación solar, lo que hace que su atmósfera sea altamente fotorreactiva. En presencia de la luz solar, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan fácilmente para formar ozono y otros oxidantes.*

*La caracterización de la atmósfera constituye un problema muy importante ya que el grado de concentración de contaminantes atmosféricos en una ciudad varía cotidianamente, razón por la que se necesitan técnicas cada vez más precisas y que permitan realizar un análisis en tiempo real.*

*Lo expresado en el párrafo anterior es el principal motivo por el cual en el Centro de Ciencias de la Atmósfera se trabaja con diversas técnicas de monitoreo atmosférico para la cuantificación de las concentraciones de distintos gases traza. En lo particular el Laboratorio de Espectroscopia Atmosférica emplea la Espectrometría FTIR (Fourier Transform Infrared) en trayectoria abierta.*

*La espectrometría FTIR está basada en las absorciones características que las moléculas presentan en la región espectral del infrarrojo y nos permite realizar muestreos in situ, en tiempo real y de múltiples compuestos simultáneamente para la determinación de concentraciones de varias decenas de contaminantes atmosféricos en fase gaseosa, como el monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono, formaldehído, amoníaco, óxido nítrico y metanol entre otros*

Los parámetros fundamentales que rigen el transporte y dilución de contaminantes en la atmósfera se pueden precisar cualitativa y cuantitativamente permitiendo comparar la concentración de contaminantes bajo diferentes condiciones climatológicas y así determinar la frecuencia y rapidez de los procesos de difusión atmosférica. Es por ello que se consideró pertinente realizar estudios de correlación, entre la concentración de contaminantes con los distintos parámetros meteorológicos como son: la temperatura, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento, como una primera etapa.

Este estudio es importante ya que actualmente, es muy poco lo que se conoce acerca de la concentración de contaminantes y su relación con distintas condiciones meteorológicas, razón por la cual el presente trabajo muestra el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos (SAD) usando instrumentación virtual, que permita monitorear variables meteorológicas tales como: humedad relativa, temperatura, radiación solar, velocidad y dirección de viento. Con el desarrollo de este SAD, no sólo se podrá contar con los datos de las variables meteorológicas y con una plataforma capaz de registrar la salida de cualquier sensor analógico, sino se podrán sincronizar estas variables a las mediciones de contaminantes obtenidas con el espectrómetro FTIR.

El instrumento virtual registra las variables a través de una tarjeta de adquisición de datos para posteriormente ser analizadas en una computadora personal, el lenguaje de programación empleado para realizar estas tareas es LabVIEW, el cual proporciona una interfase gráfica que permite tener un SAD con capacidad para mostrar en tiempo real la evolución de las variables monitoreadas, registra una base de datos de las mediciones y permite seleccionar el periodo de muestreo de los datos que se desean adquirir.

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la PC como un dispositivo que permite registrar diferentes variables físicas (temperatura, presión, caudal), representadas por señales analógicas de corriente o voltaje eléctricos, empleando técnicas de implementación híbrida Hardware – Software. Este concepto va más allá de la simple medición de corriente o voltaje, pues también involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales específicas.



La forma más común de instrumentación virtual consiste en una PC, una tarjeta apropiada para la captura, conversión y acondicionamiento de las señales eléctricas representativas de las variables físicas a estudiar además de utilizar un software comercial que facilite esta tarea.

El software es la esencia del sistema de instrumentación virtual, ya que es el que le confiere la flexibilidad necesaria para variadas aplicaciones y modos de operación, seleccionables por programa. Existen varias posibilidades pero se pueden resumir en dos grandes grupos, los entornos de programación de tipo lingüístico y los entornos de programación gráficos.

Este trabajo se concentra en la aplicación de las técnicas de simulación y control de procesos haciendo uso de la tecnología PC y un lenguaje de programación 100% gráfico que permite la construcción de modelos mediante un lenguaje de programación con "íconos interconectados por cables gráficos", cuyo código es ejecutado en base al principio de "flujo de datos" por los "cables" que interconectan los diferentes "íconos" o funciones. Combinando este lenguaje de programación 100% gráfico con tarjetas de adquisición y control (entradas/salidas) para el PC, se puede entonces configurar un sistema de simulación y control capaz de manejar señales reales (analógicas y digitales, de entrada y de salida) y ejecutar modelos matemáticos de control de procesos en tiempo-real.

Existen muchos lenguajes de programación en el mercado. Algunos de ellos utilizan la denominación "visual" en su nombre (Ej. Visual C, Visual Basic, etc.). Lo cierto es que la mayoría de estos lenguajes son no más del 50% visuales, ya que están basados en una combinación de objetos gráficos y texto. Sin embargo, si existen lenguajes de programación 100% gráficos, es decir, lenguajes que permiten programar y desarrollar una aplicación sin utilizar texto. En este trabajo se utilizó un lenguaje de programación que permite la programación sin texto, utilizando sólo íconos, cables gráficos y controles ó indicadores (objetos gráficos) LabVIEW.

El principio de programación utilizado por este lenguaje gráfico se basa en cuatro elementos básicos:

- El uso de íconos, cables gráficos y controles-indicadores.
- Programación en base a un diagrama de bloques.
- El uso de 2 ventanas de programación: panel de control y panel del diagrama de bloques.
- Ejecución del programa en base al flujo de datos, en forma paralela.

*La programación con diagramas de bloques se basa en íconos o bloques gráficos que se interconectan entre sí a través de "cables gráficos". Los datos "fluyen" entre los bloques o funciones a través de los "cables gráficos". Cada bloque o función cuenta con terminales de entrada en el lado izquierdo, y terminales de salida, en el lado derecho.*

*Cada bloque se ejecuta cuando todos los datos de entrada son recibidos en las terminales de entrada, permitiendo la ejecución paralela de más de un bloque en un mismo programa. Los programas realizados en LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales ó VI (por sus siglas en inglés), y puede incluir uno ó mas subVÍ's como una especie de subrutina.*

*A cada tipo de dato (entero, punto-flotante, cadena de caracteres, etc.) se le asigna un color específico, lo que permite su rápida identificación en el código fuente. Los VI son jerárquicos y modulares. Se pueden utilizar como programas principales o como subprogramas (subVI).*

# 1

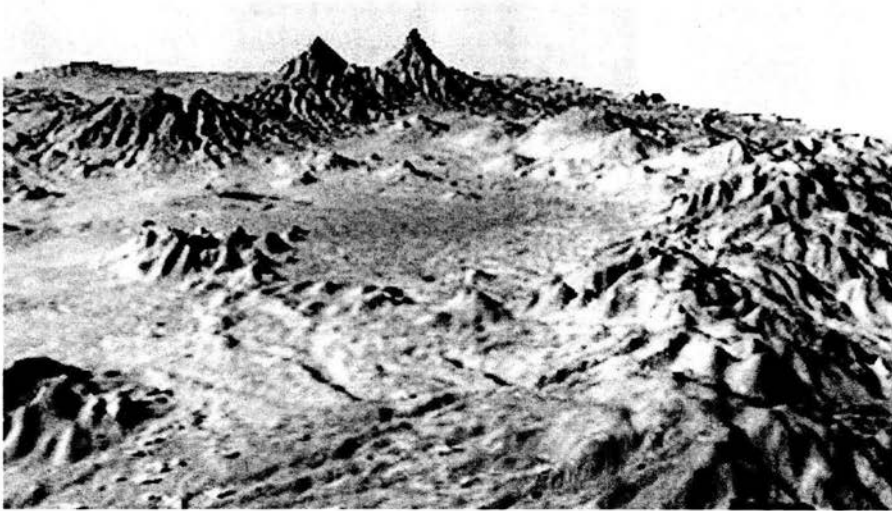
## La Zona Metropolitana del Valle de México

### 1.1 Caracterización de la ZMVM

Se considera al Valle de México (fig. 1-1) como parte de una cuenca endorreica; es decir, una planicie rodeada por montañas, la cual tiene una altura promedio de 2,240 metros sobre el nivel del mar y una superficie de 9,560 Km<sup>2</sup> que abarca casi la totalidad del Distrito Federal (1,320 Km<sup>2</sup>), así como 4,800 Km<sup>2</sup> del Estado de México, 2,500 Km<sup>2</sup> del Estado Hidalgo, 840 Km<sup>2</sup> del Estado Tlaxcala y 100 Km<sup>2</sup> del Estado Puebla. (1)

Esta cuenca presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco. También se encuentran prominencias topográficas aisladas como el Cerro de la Estrella, el Peñón y el Cerro de Chapultepec, entre otros.

La cuenca se encuentra rodeada en tres de sus lados por una magnífica sucesión de sierras volcánicas de más de 3,500 metros de altitud (El Ajusco hacia el sur, la Sierra Nevada hacia el oriente y la Sierra de las Cruces hacia el poniente). Hacia el norte se encuentra, limitada por una sucesión de sierras y cerros de poca elevación (Tepetzotlán, Patlachique, Santa Catarina, y otros).



**Figura 1-1.** Cuenca del Valle de México.

Los picos más altos (Popocatepetl e Iztaccíhuatl, con una altitud de 5,465 y 5,230 metros sobre el nivel del mar, respectivamente) se encuentran al sureste de la cuenca. Otros picos alcanzan elevaciones cercanas a los 4,000 metros, lo que propicia una circulación de vientos provenientes del noroeste-noreste. La cuenca del valle de México tiene una alta incidencia de calmas e inversiones térmicas todo el año.

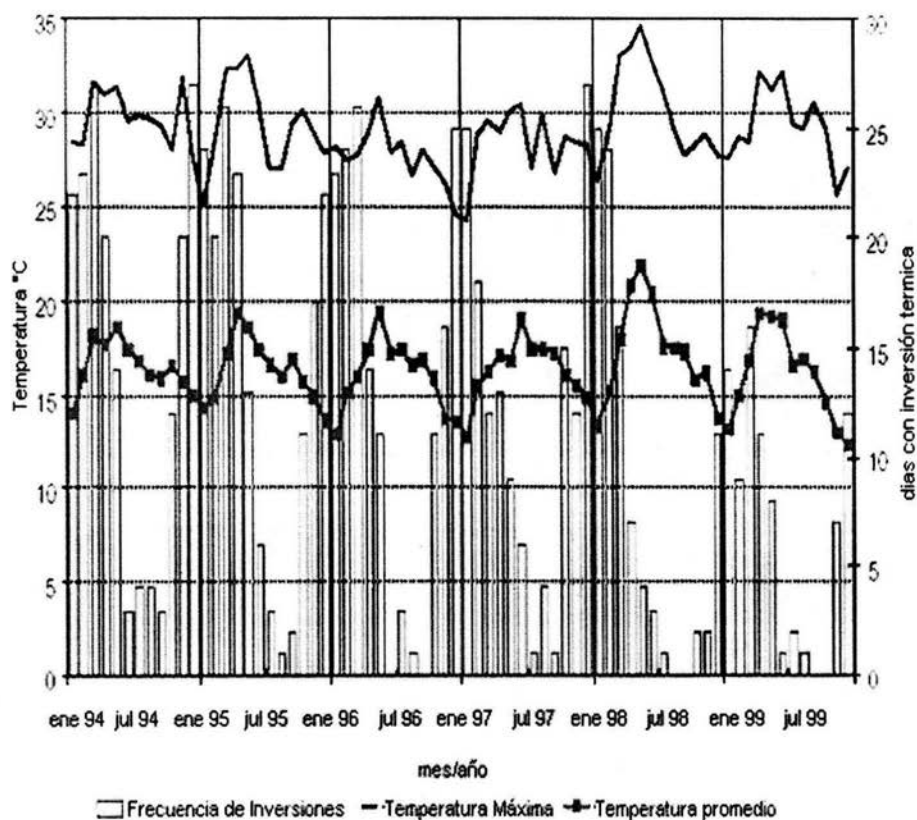
Debido a su altitud, los procesos de combustión son menos eficientes y por lo tanto más contaminantes, además de recibir una radiación solar intensa, la incidencia de radiación solar es entre 218 y 230  $Wm^{-2}$ , que favorece la presencia de contaminantes fotoquímicos.

En la gráfica 1 se observa que la temperatura máxima y promedio en la ZMVM, presenta un patrón estacional de acuerdo con la época del año, prevaleciendo valores bajos en la época Seca-Fría, altos en la Seca-Caliente y moderada en la de Lluvias. En esta tendencia sobresale 1998 y especialmente los meses de abril, mayo y junio por presentar las temperaturas promedio más altas del período. Este incremento se asoció con el fenómeno del Niño 97-98, considerado como el más fuerte de este siglo, ya que este aumento de la temperatura ocurrió a nivel mundial.

El niño es un fenómeno que ocurre en el Pacífico Sur, frente a las costas de Ecuador y Perú, y consiste en el calentamiento de las aguas en aproximadamente 2° por arriba de lo normal. De acuerdo a los registros existentes, el niño es un fenómeno que de forma continua se ha presentado en este siglo, con una periodicidad de entre 3 y 8 años.

Sin embargo, en las últimas décadas, el calentamiento de las aguas se ha presentado con una mayor intensidad elevando la temperatura hasta en 10° por encima de lo normal en los períodos de 1982-1983 y 1997-1998, con graves consecuencias para la vida no sólo en el área donde ocurrió el calentamiento anormal de las aguas, sino también en otros lugares del planeta.

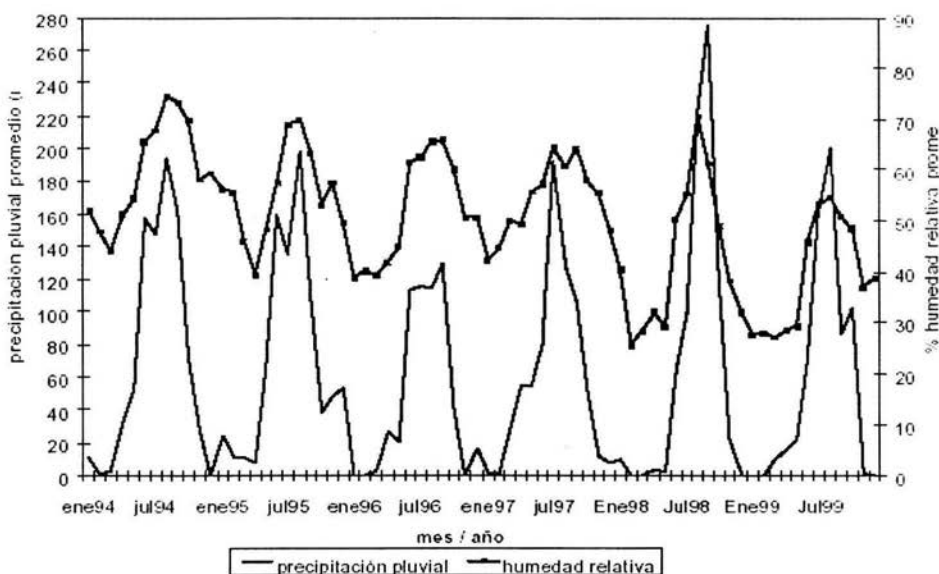
En mayo de 1999 se tuvieron temperaturas promedio similares a las registradas en ese mismo mes en el período de 1994 a 1997, sin embargo, en los meses de abril y junio de 1999 la temperatura alcanzó niveles que usualmente solo se presentan en mayo. Ya que los períodos en los que se calientan anormalmente las aguas en las costas de Perú y Ecuador, o años del niño, se alternan con años anormalmente fríos.



**Grafica 1-1** Inversiones Térmicas y Temperatura en el Valle de México  
(Informe anual de la calidad del aire y precipitación ácida en el valle de México 2000.).

Por otra parte, la grafica 1-1 también denota la relación inversa que existe entre el aumento de las inversiones térmicas y el descenso de la temperatura en la época Seca-Fría. La presencia de las inversiones térmicas en invierno se debe al desplazamiento de aire frío del noroeste del país hacia el centro, ocasionado por la presencia de sistemas de alta presión. Este fenómeno propicia la acumulación de contaminantes en superficie. Es notable que en 1999 el número de días con inversiones térmicas a nivel de superficie disminuyó considerablemente con respecto a los años anteriores, al presentarse en 81 días.

Las temperaturas medias anuales en el fondo de la cuenca son de aproximadamente 15° C, con una amplitud de 8° C entre las medias de verano y de invierno. Las heladas nocturnas durante el invierno ocurren en casi toda la cuenca, y su frecuencia tiende a aumentar considerablemente con la elevación y la aridez.



**Grafica 1-2.** Precipitación pluvial y Humedad Relativa en el Valle de México  
(Informe anual de la calidad del aire y precipitación ácida en el valle de México 2000.)

La precipitación media mensual histórica en la ZMVM se estima en 65 mm, con fluctuaciones entre 0 y 275 mm. En la gráfica 1-2, se observa que los períodos de máxima precipitación en los últimos seis años muestran cierta regularidad con la excepción de 1996 y 1998, este último año sobresalió por registrar en septiembre los niveles altos de precipitación pluvial (En México, el niño está relacionado con precipitaciones pluviales durante el invierno).

Con el aumento de la precipitación en septiembre de 1998 también se incrementó la humedad relativa, sin embargo este parámetro continuó mostrando en 1999 la tendencia decreciente de años anteriores.

Los valores de la gráfica 1-2 presentan un comportamiento estacional bien definido, ya que en la época de lluvias (junio-octubre) se registra aproximadamente el 85% de la lluvia total anual. Las zonas de mayor precipitación pluvial en la ZMVM se encuentran hacia el suroeste y sur-sureste y las de menor precipitación al norte y noreste. Hay un pronunciado gradiente de precipitaciones dentro de la cuenca, desde áreas de gran cantidad de lluvias hacia el suroeste (aprox. 1'500 mm anuales), hasta áreas de clima semiárido hacia el noreste (cerca de 600 mm por año).

Se ha estudiado que en términos globales la visibilidad promedio en la ciudad de México ha ido disminuyendo año con año. Los estudios de correlación entre la concentración de contaminantes y los distintos parámetros meteorológicos son muy escasos. Esto es una necesidad urgente en la Ciudad de México y regiones aledañas ya que la visibilidad es de gran importancia para la sociedad. A continuación se comenta un caso de reducción de la visibilidad.

Este caso, a pesar de las horas en que tuvo lugar, no pasó desapercibido para muchas personas de esta ciudad (3). Ocurrió en las últimas horas del 24 de diciembre del año de 1969 y primeras 5 horas del día siguiente. Durante este periodo hubo partes de la ciudad, como el Aeropuerto Internacional, donde la visibilidad se redujo a tan solo 100 metros debido al humo, polvo y otros productos de la combustión. Desde el punto de vista meteorológico, este fenómeno se puede atribuir a las bajas velocidades del viento superficial y a la inversión de temperatura sobre la ciudad. Estos factores están confirmados con las observaciones meteorológicas hechas en las fechas mencionadas; la velocidad máxima del viento observada y/o registrada fue de 0.2 m/s, y el radiosondeo de las 18:00 horas del 24 de diciembre, presenta una inversión de la temperatura en la altura de 3,260 metros sobre la superficie, la cual subsidió hasta 2,290 metros en las 24 horas siguientes. Esta inversión que prevaleció sobre el Valle de México, aunada a la distribución de la temperatura con la altura a partir de la superficie, restringió el movimiento vertical del aire que se encontraba cerca de la superficie. El resultado obtenido fue que la concentración de contaminantes en la atmósfera se haya elevado a tal grado ese día, que la visibilidad se redujo a límites poco observados antes.

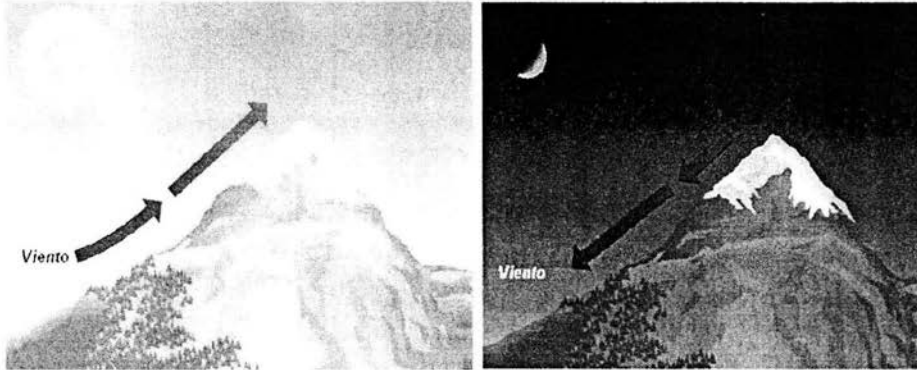
Casos similares al ejemplo anterior se presentan por lo general entre las 06:00 y 08:00 horas, intervalo en el que se presentan grandes emisiones y la inversión de temperatura tiende a persistir debido al débil calentamiento solar. Este intervalo fue tomado como dato promedio de las observaciones de la visibilidad diarias hechas en el observatorio de Tacubaya del Servicio Meteorológico Nacional, de las 06:00 a las 18:00 horas. Empero, a medida que el calentamiento acrecienta, la inversión de temperatura tiende a romperse y el gradiente de temperatura se vuelve estable. De esas mismas observaciones, se vio que la visibilidad máxima ocurre, generalmente, entre las 17:00 y 18:00 horas. Las visibilidades máximas registradas están, entre otras cosas, asociadas a altas velocidades de vientos o se manifiestan después de una precipitación intensa. Otra observación fue el que, en general, la visibilidad en la Ciudad de México tiende a sus mayores valores durante los domingos debido a las reducidas emisiones.

De lo expuesto antes, y en particular del ejemplo anterior, se concluye que cualquier programa de investigación sobre contaminación atmosférica tiene que apoyarse fuertemente en la meteorología. Esto tanto en su forma rutinaria de pronósticos locales, los cuales a su vez pueden ayudar a predecir episodios de contaminación severos, así como en estudios climatológicos. Con los estudios teóricos se ha empezado a comprender más acerca de las condiciones que regulan la dispersión y el transporte de los contaminantes.

## *1.2 Los vientos en la Ciudad de México.*

La circulación del aire en un valle es la impuesta por los contrastes térmicos que se originan durante el día por el asoleamiento diferencial entre las laderas y la planicie. Esto resulta en vientos que van hacia el perímetro del valle (vientos de valle), mientras que por la noche el flujo del aire es opuesto, es decir, el aire frío de las partes altas de las laderas que bordean el valle baja por densidad hacia el fondo de la planicie. Este vaivén se ve perturbado por las corrientes atmosféricas de escala regional que visitan la cuenca de México: durante el periodo de secas (noviembre a abril) predominan los vientos secos del oeste, que a su paso levantan con frecuencia nubes de polvo, tanto en la de la cuenca como en las laderas de las montañas del sur, donde los bosques están siendo sustituidos por una caótica y creciente urbanización (6).





**Figura 1-2.** Patrones de circulación para los vientos de valle y de montaña.

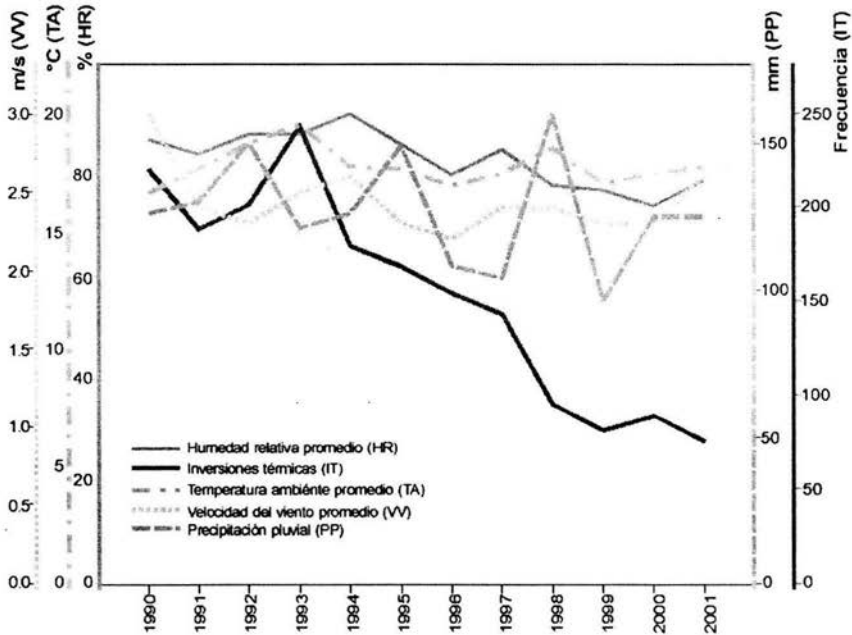
*El aire levanta anualmente más de 300 mil toneladas de polvo en unas 22 mil hectáreas deforestadas. El crecimiento de la mancha urbana ha reducido drásticamente las áreas verdes naturales provocando un cambio irreversible en la calidad ambiental. Las áreas verdes son indispensables para atenuar la contaminación pues evitan la erosión de la tierra.*

*En el resto del año predominan los llamados alisios húmedos que, como se señaló, acarrear las lluvias a la cuenca. La interacción de los vientos locales (de valle y de montaña) con los vientos regionales determina la dirección y fuerza de los vientos observados.*

*En ocasiones, con la llegada de una masa de aire polar a la cuenca en el periodo invernal o cuando se abaten sobre la ciudad las nubes de tormenta (propias de la época de lluvias), se presentan los vendavales o vientos arrachados de máxima intensidad. Estos son capaces de derribar árboles y tirar anuncios o bardas, ocasionando cortes en la energía eléctrica. La dirección preferida de estos vendavales es del suroeste, oeste o noroeste, es decir, soplan con una componente casi siempre del oeste, que es la dirección de la corriente de vientos sinópticos que llegan a la cuenca de México en la estación seca.*

### 1.3 Épocas climáticas en la ZMVM

El clima en la ZMVM es un factor que determina en mayor o menor medida el tiempo de permanencia y comportamiento de los contaminantes atmosféricos. Entre las variables que lo caracterizan destacan: la distancia entre una determinada región y una fuente de humedad (océanos, lagos y ríos), sus barreras orográficas, su altitud y su latitud.



Gráfica 1-3. Promedio mensual de variables climáticas en la ZMVM (período 1990-2001).

Por su ubicación geográfica y particular topografía, la ZMVM está afectada por masas de aire de tipo polar o de aire frío durante el invierno, provenientes del norte del continente. Durante el verano, la ZMVM está afectada por masas de aire de tipo tropical o de aire caliente, originados por la afluencia de aire tropical (normalmente húmedo) proveniente del Océano Pacífico, Mar Caribe y Golfo de México. Es así como los sistemas meteorológicos predominantes definen claramente dos épocas climáticas en la ZMVM: la época de lluvias (de junio a octubre), caracterizada por aire marítimo con alto contenido de humedad y la época de secas (de noviembre a mayo), identificada por presentar bajo contenido de humedad. La transición entre ambas se refleja en los cambio de vientos ya que en el mes de

noviembre, las masas de aire frío comienzan a desplazar a las masas de aire caliente, distinguiéndose dos sub-épocas en la época de secas (seca-fría –de noviembre a febrero– y seca-caliente –de marzo a mayo–).

Como se aprecia en la Gráfica 1-3, la temperatura disminuye en los meses de diciembre y enero, considerados los más fríos del año por la persistencia de masas de aire polar. En cambio, ésta se incrementa en los meses de febrero a mayo por la presencia del aire caliente normalmente de tipo continental proveniente de las regiones tropicales; siendo el mes de mayo el que registra las máximas temperaturas. La temperatura entonces comienza a declinar, debido a que la masa de aire tropical comienza a ser húmeda por lo que en este período, se forma mayor cantidad de nubes dando lugar a que se presente precipitación pluvial generalmente durante las tardes. Conforme avanzan los meses del año la temperatura va descendiendo, ya que los sistemas meteorológicos tropicales como tormentas tropicales, huracanes y grandes áreas nubosas, contribuyen al incremento en la precipitación pluvial principalmente en agosto y septiembre, meses en que se presenta el mayor número de huracanes. En el mes de noviembre (posterior a la temporada de huracanes) se registra un ligero repunte en la temperatura debido a la alternancia entre masas de aire frío y masas de aire caliente. En el mes de diciembre se registran masas de aire polar, propiciando con ello la disminución de la temperatura, la precipitación y la humedad relativa.

En la ZMVM los meses de mayor frío se deben a las masas de aire polar que están asociadas con grandes sistemas de alta presión, siendo estos últimos los responsables de que las masas de aire frío sean desplazadas, desde las áreas polares hacia las áreas tropicales, de tal manera que cuando los sistemas de alta presión llegan a la ZMVM provocan que disminuya la velocidad del viento. Durante los meses más fríos del año los contaminantes atmosféricos y en especial el  $O_3$ , registran concentraciones más elevadas que en el resto del año, además de que permanecen por mayor número de horas en estos valores.

En el caso de la ZMVM, la humedad relativa, la temperatura ambiente y la velocidad del viento a lo largo del período 1990~2001 (Gráfica 1-3), tuvieron un comportamiento fluctuante y ligeramente descendente, principalmente la última de estas variables. Por su parte, la precipitación pluvial muestra cambios anuales de consideración, destacando 1992, 1995 y 1998 como los años de mayor precipitación pluvial. Sólo en el caso de inversiones térmicas se aprecia una disminución continua a lo largo de los últimos años.

### 1.4 Las Inversiones Térmicas

La velocidad a la cual una masa de aire se enfría cuando se descomprime, se conoce como el “gradiente adiabático” del aire. El valor del gradiente adiabático varía según la humedad de la atmósfera, con los valores cercanos a 1°C cada 100 metros, en atmósferas muy secas, hasta valores de 0.6°C a 0.3°C cada 100 metros en atmósferas saturadas de humedad. Se conoce como “perfil térmico” del aire a los valores reales que tiene la temperatura del aire a distintas alturas sobre el suelo, a una cierta hora del día.

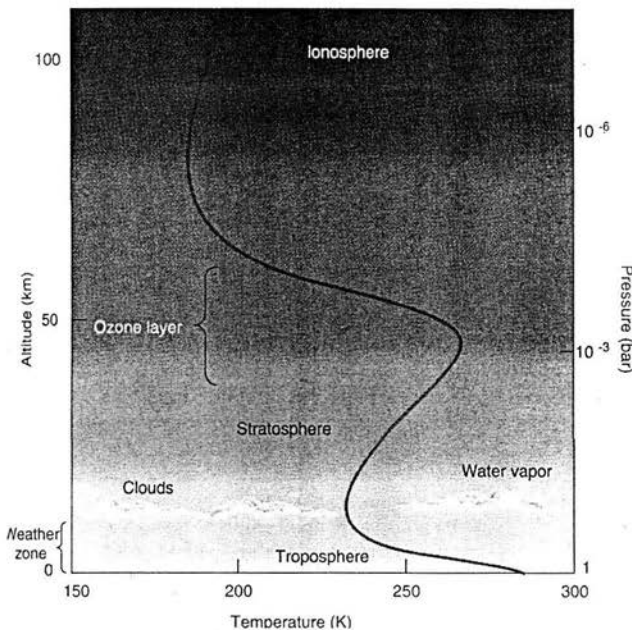
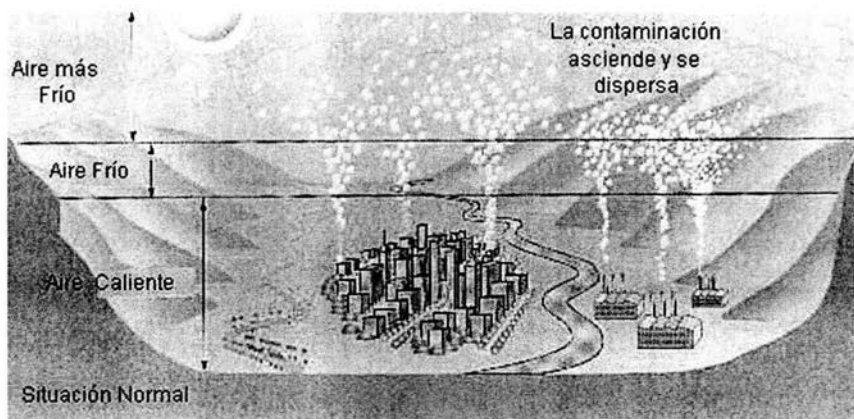


Figura 1-3 Perfil térmico de la atmósfera en función de la altura.

En condiciones normales de la troposfera, la temperatura disminuye cuando la altura aumenta, como se observa en la figura 1-3; sin embargo cuando no se da esta relación se dice que se presenta una inversión térmica, es decir, la temperatura se incrementa con la altura.

En tardes soleadas de verano, los rayos del sol calientan tanto al suelo como a la capa de aire cercana al mismo. Esta capa de aire caliente a nivel del suelo, se encuentra en situación inestable desde el punto de vista físico. A medida que nos acercamos al suelo, el perfil térmico se calienta más rápidamente de lo que se predice el gradiente adiabático pero como

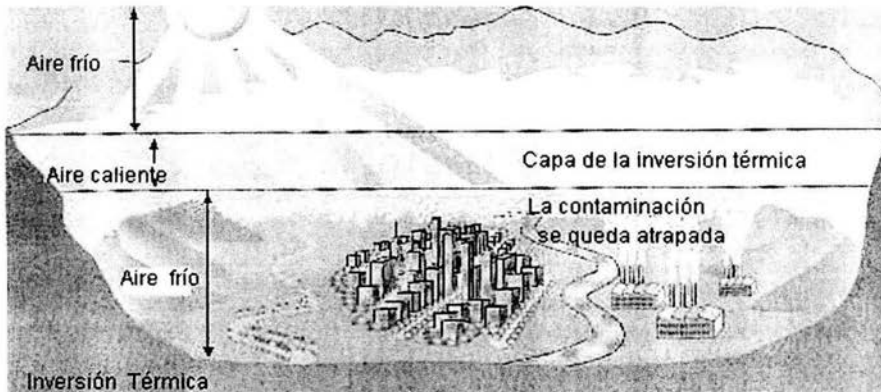
estaba sobrecalentada originalmente, tendrá más temperatura que el aire que la rodea. Al estar más caliente estará más expandida, será más liviana y tenderá a subir como un globo aerostático llevándose los contaminantes hacia arriba, donde se dispersan gracias a la circulación general de la atmósfera.



**Figura 1-4.** Dispersión normal de contaminantes.

En las noches frías en cambio, la situación se invierte, ya que la tierra no recibe radiación solar, pero emite calor (radiación infrarroja) hacia las capas superiores de la atmósfera y hacia el espacio exterior. Como consecuencia, el suelo se enfría, y se enfrían también las capas de aire más cercanas a la tierra. El perfil térmico al revés que en días soleados, se invierte y las capas más frías se encuentran ahora cercanas al suelo. Por esta razón, el fenómeno ha sido descrito como "inversión térmica" (Figura 1-5). La capa de aire frío a nivel del suelo se encuentra ahora en una situación estable, desde el punto de vista físico. Si una pequeña masa de esta capa sube, se enfriará según el gradiente adiabático, pero como estaba fría originalmente, tendrá menos temperatura que el aire que la rodea. Al estar más fría estará menos expandida, será más densa, y tenderá a bajar nuevamente. En noches de inversión térmica la atmósfera se mantiene quieta, desaparecen la turbulencia y los movimientos verticales de aire. Los contaminantes no se dispersan hacia las capas superiores de la atmósfera, sino que se acumulan sobre la superficie.

Durante la mañana siguiente, el sol calentará nuevamente el suelo y con él, las capas de aire más bajas. En algún momento se invertirá el perfil térmico y el aire volverá a mezclarse por movimiento turbulento. El sol habrá iniciado su diaria rutina de elevación de los contaminantes hacia arriba y la superficie podrá respirar nuevamente.



**Figura 1-5.** Inversión térmica.

El requisito físico principal para que se presente una inversión, es una atmósfera clara y libre de humedad, que permita la disipación del calor, y el consecuente enfriamiento, de la superficie del suelo. La tierra emite radiaciones dentro del rango infrarrojo, pero el agua de las nubes es opaca a este tipo de radiación. Por lo tanto, las capas inferiores de aire se enfrían más fácilmente en noches despejadas de invierno y aun en las de primavera (abril-mayo).

La llegada de las lluvias a la ciudad de México genera una atmósfera saturada de humedad, y la frecuencia de inversiones disminuye sensiblemente. Los meses con más frecuencias de inversiones son, obviamente, los meses de invierno, donde se conjugan las bajas temperaturas con la temporada de secas. La altura a la que comienza a invertirse el perfil térmico es también importante.

Cuando más baja sea la inversión, más fácilmente se romperá durante el día. En los eventos de inversión más severos, ésta comienza a más de 400 metros sobre el suelo de la ciudad. La mayor parte de las inversiones, sin embargo, comienzan a cerca de 200 metros sobre el suelo, y algunas inversiones leves lo hacen a menos de 100 metros.

En la ciudad se llegan a registrar anualmente alrededor de 180 días con inversión térmica. Durante el invierno es más frecuente, prolongada y notoria; de 4 a 10 de la mañana la concentración de contaminantes es mayor, pues la temperatura ambiente registra sus más bajos valores; la masa de contaminantes llega a su máxima estabilidad por enfriamiento, por lo que su difusión es mínima. Esto ha reducido notoriamente la visibilidad en la ciudad; en 1940 era de 12 kilómetros en promedio y en la actualidad lo es apenas de 2 kilómetros.

## 2

### Variables Meteorológicas

*Los parámetros fundamentales que rigen el transporte y dilución de contaminantes en la atmósfera se pueden precisar cualitativa y cuantitativamente. Estos datos permiten comparar entre sí las condiciones climatológicas de las diferentes localidades y determinar la frecuencia y rapidez de los procesos de difusión atmosférica. La característica más importante de la atmósfera es el cambio incesante. Las temperaturas, vientos y precipitaciones varían rápidamente según la latitud, las estaciones y la topografía circundante, y sus variaciones generales son bien conocidas y están bastante bien registradas.*

*Otros parámetros meteorológicos importantes como son la turbulencia atmosférica, la temperatura de las capas inferiores del aire y los gradientes de presión, son menos conocidos y, desde luego, están peor registrados. Estos parámetros presentan grandes variaciones en el tiempo y en el espacio, y en realidad son casi los únicos factores meteorológicos que han sido alterados por el hombre en áreas muy reducidas.*

Aunque generalmente atribuida a la industrialización como única causa, la contaminación atmosférica puede deberse también a fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, las tormentas de polvo, las salpicaduras oceánicas, los incendios forestales y el desprendimiento de polen. Para formarse una idea exacta de la función de la atmósfera como agente de difusión es preciso examinar el fundamento físico de los fenómenos que contribuyen a la dispersión atmosférica de los contaminantes.

## 2.1 ¿Qué es el viento?

El viento es el desplazamiento horizontal del aire. Se origina como consecuencia de las diferencias locales de presión atmosférica. El aire se desplaza desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión.

El viento es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. El aire de una zona se calienta, se dilata y asciende, originándose una baja presión (B en la figura adjunta). En otra zona colindante se han instalado unas nubes por lo que el sol llega con menos fuerza, se calienta menos el aire y este no asciende, luego en esta zona la presión se incrementa (A de la figura). Bien pues el aire de la zona de mayor presión fluye hacia la zona de menor presión mediante un desplazamiento horizontal.

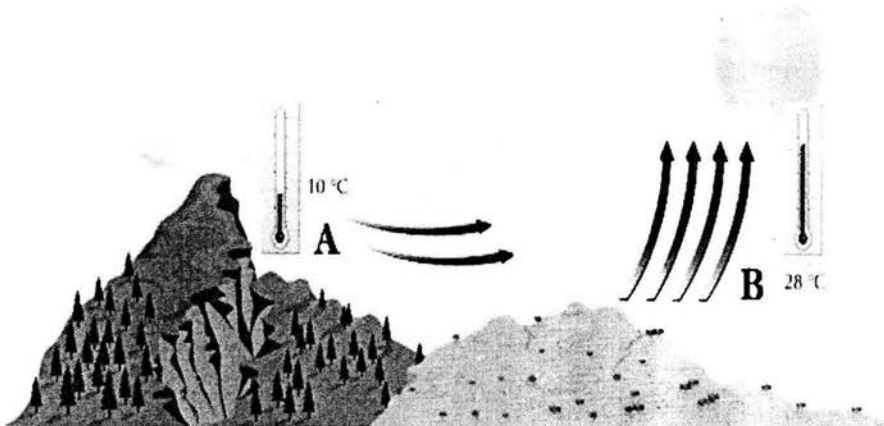


Figura 2-1. Proceso de formación de los vientos



Para describir completamente al viento es necesaria la medición de dirección y velocidad. Teniendo en cuenta esto, los vientos se clasifican en los siguientes tipos:

- ⇒ **Vientos globales:** son las líneas generales de movimiento del viento en el mundo, ya que se generan por la diferencia de temperatura en las grandes masas de la tierra y el agua.
- ⇒ **Vientos locales:** donde existen dos categorías:
  - 1- El viento que sólo se siente en una zona porque la forma de la tierra o su situación con respecto a una masa de agua genera un movimiento de aire específico.
  - 2- Viento que la gente de una zona considera propio a pesar de que puede haberse originado muy lejos de esa zona.
- ⇒ **Viento geostrófico:** son generados, principalmente, por las diferencias de temperatura, así como por las de presión, y apenas son influenciados por la superficie de la tierra. Los vientos geostróficos se encuentran a una altura de 1,000 metros a partir del nivel del suelo. La velocidad de los vientos geostróficos puede ser medida utilizando globos sonda.
- ⇒ **Vientos de superficie**

Los vientos están mucho más influenciados por la superficie terrestre a altitudes de hasta 100 metros. El viento es frenado por la rugosidad de la superficie de la tierra y por los obstáculos. Las direcciones del viento cerca de la superficie serán ligeramente diferentes de las de los vientos geostróficos debido a la rotación de la tierra.

## 2.2 Medición de las propiedades del aire

Aunque los indicadores naturales de los vientos como lo son los árboles y las nubes, han tenido importancia en el conocimiento cualitativo del comportamiento del aire, siempre es necesario llevar a cabo un ulterior programa de observaciones respecto a resultados cuantitativos, utilizando buenos dispositivos de medición.

Los registros instrumentales de los elementos del clima tienen poco más de doscientos años de antigüedad, en el mejor de los casos, pero en la mayor parte del mundo el periodo de observaciones se remonta tan sólo a menos de los cien años. Por otra parte, la distribución de las observaciones no está bien repartida, pues indudablemente se concentra de preferencia en aquellas regiones de la tierra de mayor población. Las primeras

observaciones instrumentales de la atmósfera superior se iniciaron en los últimos años del XIX, pero las observaciones rutinarias de temperatura, humedad y viento, solo se han llevado a cabo en los últimos cincuenta años.

A medida que las masas de aire, caliente o frío, se mueven sobre una estación meteorológica en la superficie terrestre, los instrumentos que registren las propiedades del aire, tales como la presión, temperatura y humedad, variarán en su lectura. Análogamente, tales instrumentos, colocados en otros lugares distintos, registrarán diferentes valores para dichas propiedades, dependiendo de las condiciones atmosféricas locales. Estas variaciones en el tiempo y en el espacio reflejan el carácter del clima en una región geográfica y pueden ser relacionadas con el movimiento atmosférico.

### 2.2.1 Humedad

Cuando el vapor de agua se encuentra en la atmósfera, nos referimos al mismo como humedad, y es uno de los más importantes elementos del clima. La humedad está estrechamente relacionada con la temperatura; de hecho, la cantidad de humedad que puede contener el aire depende, directamente, de su temperatura. A una determinada temperatura, la cantidad máxima de humedad se denomina capacidad del aire, de manera que una forma de definir la saturación es diciendo que se alcanza dicha capacidad. Existen diversas unidades para expresar la humedad, y se utilizan para describir los valores de la capacidad y saturación.

Dada la importancia del vapor de agua para el clima, es la humedad uno de los elementos meteorológicos más importantes. Existen diversas formas para medir y reportar el contenido de vapor de agua en la atmósfera:

#### **Símbolos**

$e$  = Presión de vapor (milibar)

$e_w$  = Presión de vapor con respecto al agua (milibares en la  $T_a$ )

$e_i$  = Presión de vapor con respecto al hielo (milibares en la  $T_i$ )

$e_s, e_{ws}$  = Presión de saturación del vapor (milibar)

$P$  = Presión total (milibar)

$T$  = Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

**Presión de vapor:**

La presión de vapor es la parte de la presión total con la que contribuye el vapor de agua. Esta es expresada en unidades de presión, es decir, en pascales (Pa), o en otras unidades tales como milibares (mbar), milímetros de mercurio (mmHg), pulgadas de mercurio (in.Hg), o psi.

La presión de vapor de saturación con respecto al agua es una función solamente de la temperatura y puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$e_{ws} = (1.0007 + 3.46 \times 10^{-6} P) 6.1121 \text{ EXP } [17.502T / (240.97 + T)]$$

**Relación de mezcla**

La relación de mezcla, también llamado contenido de agua en la atmósfera, se define como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco

$$W = \frac{M_w}{M_a}$$

En términos de presión de vapor se escribe como sigue:

$$W = 0.62198 \times \frac{e}{P - e}$$

$$W = 0.62198 \times \frac{e_w}{P - e_w}$$

$$W = 0.62198 \times \frac{e_i}{P - e_i}$$

La constante 0.62198 es el cociente del peso molecular del agua entre el peso molecular del aire seco. Las unidades que se emplean comúnmente son

$$\frac{\text{lbs. } H_2O}{\text{lbs. aire}} \quad \text{o} \quad \frac{\text{g } H_2O}{\text{g aire}}$$

**Punto de rocío**

Es la temperatura a la cual el aire queda saturado por enfriamiento sin adición de vapor de agua y a presión constante (proceso isobárico). Cualquier disminución posterior de temperatura (enfriamiento) produce condensación, así se forma la niebla y el rocío. También puede decirse que es la temperatura a la que el vapor de agua de la atmósfera empieza a condensarse.

Para cualquier temperatura de punto de rocío el contenido de vapor de agua es constante, independientemente de las temperaturas seca y húmeda. Este concepto es muy útil para expresar la humedad atmosférica, ya que se usa para pronosticar la probabilidad de formación de niebla y nubes, etc.

La magnitud de la temperatura es la solución a la siguiente ecuación donde  $T=T_d$  a una presión de vapor particular y se cumple que:  $e_{ws} = e_w$  a una presión  $P$ .

$$e_{ws} = (1.0007 + 3.46 \times 10^{-6} P) 6.1121 \text{EXP} [17.502T / (240.97 + T)]$$

**Punto de Congelación**

Temperatura de solidificación de un líquido bajo condiciones determinadas.

La temperatura es la solución a la siguiente ecuación donde  $T=T_i$  a una presión de vapor particular y  $e_{is} = e_i$  a una presión  $P$ .

$$e_{is} = (1.0003 + 4.18 \times 10^{-6} P) 6.1115 \text{EXP} [22.452T / (272.55 + T)]$$

**Humedad relativa**

Es muy difícil medir directamente la cantidad de agua presente en la atmósfera, pero este factor no es especialmente importante. Lo que interesa es saber cuánto vapor de agua existe y se define como el porcentaje de saturación del aire con vapor de agua, es decir, es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire en unas condiciones determinadas de temperatura y presión y la que tendría si estuviera saturado a la misma temperatura y presión. Este porcentaje es conocido como humedad relativa y se expresa en tanto por ciento, siendo un dato más significativo, a efectos comparativos que la humedad absoluta, que se define como el peso en gramos del agua contenida en un metro cúbico de aire.

Para una presión de vapor dada  $e$  y una presión de vapor de saturación,  $e_s$ ,

$$\% \text{ Humedad relativa} = \frac{e}{e_s} \times 100 \%$$

### Humedad absoluta

Humedad absoluta es el número de gramos de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire a una temperatura y presión determinadas. Se expresa en g (de vapor de agua)/m<sup>3</sup> (de aire) a una presión y temperatura especificadas.

La humedad absoluta puede ser expresada como:

$$g / m^3 = 216.7 e_w / (T_a + 273.16) = 216.7 e / (T_a + 273.16)$$

El contenido de vapor de agua puede ser expresado como partes por millón por volumen (ppm<sub>v</sub>) como sigue:

$$PPM_v = 10^6 e / (P - e)$$

Las partes por millón por peso (PPM<sub>w</sub>), o relación de mezcla, se deriva de multiplicar las PPM<sub>v</sub> por el cociente del peso molecular de agua entre el peso molecular del aire como sigue:

$$PPM_w = 0.62198 \times 10^6 x e / (P - e)$$

$$PPM_w = 0.62198 \times PPM_v$$

$$PPM_w = W \times 10^6$$

En resumen, PPM<sub>v</sub> y PPM<sub>w</sub> son definidos como:

- Partes por millón por volumen (PPM<sub>v</sub>)

$$PPM_v = \frac{\text{Presión parcial del } H_2O}{\text{Presión total} - \text{Presión parcial del } H_2O} \times 10^6$$

- Partes por millón por peso (PPM<sub>w</sub>)

$$PPM_w = \frac{\text{Masa del vapor de } H_2O}{\text{Presión total del gas}} \times 10^6$$

$$PPM_w = PPM_v \times \frac{\text{Peso molecular del vapor de } H_2O}{\text{Peso molecular del gas}}$$

Por ejemplo:

Peso molecular del agua ( $H_2O$ )=18

Peso molecular del aire = 29

Por lo tanto para el aire

$$PPM_w = PPM_v \times 18/29 = 0.6206 PPM_v$$

### 2.2.2 Medición de la humedad

La medición más frecuente es la de humedad relativa, que corresponde a la fracción porcentual entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de agua en el punto de saturación a la temperatura ambiente. Esos son por ejemplo:

**El psicrómetro:** Este instrumento está formado por dos termómetros. El bulbo de uno de ellos está envuelto en un tejido que se mantiene siempre humedecido. Ambos termómetros se exponen a una corriente de aire, ya sea mediante un ventilador mecánico o por agitación. La evaporación en el tejido que envuelve al bulbo húmedo hace descender la temperatura. Si la atmósfera está saturada (humedad relativa = 100%) la evaporación es nula y por lo tanto ambas temperaturas coinciden. La relación entre la diferencia de temperatura que miden los dos termómetros y la humedad relativa no es directa, ya que depende de la temperatura real del aire, y de la presión atmosférica.

**Higrómetros Mecánicos:** Éstos están basados en la propiedad de algunos materiales (cabello humano, algodón, seda, papel, etc.) de cambiar su dimensión física dependiendo de la humedad relativa del aire. El cabello humano fue ampliamente utilizado como sensor de humedad relativa en los higrógrafos de estaciones meteorológicas convencionales, así como también en los primeros equipos de radiosondeo.

**Higrómetros basados en el uso de una componente electrónica:** Para este dispositivo se utiliza la capacidad de ciertos materiales de absorber moléculas de vapor de agua a través de su superficie. Este proceso, al modificar las propiedades eléctricas de una componente de un circuito electrónico (resistencia o condensador), permite crear una señal eléctrica que es proporcional a la humedad. Este tipo de sensor se utiliza en estaciones meteorológicas automáticas y en equipos de radiosondeo.

**Higrómetros Espectroscópicos:** Éstos son equipos relativamente caros pero de alta precisión. Se basan en la propiedad del vapor de agua en la atmósfera de absorber radiación infrarroja en bandas específicas del espectro electromagnético. La mayor o menor radiación absorbida se relaciona con el nivel de humedad del aire. Se utilizan en mediciones de humedad donde se requiere una alta tasa de muestreo (por ejemplo, en mediciones de su relación con la turbulencia).

### 2.2.3 Medición de la temperatura.

La temperatura está definida como la energía promedio por molécula de un material. Al ser uno de los parámetros físicos que con mayor frecuencia se mide, la temperatura se mide básicamente a partir de cambios en las propiedades de diversos materiales al ser influidos por la temperatura entre los cuales podemos contar:

- a) Variaciones en el volumen o en el estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- b) Variaciones en la resistencia de algún conductor (sondas de resistencias).
- c) Variación en la resistencia de algún semiconductor (termistores).
- d) Fuerza electromotriz generada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- e) Intensidad de la radiación emitida por un cuerpo (pirómetros de radiación).
- f) Fenómenos utilizados en el laboratorio (velocidad del sonido de un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

Los instrumentos para la medición de la temperatura del aire son numerosos y variados. Algunos dispositivos que son comúnmente utilizados comprenden: a) el termómetro de vidrio, b) el termómetro de resistencia y el termistor, en los que se utiliza el efecto de un pequeño cambio de temperatura en la resistencia eléctrica de los materiales, y c) los pares termoeléctricos, que se basan en el efecto termoeléctrico.

**El termómetro de líquido en vidrio** es uno de los tipos más comunes de dispositivos de medición de temperatura y sus detalles de construcción, se muestran en la figura 2-2. Su bulbo relativamente grande en la parte más baja del tubo sellado de vidrio contiene la mayor cantidad del líquido. Éste se expande cuando se calienta y sube por el tubo capilar en el cual está grabada una escala apropiada. En la parte superior del tubo capilar se coloca un bulbo de seguridad en caso de que el margen de temperatura del termómetro se exceda de manera inadvertida. Los líquidos más usados son el alcohol y el mercurio.



Figura 2-2. Termómetro de líquido.

El alcohol tiene la ventaja de poseer un coeficiente de expansión más alto que el del mercurio pero está limitado a mediciones de baja temperatura debido a que tiende a hervir a temperaturas altas. El mercurio no puede usarse debajo de su punto de congelación de  $-37.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El tamaño del capilar depende del tamaño del bulbo sensor, el líquido y los márgenes de temperatura deseados para los termómetros. Por lo general, los termómetros de mercurio en vidrio se aplican hasta  $315\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pero su alcance puede extenderse a  $338\text{ }^{\circ}\text{C}$  llenando el espacio sobre el mercurio con un gas como el nitrógeno. Ésto tiene el efecto de aumentar la presión en el mercurio, elevando su punto de ebullición.

Los detectores de temperatura basados en la variación de una resistencia eléctrica se suelen designar con sus siglas inglesas RTD (Resistance Temperature Detector). Dado que el material empleado con mayor frecuencia para esta finalidad es el platino, se habla a veces de PRT (Platinum Resistance Thermometer). Los conductores generalmente muestran un incremento en su resistencia con la temperatura, que se rige por la siguiente expresión:

$$R_T = R_0 (1 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + \dots + a_n T^n)$$

El número de términos  $a_i$  depende del material, el rango de temperatura y la exactitud requerida. Los materiales más comunes para la fabricación de RTD's son el platino, el níquel y el cobre y en algunas aplicaciones a bajas temperaturas (alrededor de los  $20\text{ }^{\circ}\text{K}$ ) el Rodio. Las características que deben tener los materiales empleados son:

- Alto coeficiente de temperatura de la resistencia (sensibilidad).
- Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la temperatura mayor será la variación por grado.



- Relación lineal temperatura-resistencia.
- Rigidez y ductilidad.
- Estabilidad de las características en la vida útil.

En la Figura 2-3 se aprecian los componentes de un sensor RTD. El elemento consiste en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. El material que forma el conductor, se caracteriza por el "coeficiente de temperatura de resistencia", el cual se expresa en un cambio de resistencia en ohmios del conductor por grado de temperatura a una temperatura específica. Para casi todos los materiales, el coeficiente de temperatura es positivo, pero para muchos otros, el coeficiente es esencialmente constante en grandes posiciones de su gama útil.

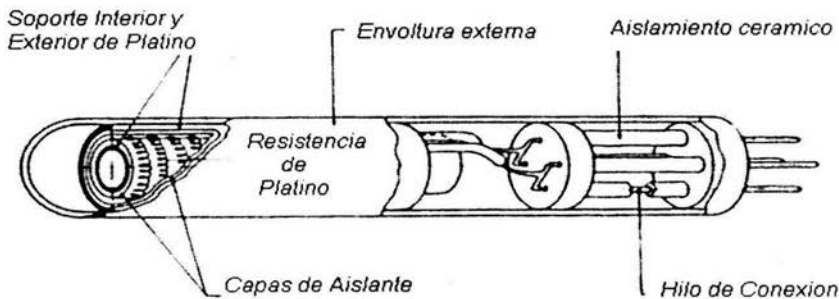


Figura 2-3. Un termómetro de resistencia (RTD)

**Un termopar** es un generador termoeléctrico que transforma calor en electricidad. Se produce cuando dos hilos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos entre sí por sus extremos respectivos, se someten a una diferencia de temperatura. Entre ambos puntos se genera una diferencia de potencial que aumenta con la temperatura. La electricidad generada por el termopar se mide con un galvanómetro convencional. En los medidores de hilo incandescente la corriente pasa por un hilo fino que se calienta y se estira. El hilo está unido mecánicamente a un puntero móvil que se desplaza por una escala calibrada con valores de corriente. Dicho efecto generador de electricidad conocido como efecto Seebeck se emplea principalmente en la medida de temperaturas.

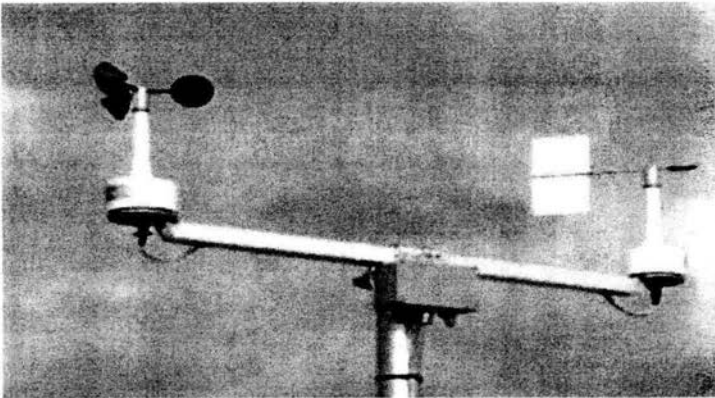
### 2.2.4 Velocidad de Viento

A la medición de la velocidad de viento se le conoce como la anemometría. Los instrumentos que miden el flujo del aire se llaman anemómetros. Existen esencialmente cuatro especies de instrumentos diferentes que se utilizan en la medición de los vientos, Éstos son:

- a) Anemómetro de cazoletas
- b) Anemómetro de empuje
- c) Tubo Pitot
- d) Anemómetro de sonido.

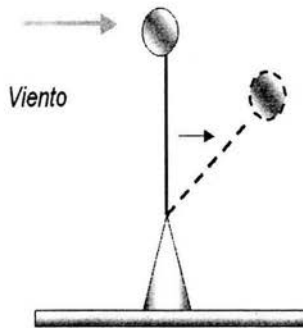
Los tres primeros se fundan en la acción de la fuerza ejercida mecánicamente por el viento sobre un cuerpo. El último se basa en un principio completamente diferente.

**Un anemómetro de cazoletas** típico se muestra en la figura 2-4. Al soplar el viento, empuja las cazoletas y comunica una rotación al soporte de las cazoletas en forma de estrella. La velocidad de giro sobre el eje de rotación puede ser calibrada para medir la velocidad del viento. Puesto que este anemómetro no es sensible a la dirección del viento, se complementa generalmente con una veleta, de modo que se mida tanto la velocidad como la dirección del viento.



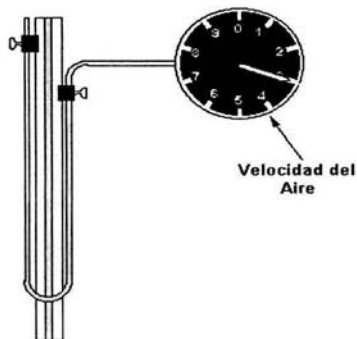
**Figura 2-4.** Anemómetro de cazoletas con una veleta.

**El anemómetro de empuje** consiste simplemente en una esfera suspendida sobre una delgada barra como se ve en la Figura 2-5. Cuando más fuerte sopla el viento, la fuerza de arrastre sobre la esfera se aumenta, inclinándose cada vez más hacia la horizontal. La desviación de la esfera se transmite a través de la barra de soporte a un mecanismo que la registra. El movimiento de la esfera puede ser calibrado mediante un dispositivo estándar para que pueda dar valores de la velocidad del viento. En el soporte de la esfera pueden instalarse complicados mecanismos que indiquen la dirección del viento.



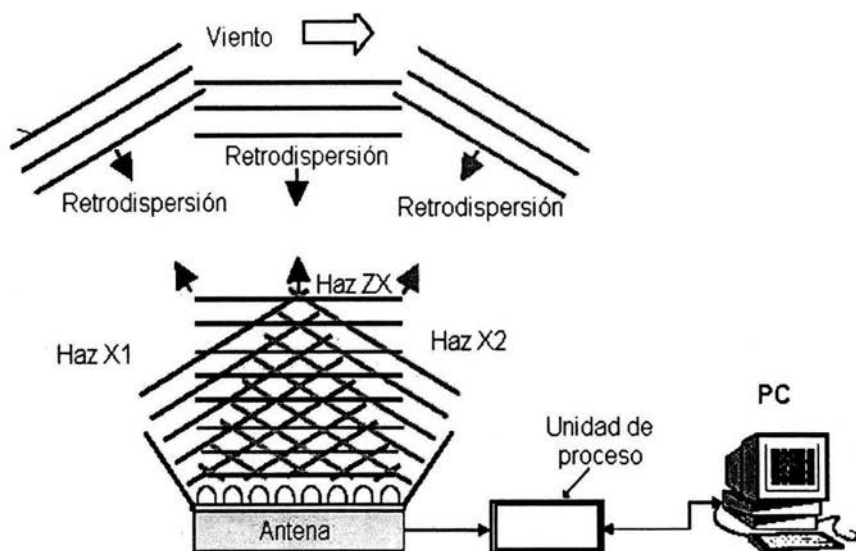
**Figura 2-5.** El anemómetro de empuje.

**El tubo de Pitot** se ha utilizado durante muchos años para medir la velocidad relativa de un objeto en movimiento (e.g. avión) respecto al aire. Es igualmente útil para la medición de la velocidad del viento en el suelo. El tubo de Pitot puede ser definido como el instrumento para medir velocidades de un flujo mediante la diferencia de presiones estática y dinámica en una línea de corriente pudiéndose medir ésta gracias a un sensor de presión diferencial al que está unido el tubo



**Figura 2-6.** Tubo de Pitot

**El anemómetro de sonido ó SODAR** (sound detecting and ranging), es un equipo que utiliza señales acústicas para medir remotamente parámetros tales como las velocidades horizontales y verticales del viento y su dirección. De estos parámetros, por contar con la variación vertical, se pueden obtener propiedades como la altura de la capa de mezclado, la altura y evolución de inversiones térmicas, el perfil adiabático y la estabilidad atmosférica. El sodar hace uso del efecto Doppler empleando ondas sonoras, cuyos trenes sucesivos de unos milisegundos de duración, se envían a la atmósfera para posteriormente detectar el cambio de frecuencias en la señal de retorno.



**Figura 2-7.** Anemómetro de sonido ó SODAR

Las ondas de sonido emitidas interactúan con la estructura térmica y dinámica de la atmosférica. La proporción de energía sonora difundida que alcanza el detector es función de las fluctuaciones turbulentas de temperatura y velocidad de viento sobre las ondas sonoras. También existe una cierta dependencia de la humedad atmosférica, pero generalmente las fluctuaciones de viento y temperatura influyen en mayor medida. Las distancias máximas de operatividad del sodar en dirección vertical, y con bajo ruido de fondo, es del orden de 1 a 2 Km. Es decir, alcanzan a explorar la capa límite atmosférica.

### 2.2.5 Dirección de Viento

La dirección del viento podemos definirla como la trayectoria que sigue el viento en su movimiento, de dónde viene y hacia dónde va; la dirección recibe el nombre según de donde viene o procede ese viento. Así, cuando se habla de un viento del este, nos estamos refiriendo a un viento que sopla desde el este hacia el oeste y cuando se trata de un viento norte, a uno que sopla hacia el sur.

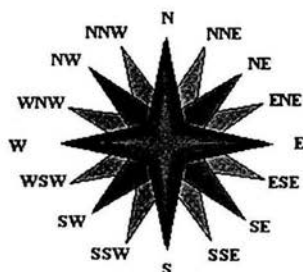


Figura 2-8. Rosa de vientos.

Para indicar la dirección del viento se usa una escala de dirección llamada rosa de vientos, ver figura 2-8, en cual se define la dirección norte como cero y la medición se realiza en el sentido de las agujas del reloj. Los valores que se pueden registrar para la dirección del viento son 16 rumbos o más, o su equivalente en grados. Las direcciones principales del viento son norte ( $360^\circ$ ), este ( $90^\circ$ ), sur ( $180^\circ$ ) y oeste ( $270^\circ$ ).

Direcciones de la rosa de vientos	Grados o arcos	Direcciones de la rosa de vientos	Grados o arcos
N	360	S	180
NNE	22.5	SSW	202.5
NE	45	SW	225
ENE	67.5	WSW	247.5
E	90	W	270
ESE	112.5	WNW	292.5
SE	135	NW	315
SSE	157.5	NNW	337.5

Tabla 1-1 Nomenclatura empleada para indicar la dirección del viento.

Para detectar la dirección del viento y sus variaciones, podemos usar sencillos instrumentos, algunos de ellos son:

**Veletas:** Al ser un aparato especialmente diseñado para determinar la dirección del viento, es el método de observación más efectivo siempre que esté instalado en un lugar estratégico. De nada sirve si junto a la veleta hay un edificio haciéndole sombra. La flecha de la veleta marcará desde donde sopla el viento.

**Banderas:** Al igual que las veletas, las banderas sirven siempre que no estén desventadas por algún obstáculo o frente a un callejón por el que se emboque el viento y falsee la dirección real de éste. Las banderas ondean en el sentido en el que sopla el viento. Si el viento es del Sur ondearán hacia el Norte.

**El Humo:** Cuando hay bajas presiones en la zona y el humo es denso, puede subir bastante alto y puede darse el caso de que en la cota más alta lleve una dirección diferente a la que llevaba inicialmente (en la parte baja) precisamente por el hecho de que el viento en altura puede soplar en diferente dirección que el de superficie.

**Un puñado de arena tirado al aire:** Siempre que estemos en una zona libre de obstáculos, puede ser un recurso útil para determinar de donde procede el viento.

## 2.2.6 Radiometría

La energía radiante producida en el Sol, que es resultado de reacciones nucleares de fusión, llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones. Éstos interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a una distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es  $1370 \text{ W/m}^2$ . La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la reflexión por nubes y la absorción y dispersión de la radiación por gases y partículas suspendidos en la atmósfera. La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende del día, del año, de la hora y de la latitud. Nubes, contaminación, etc.

Existe una variedad de instrumentos para medir la radiación solar en todas sus componentes, que recibe la superficie desde la atmósfera, o que emite la superficie hacia la atmósfera. La unidad de medición es el  $\text{Watt/m}^2$ .

El **piroheliómetro** es un instrumento que se enfoca directamente al Sol para medir exclusivamente la radiación que proviene de él y de sus alrededores cercanos. Es decir, es un instrumento que mide radiación directa. A diferencia del piranómetro, que suele instalarse fijo, el piroheliómetro debe contar con un sistema de movimiento de relojería para seguir el Sol con gran precisión.

El **piranómetro**, es un instrumento para medir la irradiancia global (directa más difusa), usualmente sobre una superficie horizontal. El tipo más común de piranómetros, consiste en dos sensores de temperatura, uno de ellos expuesto a la radiación solar y ennegrecido y el otro, protegido de la radiación. Si los dos sensores se encuentran en condiciones similares en todo, menos en el hecho de estar expuestos a la radiación, habrá una diferencia de temperatura entre ellos. La hipótesis de trabajo de un piranómetro, es que la irradiancia es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos sensores. Para evitar ruido en las lecturas, causado por el viento y otros factores meteorológicos, el sensor expuesto a la radiación (y a veces también el otro) suelen estar protegidos por un hemisferio de vidrio. Este hemisferio, de características ópticas adecuadas, permite el paso de la radiación, pero evita el enfriamiento por viento, lo cual alteraría la lectura.

El **pirorradiómetro**, permite evaluar toda la energía radiactiva que recibe una superficie, incluyendo la radiación solar global y la radiación infrarroja que viene de la atmósfera. La combinación de dos pirorradiómetros en un solo equipo de medición, con uno expuesto hacia arriba y el otro hacia la superficie, permite medir el balance neto radiactivo a nivel de superficie. Los sensores son similares a los otros equipos de radiometría. Los sensores se protegen mediante cúpulas de silicona para evitar la condensación interior, y se inflan con aire con bajo contenido de vapor de agua.

# 3

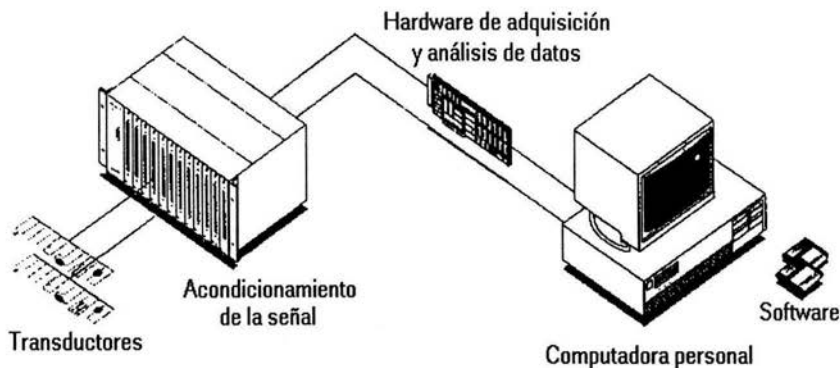
## Introducción a LabVIEW

### *3.1 Instrumentación Virtual*

*Muchas veces la realización de una medida requiere la intervención de varios instrumentos, unos generan estímulos sobre el dispositivo que se pretende medir, y otros recogen la respuesta a estos estímulos. Este conjunto de instrumentos que hace posible la realización de la medida, recibe el nombre de sistema de instrumentación. Por lo general son tres los elementos principales, un dispositivo de entrada, un acondicionador de señal o de procesamiento y un dispositivo de salida.*

*La automatización de las medidas requiere que los instrumentos gocen de un cierto grado de inteligencia para que puedan ser gobernados por un controlador que se comunica con los instrumentos a través de un BUS (es el medio por el cual se transmiten los datos entre los distintos dispositivos que lo componen, por ejemplo, tarjetas o cables utilizados para enviar o recibir señales) de instrumentación. La figura 3-1 representa la configuración de un sistema de instrumentación virtual.*





**Figura 3-1** Sistema de instrumentación virtual.

No es lo mismo hablar de instrumentación controlable por ordenador que de instrumentación virtual. De la primera a la segunda existe un salto importante. Hablar de instrumentos virtuales es hablar de un software que se ejecuta sobre el controlador, que permite independizarnos de los instrumentos reales y de la forma de interconectarlos. En muchas ocasiones el usuario final del sistema de instrumentación sólo ve los instrumentos virtuales en la pantalla del ordenador.

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la PC como un dispositivo que permite registrar diferentes variables físicas (temperatura, presión, caudal), representadas por señales analógicas de corriente o voltaje eléctricos, empleando técnicas de implementación híbrida Hardware – Software. Este concepto va más allá de la simple medición de corriente o voltaje, pues también involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales específicas.

La forma más común de instrumentación virtual consiste en un computador con una tarjeta de adquisición de datos analógicos y digitales. En este caso el sensor como tal se simplifica, haciendo recaer en el computador la mayor parte del funcionamiento del instrumento, como la adecuación de la señal, procesamiento y presentación.

El término virtual surge de la funcionalidad y apariencia que –por software– el usuario puede definir para la PC utilizada como instrumento, creando una flexibilidad que no depende del fabricante como en el caso de los instrumentos tradicionales.

*El instrumento virtual queda definido entonces como el conjunto de software y hardware que agregado a una PC permite a los usuarios interactuar con la computadora como si se estuviera utilizando un instrumento electrónico hecho a la medida.*

*El software es la esencia del sistema de instrumentación virtual, ya que es el que le confiere la flexibilidad necesaria para variadas aplicaciones y modos de operación (termómetros, control de funcionamiento de motores, análisis de señales), seleccionables por programa. El instrumento virtual se completa con una tarjeta apropiada para la captura, conversión y acondicionamiento de las señales eléctricas representativas de las variables físicas a estudiar.*

### *3.1.1 Tarjetas de interfaz con la PC*

*Los componentes con los cuales se hace la interfaz con el computador pueden ser de dos tipos: tarjetas insertadas dentro del computador (plug in) e instrumentos con puertos de comunicación operando independientemente (stand alone).*

*Las tarjetas "plug in" están insertadas en las ranuras de expansión de la PC y son diseñadas para una determinada arquitectura de computador personal. Estas tarjetas tienen un conector terminal, en el que se aplican las señales provenientes de variables de proceso acondicionadas o no, así como terminales de salida. Estas tarjetas se diseñan con un determinado "software" para la PC.*

*Los instrumentos de medición con puertos de comunicación están conectados a la PC por medio de un canal de comunicación normalizado y son independientes de la arquitectura del computador. Por ejemplo, las PCs pueden tener puertos de comunicación serial RS-232, y con este puerto de comunicación podrían comunicarse con un dispositivo que también tuviese un puerto serial RS-232.*

*Para los dispositivos "stand alone" (autónomos) no se ofrece un software particular, ya que sólo es necesario conocer el protocolo de comunicación normalizado.*

### *3.1.2 Realización de mediciones con tarjetas "plug in".*

*Para realizar la medición en un proceso es necesario ensamblar en el sistema para adquisición de datos una interfaz con la PC. Ésta podría ser una tarjeta "plug in" que debe ser seleccionada o diseñada luego de haber definido la aplicación para definir las características que deberá poseer la tarjeta: número de canales (entradas analógicas,*

salidas analógicas, entradas y salidas digitales) frecuencia de muestreo, resolución, mantenimiento de la exactitud a altas ganancias y velocidades, orden aleatorio de registro de señales (scanning), ganancia programable por canal, intervalo de registro de señales y la verdadera exactitud.

### 3.1.3 ¿Cómo construir un instrumento virtual?

La forma habitual de construir un sistema de instrumentación virtual es a partir de los instrumentos controlables que tenemos disponibles, una tarjeta controladora dentro del ordenador para que actúe de controlador y los drivers de control de los instrumentos, facilitados comúnmente por el fabricante. Entre los entornos de programación existen varias posibilidades pero se pueden resumir en dos grandes grupos, los entornos de programación de tipo lingüístico y los entornos de programación gráficos. Para la realización de esta aplicación, utilizaremos la tarjeta de adquisición de datos (6035E de National Instruments<sup>MR</sup>). El entorno de trabajo es un entorno gráfico de programación; LabVIEW 6.1.

## 3.2 ¿Qué es LabVIEW?

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) de National Instruments<sup>MR</sup>, es un lenguaje de programación gráfico diseñado especialmente para monitorear, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos, puertos serie y GPIB's (Buses de Intercambio de Propósito General).

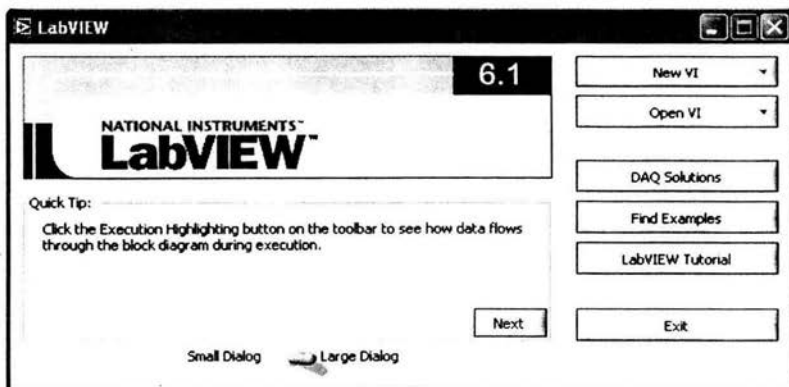


Figura 3-2 Menú de inicio de LabVIEW 6.1

LabVIEW está basado en la programación modular, lo que permite crear tareas muy complicadas a partir de módulos o submódulos mucho más sencillos. Además estos módulos pueden ser usados en otras tareas, con lo cual permite una programación más rápida y provechosa.

Cada programa realizado en LabVIEW será llamado VI (por sus siglas en inglés "Virtual Instruments"), integrado por una interfaz interactiva de usuario y un diagrama de flujo de datos funcionando como el código fuente.

### 3.2.1 Diseño de la interfaz de usuario a partir de su código

En el ambiente de trabajo de LabVIEW existen dos paneles; el panel frontal y el diagrama de bloques. En el panel frontal se diseña la interfaz con el usuario y en el diagrama de bloques se relacionan los elementos utilizados en la interfaz mediante operaciones que determinan cómo funciona el programa. De forma más específica, la programación gráfica LabVIEW se describe de la siguiente manera:

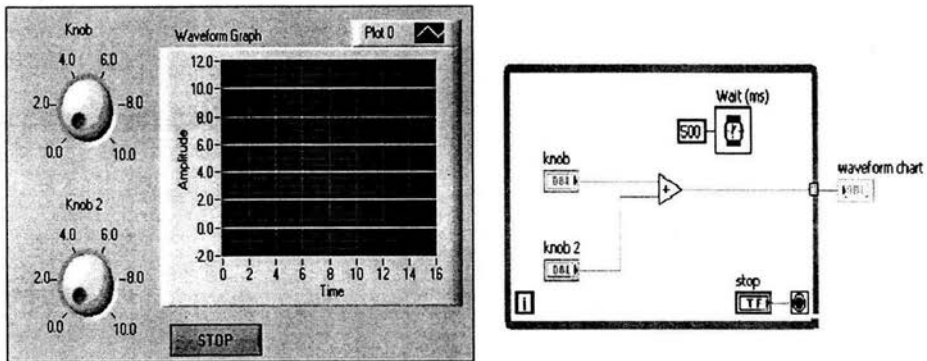


Figura 3-3 Panel frontal y diagrama de bloques.

El **panel frontal**, es donde se ejecuta el programa, se ven los datos y se manipulan y controlan los dispositivos. De esta manera el usuario sabe de manera precisa cual es el estado actual de dicho instrumento y los valores de las señales que se están midiendo. Por analogía a un instrumento real, las entradas del panel frontal se llaman controles y las salidas indicadores

El panel frontal se construye con una combinación de controles e indicadores, los cuales son las terminales interactivas de entrada y salida del VI, respectivamente. Cada control que

se utiliza en la interfaz tiene una representación en el diagrama de bloques, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un icono que los identifica en el diagrama de bloques.

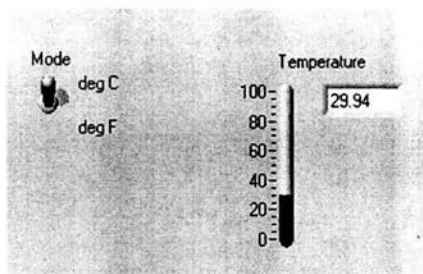


Figura 3-4 Panel frontal.

Los controles pueden ser perillas, botones, pulsadores, dials y otros dispositivos de entrada. Los indicadores pueden ser gráficas, LED's, desplegados numéricos y otros elementos de visualización. Los controles simulan dispositivos de entrada y entregan datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores simulan dispositivos de salida y muestran los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera. Los datos se introducen utilizando el ratón y el teclado, y los resultados se muestran en la pantalla de la PC.

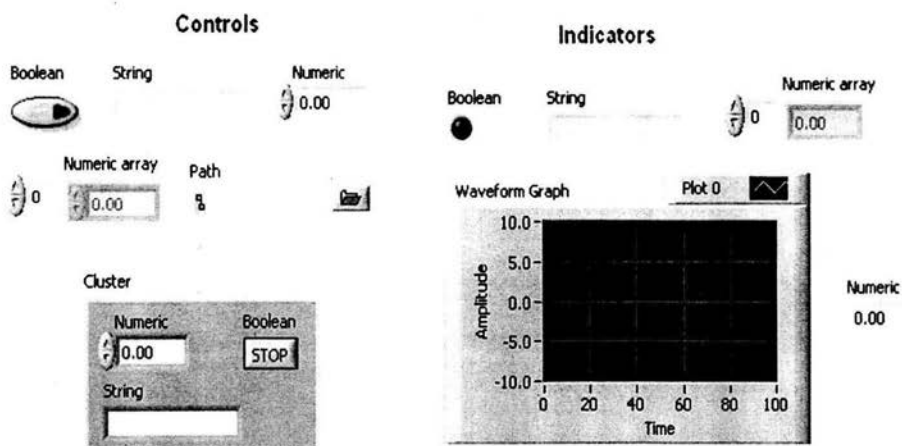


Figura 3-5 Elementos del panel frontal, controles e indicadores.

Para colocar controles e indicadores en el panel frontal se utiliza la paleta de **controles**, la cual es disponible únicamente desde el panel frontal. Para tener acceso a la paleta de controles se hace un clic con el botón derecho del mouse en al área de trabajo del panel frontal o seleccionando el menú [Window>>Show Controls Palette].

El VI recibe instrucciones de un **diagrama de bloques**. El diagrama de bloques del VI sería la cara oculta del panel frontal. En él se diseña el funcionamiento del sistema mediante la asignación de iconos que representen los datos numéricos e iconos que representen los procedimientos que deben realizar los VI's. Con estos iconos y mediante unas conexiones simples representadas por alambres se enlazan para determinar una operación y/o una función. El diagrama de bloques es la solución gráfica a un determinado problema de programación. Además, el diagrama de bloques representa el código fuente del programa o VI. En éste las subrutinas son mostradas como iconos de cajas negras, con unas entradas y unas salidas determinadas, donde en el interior se cumple una función específica.

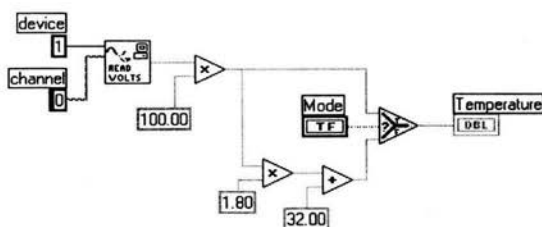


Figura 3-6 Diagrama de bloques.

**El programa compilado:** Cuando se escribe en LabVIEW, el algoritmo escrito de forma gráfica no es ejecutable por el computador y por lo tanto, LabVIEW lo analiza y elabora un código con base en el código fuente de tipo gráfico. Ésta es una operación automática que ocurre al ejecutar el algoritmo y por lo tanto no es importante tomarlo en cuenta. Sin embargo, lo que sí es apreciable durante este proceso son los errores de confección mostrados en una lista. La identificación de estos errores se logra con un doble click en el mensaje para que en el diagrama de bloques aparezca dónde ocurre éste y así poder corregirlo. El ícono y los conectores de un VI funcionan como una lista de parámetros gráficos de forma que otros VI's puedan pasar datos a un determinado subVI.

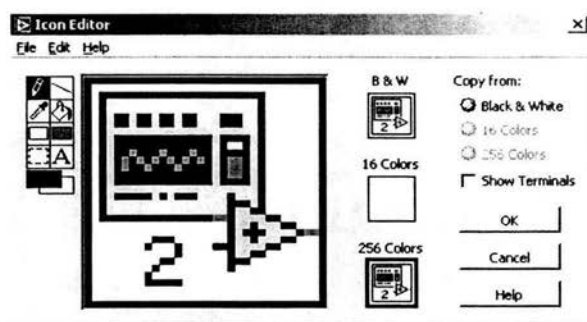
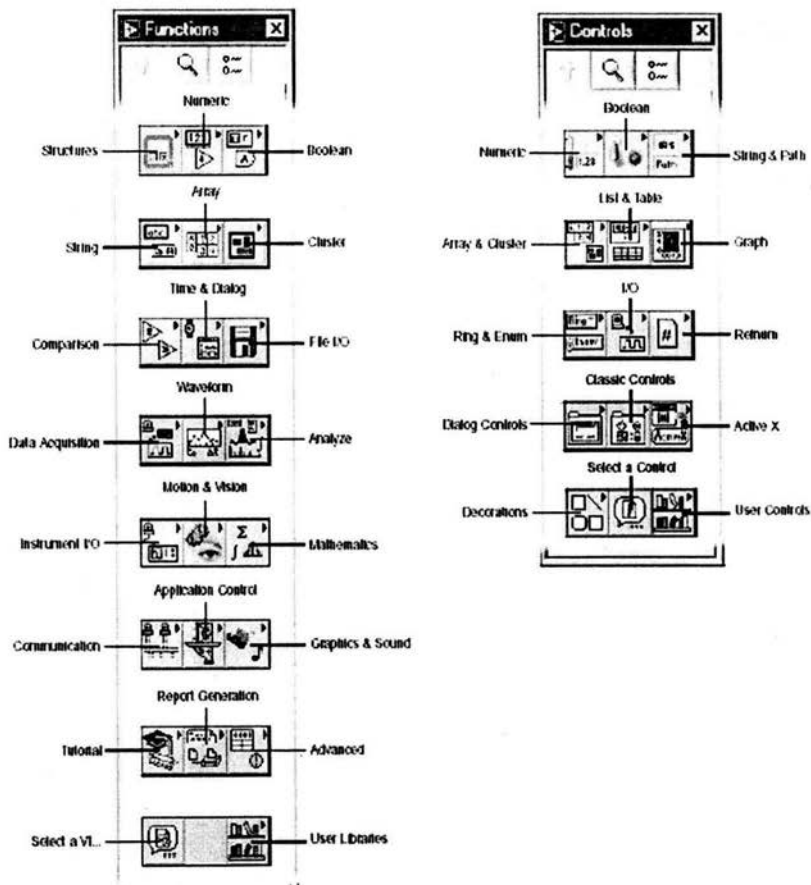


Figura 3-7 Editor de iconos de LabVIEW.

El **ícono de conexión** se usa para utilizar el programa creado como subrutina en otro programa (cuando un VI se usa dentro de otro VI, se denominan subVIs), donde el ícono es una caja negra, las entradas son las conexiones a los controles de la subrutina y las salidas son las conexiones a los indicadores del mismo subprograma. El ícono se conecta a través de un alambre a los indicadores y controles en la forma que se desee que se distribuyan las entradas y salidas desde la caja negra, tal y como en un circuito integrando algunos pines que corresponden a alguna función en él. La idea es crear un sistema de programación modular, donde cada rutina creada llame otras rutinas, y éstas a su vez otras de menor nivel, en una cadena jerárquica con cualquier límite deseado. Así cuando se use un módulo, no se requiere saber como funciona en su interior, simplemente basta con conocer sus entradas y salidas.

### 3.2.2 Menús de LabVIEW

La programación en LabVIEW obliga a utilizar con frecuencia los diferentes menús. La barra de menús de la parte superior de la ventana de un VI contiene diversos menús desplegables, cuando hacemos clic sobre un elemento de esta barra, aparece un menú por debajo de ella. Dicho menú contiene elementos comunes a otras aplicaciones Windows, como Open (abrir), Save (guardar) Paste (pegar), y muchas otras particulares de LabVIEW. La siguiente figura muestra la barra de menús para la versión 6.1 cuando la ventana del panel frontal esta activa. El menú Functions reemplaza al Controls cuando la ventana Diagram esta abierta.



**Figura 3-8** Las paletas de Funciones y controles nos proporcionan las herramientas necesarias para elaborar nuestro panel de control y el diagrama de bloques.

### 3.3 Flujo de Datos

Otra característica se encuentra en el flujo de datos, que muestra la ejecución secuencial del programa, es decir, una función no se ejecuta sino hasta que han llegado todos los datos de entrada o que las tareas predecesoras hayan terminado de ejecutarse. Los datos de salida solo surgen cuando ha cumplido la función su operación, así mismo ocurre con las estructuras. Por lo tanto el dato de salida de la estructura fluirá al resto del programa cuando ésta haya concluido.



A diferencia de los lenguajes escritos en algoritmo de texto continuo, el LabView es un lenguaje que en cierta forma se puede llamar multiproceso, pues puede ejecutar varias rutinas al mismo tiempo. Esto se logra porque el procesador gasta partes de tiempo en cada rutina dentro de un intervalo de tiempo. Así, según un sistema de prioridades se va ejecutando parte de cada programa.

Para ver como fluyen los datos a través del diagrama de bloques se puede hacer click en el botón de high-light ubicado en la paleta de herramientas, para ver como unos puntos luminosos indican los movimientos en dicho diagrama.

Si se desea que esta revisión se haga paso a paso, se debe presionar el icono de marcha a pasos, y presionar en el icono de un paso para obtener el paso siguiente.

Cuando se corre el programa las rutinas corren simultáneamente, (se puede afirmar en segundos). Para hacer que una rutina corra después de otra se requiere de una estructura que permita esto como es la de secuencia, donde dentro de cada cuadro se ubica el ciclo que se va a realizar.

### 3.4 Estructuras y Elementos de Programación

Para realizar un programa dentro de cualquier lenguaje se requiere de conocer el manejo de las estructuras que gobiernan un algoritmo. Una estructura es un elemento de control del programa. Las estructuras se comportan como cualquier otro nodo en el diagrama de bloques, ejecutando automáticamente lo que está programado en su interior una vez tiene disponibles los datos de entrada, y una vez ejecutadas las instrucciones requeridas, suministran los correspondientes valores a los cables unidos a sus salidas. Sin embargo, cada estructura ejecuta su subdiagrama de acuerdo con las reglas específicas que rigen su comportamiento, y que se especifican a continuación.

Las siguientes estructuras se hallan disponibles en LabVIEW.

- ⇒ Los ciclos *While*
- ⇒ Los ciclos *For*
- ⇒ Los cuadros de casos
- ⇒ Las secuencias
- ⇒ Cuadros de Fórmula

Los ciclos **While** Sirven para hacer que una secuencia de instrucciones se repita una cantidad de veces, siempre y cuando una afirmación sea verdadera. En LabView se ejecutarán las funciones que se encuentren dentro del cuadro de ciclo, tomando los valores que quedaron almacenados en la frontera de entrada y sacando los resultados a la frontera de salida.

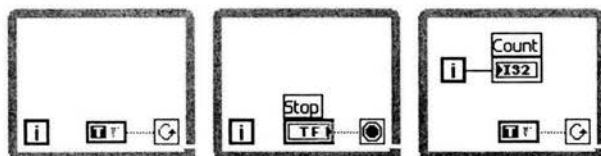
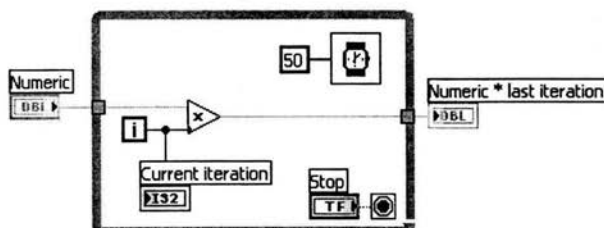


Figura 3-12 Diagrama del ciclo While.

El término 'i' en el ciclo es un contador que se incrementa una unidad cada vez que se repite el ciclo. La flecha circular es el parámetro que al recibir un valor de 'true' (verdadero), permite repetir el ciclo, y al recibir un falso, lo detiene para que el dato que haya en la frontera de salida vaya a un indicador fuera del ciclo.



El ciclo **For** se comporta similar al ciclo While. Éste hace un número definido de iteraciones el cual está dado por el valor que se coloca en el parámetro 'N'. Este siempre debe ser definido, pues de no suceder así el programa no corre.

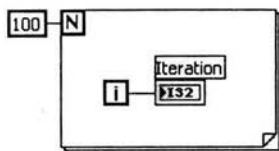


Figura 3-13 Diagrama del ciclo For.

También se puede usar para crear matrices. Tiene la desventaja respecto al ciclo *While* de tener que cumplir todas las iteraciones para terminar, mientras que en el *While*, se termina dependiendo de una condición, por tanto se puede crear un algoritmo que cuando detecte un error termine el ciclo. Mientras que el *For-next* es un ciclo ciego, el *While* siempre se está chequeando.

El ciclo *For-next* también cuenta con un elemento 'i' que sirve de contador para decir en que ciclo va. Para pasar valores de una iteración a otra se emplean los llamados 'shift registers'. Para crear uno, se pulsará el botón derecho del ratón mientras éste se halla situado sobre el borde del bucle, seleccionando la opción *Add Shift Register*. El *Shift Register* consta de dos terminales, situados en los bordes laterales del bloque. La terminal de la izquierda almacena el valor obtenido en la iteración anterior. La terminal de la derecha guardará el dato correspondiente a la iteración en ejecución. Dicho dato aparecerá, por tanto, en el terminal izquierdo durante la iteración posterior.

**Los cuadros de casos.** Es una estructura de comparación y ejecución condicionada donde de acuerdo a algún parámetro se realizan las operaciones de un cuadro u otro. Si el parámetro de condición es del tipo verdadero-falso, cuando éste es verdadero se ejecuta un contenido, y cuando es falso se ejecuta otro. De esta forma solo son dos las posibles opciones de ejecución.

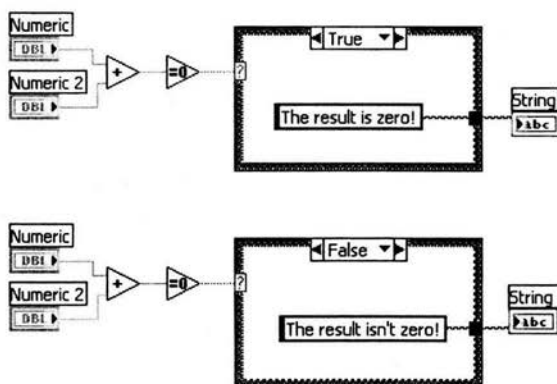


Figura 3-14 Diagrama del cuadro de casos.

Si el parámetro es un número, se ejecuta un cuadro cuyo número de identificación corresponde al valor de entrada. En este caso puede haber tantas opciones de ejecuciones como se desee. Esto depende del valor que cableemos al selector representado con el símbolo [?].

**Las Secuencias.** Como LabView es un lenguaje de tipo multiproceso, puede ejecutar varias partes del programa simultáneamente. Además las funciones se van operando cuando llegan todos los parámetros de entrada de cada una lo que no da mucha certeza de que función se realiza primero. Pero si por alguna razón se desea que un conjunto de operaciones se realice antes que otro, se puede agregar una estructura de secuencias, la cual ejecuta el contenido del primer cuadro, luego el del segundo, y así sucesivamente.



Figura 3-15 Diagrama de las secuencias.

**Cuadros de Fórmula:** Cuando se realizan operaciones matemáticas complejas donde hay muchos cálculos distintos, tener un icono por cada operación puede ser complejo e implica muchos cables y conexiones, dificultan el entendimiento del diagrama y alargan el tiempo de programación.

Un mejor camino es tomar todas esas funciones y juntarlas en un cuadro de fórmula, donde se escribe la operación de una forma textual. Al cuadro se le agregan unos conectores de entrada y salida de datos, con el nombre de los parámetros inscritos, y de allí se alambran los conductores.



Figura 3-16 Diagrama del cuadro de fórmula

Para definir una fórmula mediante esta estructura, se actuará del siguiente modo:

- En primer lugar, se deben definir las variables de entrada y las de salida. Para ello, se pulsa con el botón derecho del ratón sobre el borde de la formula node. A continuación se seleccionará Add Input o Add Output, según se trate de una entrada una salida, respectivamente. Aparecerá un rectángulo, en el que se debe escribir el nombre de la variable (se distingue entre mayúsculas y minúsculas). Todas las variables que se empleen deben estar declaradas como entradas o salidas. Las que se empleen como variables intermedias se declararán como salidas, aunque posteriormente no se unan a ningún bloque posterior.
- Una vez definidas las variables a emplear, se escribirán la o las fórmulas en el interior del recuadro (para ello se emplea la labeling tool). Cada fórmula debe finalizar con un ";".
- Los operadores y funciones que se pueden emplear se explican en la ayuda de LabVIEW.

### 3.5 ¿Cómo utilizar la ayuda?

La ventana Help de LabVIEW ofrece información sobre funciones, constantes, subVIs, controles e indicadores. Para visualizarla, escoger Show Help del menú Help. Podemos situar la ventana Help en cualquier punto de la pantalla.

Cuando pasamos el cursor sobre una función, un VI o subVI (Incluyendo el icono del VI abierto, situado en la parte derecha superior de la ventana del VI), la ventana Help muestra su icono con los cables del tipo de datos apropiado para cada terminal. Las variables de entrada quedan a la izquierda y las de salidas a la derecha. Los nombres de los terminales aparecen junto a cada cable. Si el VI tiene asociada una descripción, ésta se visualizará. Estas descripciones se introducen mediante el dialogo Get Info (obtener información) del VI.

Cuando pasamos el cursor sobre una constante universal, la ventana Help visualiza su valor. Cuando se pasa sobre un control o indicador, se visualiza la descripción para ese control o indicador en concreto, cuando esa información existe.

Al poner la herramienta Wiring sobre un cable, la ventana Help visualiza el tipo de dato transportado por ese cable. Asimismo, cuando se mueve la herramienta Wiring sobre el icono del VI, el terminal correspondiente al conector se ilumina en la ventana Help.

### 3.6 Controladores e indicadores básicos en LabVIEW

LabVIEW ofrece una gran variedad de tipos de datos con los que podemos trabajar respondiendo a las necesidades reales con las que nos encontremos. Uno de los aspectos más significativos de LabVIEW es la diferenciación que efectúa en el diagrama de bloques entre los diferentes tipos de controles o indicadores, basada en que cada uno de ellos tiene un color propio, que explicamos a continuación:

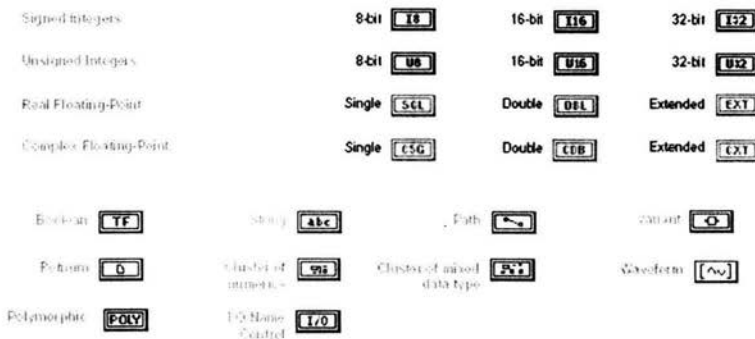
Los indicadores **numéricos** permiten ingresar valores numéricos en un VI. LabVIEW tiene distintos objetos numéricos como lo son: palancas, mandos deslizantes, tanques, termómetros y, por supuesto, simples dispositivos digitales.

Un **booleano** es tan sólo una palabra de adorno para encendido y apagado (on/off). Los datos booleanos pueden tener uno de estos dos estados: verdadero o falso. LabVIEW consta de algunos interruptores, LEDs y botones para representar los controladores e indicadores booleanos. Puede cambiarse el estado del booleano haciendo clic sobre él con la herramienta de operación. Como en los numéricos, cada tipo de indicador booleano tiene una opción determinada basada en su uso más probable. Por ejemplo, los interruptores aparecen como controladores mientras que los LEDs aparecen como indicadores.

Las **cadena**s (o string) de caracteres son conjuntos de datos alfanuméricos como lo son letreros, anuncios y tablas de letras. El almacenamiento de éstos es en código ASCII (modo de texto). Operar con strings tiene mucha similitud con el manejo de matrices. Hay funciones para dar la longitud de la cadena, para convertir parte de la cadena a números, para sacar una subsección de la cadena, y para juntar cadenas menores para lograr una mayor, entre muchas otras.

Es muy diferente almacenar un "1" como número que como carácter, pues como número representa el valor uno, usado para cálculos, mientras que como carácter se almacena en memoria como su identificador ASCII dentro de el rango de 0 a 255, que representa este código de un solo byte. Las terminales string y los cables por los que pasan este tipo de datos aparecen en color rosa en el diagrama y contienen las letras ABC.

Los dos objetos numéricos utilizados con más frecuencia son el control digital y el indicador digital. Para dar o cambiar valores a un control digital, se puede oprimir el botón izquierdo del mouse en los botones de incremento con la herramienta de Operación, u oprimir dos veces el botón izquierdo del mouse en el número utilizando la herramienta de Etiquetado o la herramienta de Operación. El nuevo número se introduce oprimiendo la tecla <Enter> para concluir.



**Figura 3-17** Código de colores para los controladores e indicadores de LabVIEW.

**Los arreglos** son conjuntos de datos del mismo tipo. Un arreglo consta de elementos y dimensiones. Los elementos son los datos que constituyen el arreglo. Una dimensión es la longitud, el alto o la profundidad de un arreglo. El arreglo puede ser construido con datos tales como números, booleanos, rutas, cadenas, formas de onda y bloques. Si se trabaja con colecciones de datos similares y se realizan operaciones repetitivas se debe considerar el uso de arreglos. Los arreglos son ideales para almacenar datos recogidos desde formas de onda o datos generados en ciclos, en los cuales en cada iteración se produce un nuevo elemento del arreglo.

**Un cluster** en LabVIEW es una agrupación de datos, de diferente tipo, como ya se había mencionado, donde todos los cables se juntan en uno solo para facilitar el cableado en el diagrama de bloques. Para juntar los datos se usa la función *Bundle*, y para separarlos la función *Unbundle*. Una diferencia con los arrays es que los clusters tienen un tamaño fijo. Al igual que en el caso de los arrays, los clusters no pueden contener combinación de indicadores y controles. Cuando se usa la función *Bundle*, se debe conectar todos los terminales. Cuando se usa la función *Unbundle*, la dimensión de las conexiones debe coincidir con el número de cables que éste lleva, lo que se logra cambiándole el tamaño por medio de la herramienta de posicionar "la flecha de la paleta", alargando en una esquina.

Cuando se usan las funciones *Bundle* y *Unbundle*, se debe tener especial cuidado con el orden en que los instrumentos son conectados dentro de los controles o indicadores de cluster, pues esto determina el orden de los cables en los conectores *Bundle* y *Unbundle*, y dentro de los mismos cables para conectar con otros cluster.


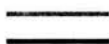


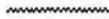


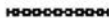

### 3.7 Diagrama de Bloques.

El diagrama de bloques está compuesto de nodos, terminales y cables. Los objetos en el panel de control aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Las terminales representan el tipo de datos del control o del indicador.

**Los nodos** son objetos del diagrama de bloques que tienen entradas y/o salidas y que realizan operaciones cuando se ejecuta un VI. Los nodos son análogos a declaraciones, operadores, funciones y subrutinas en los lenguajes de programación basados en el texto. Los tipos de nodos incluyen funciones, nodos de subVI's y estructuras. Las funciones están preconstruidas en los elementos de ejecución, comparables a un operador, función o declaración. Los nodos de subVI's que fueron diseñados previamente y son llamados desde otro VI. Estructuras son elementos de control de proceso, tales como estructuras de secuencia, estructuras Case, ciclos For o ciclos While.

Los objetos en el panel de control aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Las terminales representan el tipo de datos del control o del indicador.

**Las terminales** son puertos de entrada y salida a través de los cuales se intercambia información entre el panel frontal y el diagrama de bloques. Las terminales son análogas a parámetros y constantes en lenguajes de programación basados en texto. Existen dos tipos de terminales: terminales de controles o indicadores y terminales de nodo. Las terminales de controles e indicadores corresponden a los controles e indicadores del panel frontal. Los datos que el operador o el VI dan a estos controles del panel frontal pasan al diagrama de bloques a través de las terminales de control. Cuando dichas funciones terminan sus cálculos internos se producen datos de nuevos valores. El flujo de datos hacia la terminal indicadora, donde salen del diagrama de bloques, entran nuevamente al panel frontal y aparecen en los indicadores del panel frontal.

	Escalar	Arreglo de 1 dimensión	Arreglo de 2 dimensiones	
Numerico				Anaranjado (punto flotante) Azul (entero)
Boleano				Verde
Cadena				Púrpura

**Figura 3-18** Colores, estilos y espesores, de los cables, dependiendo del tipo de datos que manejen.



**Los cables** son rutas de datos entre diferentes objetos del diagrama de bloques. Son análogos a las variables en los lenguajes de programación convencionales. Cada cable posee una única fuente de dato, pero puede ser llevada a muchos VI's y funciones que lean dicho dato. Los cables son de diferentes colores, estilos y espesores, dependiendo del tipo de datos que ellos manejen. A continuación se muestran ejemplos de los tipos de cables más comunes.

LabVIEW puede cablear los objetos del diagrama de bloques tal como son puestos. También se pueden cablear automáticamente objetos que ya existían en el diagrama. El programa se encarga de conectar las terminales que mejor concuerden y deja desconectados aquellos que no correspondan.

Cuando se mueve un objeto seleccionado y éste está cerca de otros objetos en el diagrama de bloques, LabVIEW dibuja temporalmente unos cables que permiten ver cuales son las conexiones válidas. Cuando se libera el botón del mouse para colocar el objeto en el diagrama, LabVIEW automáticamente conecta los cables.

Se puede cambiar automáticamente el cableado por presionar la barra espaciadora mientras se mueve un objeto usando la herramienta **Positioning**. También se pueden ajustar los parámetros del cableado automático seleccionando **Tools>>Options** y seleccionando **Block Diagram** desde el menú de la barra superior.

Para estar seguros de que se han cableado las terminales correctas en las funciones se debe mostrar el icono conectivo haciendo clic con el botón derecho del mouse al nodo de la función y seleccionar **Visible Items>>Terminals** desde el menú de acceso rápido. Para retornar al icono se hace clic nuevamente con el botón derecho del mouse en el nodo de función y se selecciona **Visible Items>>Terminals** desde el menú de acceso rápido y se remueve la marca de verificación.

LabVIEW sigue un modelo de flujo de datos para ejecutar los VI's. Un nodo del diagrama de bloques se ejecuta únicamente cuando los datos están disponibles en todas sus terminales de salida y los datos pasan al próximo nodo en el camino del flujo de datos. En control del flujo, el orden secuencial de los elementos del programa determina el orden de la ejecución del mismo.

## 3.8 Tipos de gráficos en LabVIEW

En muchas ocasiones es necesario para una mayor comprensión de los resultados obtenidos representarlos gráficamente. Para ello LabVIEW dispone de cinco tipos de gráficos accesibles desde el menú Controls del Panel Frontal bajo el ítem Graph, divididos en dos grupos: Los indicadores Chart y los indicadores graph.

Un indicador Graph o indicador gráfico es una representación bidimensional de una o más gráficas. El Graph recibe los datos como un bloque. Un indicador Chart o de trazos también muestra gráficas, pero ésta recibe los datos y los muestra punto por punto o array por array, reteniendo un cierto número de puntos en pantalla mediante un buffer disponible para ello.

### 3.8.1 Indicadores Chart

**Waveform Chart** es un tipo especial de indicador numérico que muestra una o más gráficas, reteniendo en pantalla un cierto número de datos definido por nosotros mismos. Los nuevos datos se añaden al lado de los ya existentes, de forma que se puede comparar entre ellos.

Los datos se pueden pasar uno a uno al Chart o mediante arrays. Evidentemente es mucho conveniente pasar múltiples puntos a la vez ya que de esta manera solo es necesario redibujar la gráfica una vez y no una por cada punto.

Mediante **Intensity Chart** podemos mostrar datos tridimensionales colocando bloques de colores sobre planos cartesianos. Para ello creamos arrays bidimensionales de números donde los índices de un elemento corresponderán a las coordenadas X e Y, y el contenido a la coordenada Z, que tendrá asociado un color para cada posible valor. Evidentemente, la escala de colores que podamos visualizar dependerá de la resolución de nuestro monitor.

Cada vez que se envíe un nuevo conjunto de datos, éstos aparecerán representados a la derecha de los ya existentes. Intensity Chart soporta los tres modos de visualización de Waveform chart y también dispone de un buffer cuyo tamaño es, por defecto, de 128 puntos. Las opciones disponibles para Intensity chart son prácticamente las mismas que para Waveform chart.

### 3.8.2 Indicadores Graph

**Waveform Graph** representa una serie de valores equiespaciados dada siempre una distancia delta de  $X$  ( $\Delta X$ ) comenzando a partir de un valor inicial  $X_0$ . A un mismo punto  $X_1$  solo le puede corresponder un valor de  $Y_1$ . Cuando se representa una nueva serie de datos, al contrario de lo que ocurría en los indicadores Chart, estos datos reemplazan a los ya existentes en lugar de añadirse al lado, y pierden los valores representados con anterioridad.

En **XY Graph** un punto  $X_1$  puede tener varios valores  $Y$ , lo que permite, por ejemplo, dibujar funciones circulares. XY Graph representa una coordenada  $(x_1, Y_1)$  donde los valores de  $X$  no tiene porque estar equiespaciados como ocurría en las waveform graph.

Para representar una única gráfica en una XY Graph existen dos posibilidades. La primera consiste en crear un cluster que contenga un array de datos  $X$  y un array de datos  $Y$ . La segunda consiste en crear un array de clusters, donde cada cluster contiene un valor de  $X$  y un valor de  $Y$ .

Al igual que en las Waveform graph existe la posibilidad de representar mas de una gráfica en una misma XY Graph (figura 5.8). Pero, en este caso, tan solo existen dos formatos posibles derivados de los dos formatos vistos anteriormente para una única gráfica. El primer formato es un array de gráficas, donde cada gráfica es un cluster de un array  $Y$ . El segundo formato es un array de clusters de gráficas, donde cada gráfica es, a su vez, otro array de clusters conteniendo un valor  $X$  y un valor  $Y$ .

**Intensity Graph** es exactamente igual que intensity chart salvo que intensity graph no retiene valores anteriores, por lo que cuando un nuevo bloque de valores se carga, estos sustituyen a los existentes.

Los comandos disponibles en los menús pop-up de los indicadores graph tienen las mismas utilidades que los descritos en los indicadores chart, por lo que no se han mencionado en este apartado. Solamente existe una diferencia importante y es que los indicadores graph disponen de cursores que nos permiten movernos por la gráfica.

# 4

## Acondicionamiento de Señales

Los sistemas de adquisición de datos (DAQ, "por sus siglas en inglés") basados en PC son usados en un amplio rango de aplicaciones. Típicamente, los dispositivos DAQ son instrumentos de propósito general diseñados para medir señales de voltaje.

A la hora de diseñar un sistema basado en un dispositivo DAQ, deben tomarse en cuenta algunos factores de importancia, como el identificar los tipos de sensores y los tipos de señales de entrada con que trabajará el sistema de adquisición de datos, que usualmente se consideran:

- ✓ Entradas analógicas. Temperatura, voltaje, corriente, etc.
- ✓ Salidas Analógicas. Voltaje, Corriente.
- ✓ Entradas y salidas digitales.
- ✓ Entradas y salidas de frecuencia.

*El problema es que la mayoría de los sensores y transductores generan señales que se deben acondicionar antes de que un dispositivo DAQ pueda adquirir con precisión la señal, ya que la señal que nos envía nuestro transductor por lo general es muy débil o contiene ruido que no deseamos, por eso realizamos etapas de acondicionamiento de señales.*

### *4.1 Los transductores*

*Los transductores cambian fenómenos físicos a señales eléctricas. Por ejemplo, termocoples, RTDs (resistores detectores de temperatura), termistores y sensores IC (en circuito integrado), los cuales convierten temperatura a voltaje o resistencia. Otros ejemplos incluyen medidores de esfuerzo, transductores de flujo y transductores de presión, los cuales convierten fuerza, tasa de flujo y presión a señales eléctricas. En cada caso, las señales eléctricas producidas son proporcionales a los parámetros físicos que ellos están monitoreando.*

*Los resistores detectores de temperatura (RTDs), termistores, por ejemplo, responden a los cambios de temperatura al variar la resistencia eléctrica. Estos sensores resistivos requieren una corriente de excitación precisa o fuente de voltaje para sensar el cambio en la resistencia.*

*Los RTDs son dispositivos de baja resistencia y baja sensibilidad que necesitan circuitería adicional para mejorar su sensibilidad. Las RTDs son frecuentemente usadas en una configuración de cuatro alambres; un par de alambres lleva la corriente de excitación y el otro par sensa el voltaje de la RTD. Esta configuración de cuatro alambres evita errores debidos a resistencia de los terminales, ya que la corriente no fluye en los terminales conectados al sistema de medición.*

*La primera etapa del acondicionamiento de señales consiste en identificar los transductores que se emplearan para el monitoreo de las variables climatológicas como son: Temperatura, Humedad Relativa, Radiación solar, Dirección y Velocidad del viento. Las señales provenientes de los sensores son voltajes de corriente directa, excepto la señal proporcionada por el sensor de Velocidad de viento, la cual es un tren de pulsos cuya frecuencia varía en proporción a dicha velocidad.*

### 4.1.1 Monitoreo de temperatura y Humedad Relativa

Para realizar el monitoreo de la temperatura ambiente y la humedad relativa, se usó el sensor denominado HMP45D de la marca Vaisala, el cual se muestra en la figura 1, cuyo rango de operación es de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con calibración directa para grados Celsius y opera con una alimentación desde 7 hasta 35 Vdc.

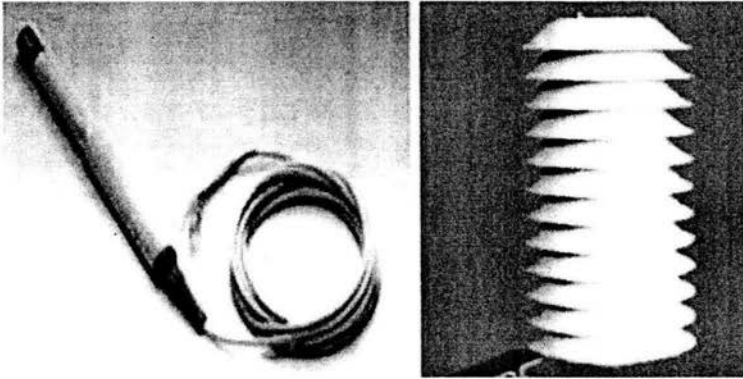


Figura 4-1 Sensor empleado para la determinación de Temperatura y Humedad Relativa.

#### Características del Sensor

##### Temperatura

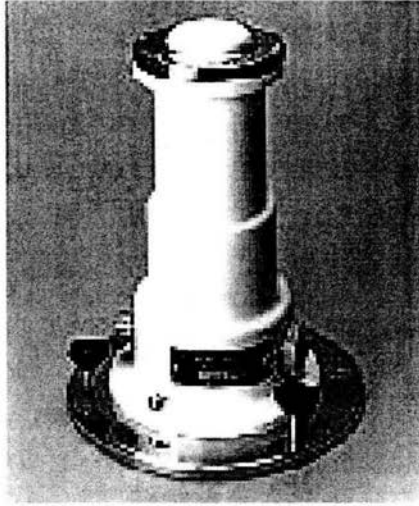
Rango:	$-40\dots+60\text{ }^{\circ}\text{C}$
Tipo de Sensor:	Pt100 IEC 751 1/3 Clase B
Señal de salida:	Conexión Resistiva de cuatro alambres

##### Humedad

Rango:	0.8 a 100% HR
Precisión a $+20^{\circ}\text{C}$ :	$\pm 2\%$ HR (0 a 90% HR)
Estabilidad típica a largo plazo:	mejor que 1% HR por año
Sensor de Humedad	HUMICAP®180
Exactitud:	Menor de 3%
Señal se salida:	0...100 % HR equivalente a 0...1 VDC

### 4.1.2 Monitoreo de Radiación Solar.

Para realizar la medición de la radiación solar se utilizó un radiómetro modelo TUVR de la empresa The Eppley Laboratory que mide la radiación UV solar. Este instrumento utiliza una celda de selenio, sellada herméticamente y protegida por un cristal de cuarzo. Funciona incluso a niveles bajos de intensidad de luz, además de contar con un difusor especialmente diseñado de Teflón que reduce el flujo radiante.



**Figura 4-2** Radiómetro modelo TUVR de la empresa The Eppley Laboratory, mide la radiación UV solar.

#### **Características del Sensor:**

<b>Sensibilidad:</b>	Aproximadamente. $150 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$
<b>Impedancia:</b>	Aproximadamente. 1500 ohmios.
<b>Dependencia De la Temperatura:</b>	$\pm 0.3\% / ^\circ\text{C}$ en un rango de $-40^\circ\text{C}$ a $+40^\circ\text{C}$ .
<b>Linealidad:</b>	$\pm 2\%$ a partir 0 a $70 \text{ Wm}^{-2}$ .
<b>Tiempo de reacción:</b>	Milisegundos.
<b>Tamaño:</b>	14.60 cm de diámetro y 17.14 cm de alto.
<b>Peso:</b>	2.72 Kg.

### 4.1.3 Monitoreo de Dirección y Velocidad de Viento.

Para determinar la Dirección y Velocidad del Viento, se utilizaron los sensores de viento de la marca Climatronics F460. Para la determinación de la velocidad del viento utiliza un anemómetro de 3 tazas, que rota para producir una frecuencia de señal que sea proporcional a la velocidad del viento. El sensor de la dirección del viento consiste en una veleta, la cual proporciona un valor de VDC, dependiendo de la posición de la misma, que va de 0 a 5 VDC para un rango de 0° a 360°.

La figuras 4-3 muestra la barra que sostiene a los sensores empleados para la obtención de señales que serán manipuladas.

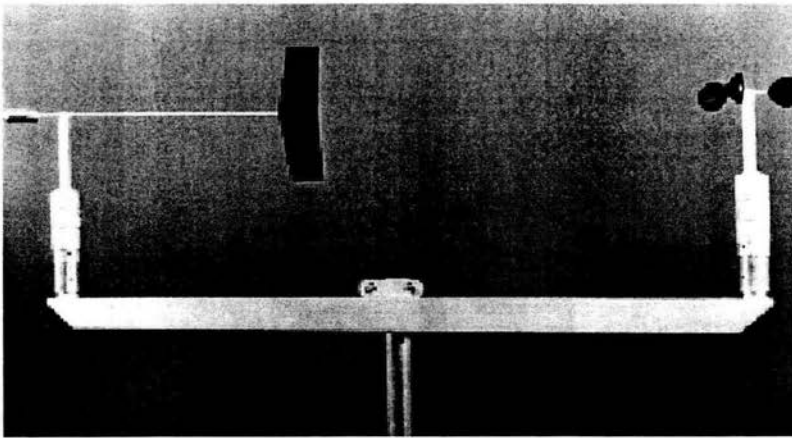


Figura 4-3 Sensores Climatronics, empleados para la determinación de la dirección y la velocidad del viento.

#### Características del Sensor:

	<i>F460 Wind Speed P/N 100075</i>	<i>F460 Wind Direction P/N 100076</i>
<b>Exactitud</b>	0.15 mph ( $\pm 0.07$ m/s) o $\pm 1.0\%$ de la velocidad verdadera del aire	$\pm 2$ Grados
<b>Rango de operación</b>	0 a 125 mph (0 a 60 m/s)	0 a 360 grados
<b>Salida De la Señal</b>	Nominal 2.0 Vpp en 2.0 Kohm, frecuencia proporcional a la velocidad del viento, dependiendo del voltaje de alimentación	Voltaje DC variable, magnitud proporcional a la dirección del viento
<b>Voltaje de Alimentación</b>	5 a 15 VDC @ 1 mA nominal	Máximo 1 mA con 10 Kohms



## 4.2 Acondicionamiento de la Señal

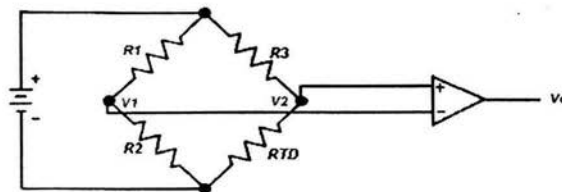
Una vez que se han identificado los transductores la siguiente etapa consiste en un acondicionamiento de la señal proveniente de los sensores, el objetivo de ésta es dar a la señal el formato adecuado para que la siguiente etapa pueda realizar su función. En este caso no todos los sensores tienen una etapa de acondicionamiento de la señal, pues esta depende de las características eléctricas del mismo.

El tipo más común de acondicionamiento es la amplificación. Las señales de bajo nivel, pueden ser amplificadas para incrementar la resolución y disminuir el ruido. Para conseguir las máximas precisiones, la señal puede ser amplificada hasta un voltaje máximo coincidente con la máxima entrada de la tarjeta DAQ. Si la señal está en el rango de los  $\pm 5\text{VDC}$ , la misma puede ser conectada directamente a la tarjeta de adquisición de datos.

### 4.2.1 El Sensor de temperatura

El sensor Pt100 IEC 751 1/3 Clase B es un sensor de temperatura que basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperatura del medio.

El tipo de RTD (por sus siglas en inglés "resistance temperature detector") más utilizado es el hecho de platino y cuenta con una resistencia nominal de  $100\ \Omega$  a  $0^\circ\text{C}$ . Con resistencias relativamente bajas ( $100\ \Omega$ ) que cambian muy poco con la temperatura (menos de  $0.4\ \Omega/^\circ\text{C}$ ), los RTD's requieren de acondicionamiento de señal con fuentes de excitación de corriente altamente precisas, amplificadores de alta ganancia.



**Figura 4-4** Puente de Wheatstone para la determinación de la temperatura empleando un RTD y una fuente de alimentación externa.

Dado que los RTD's son resistencias, la mejor opción para detectar sus variaciones debidas al efecto de la temperatura es conectarlos a un circuito puente, en una de las ramas del puente se coloca el RTD y se denomina la rama de medición y en la otra se colocan una relación de resistencias que actúan como rama de referencia. La figura 4-4 muestra un

circuito puente para detección de temperatura con RTD; este circuito consiste en tres resistencias conocidas y una resistencia desconocida, conectadas entre sí en forma de diamante. Se aplica una corriente continua a través de dos puntos opuestos del diamante y se conecta un galvanómetro a los otros dos puntos. Cuando todas las resistencias se nivelan, las corrientes que fluyen por los dos brazos del circuito se igualan, lo que elimina el flujo de corriente por el galvanómetro. Variando el valor de una de las resistencias conocidas, el puente puede ajustarse a cualquier valor de la resistencia desconocida, que se calcula a partir los valores de las otras resistencias. Se utilizan puentes de este tipo para medir la inductancia y la capacitancia de los componentes de circuitos. Para ello se sustituyen las resistencias por inductancias y capacitancias conocidas. Los puentes de este tipo suelen denominarse puentes de corriente alterna, porque se utilizan fuentes de corriente alterna en lugar de corriente continua.

Formula para calcular la RTD en el puente de Wheatstone.

$$RTD = R_3 \times \left( \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Donde  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  son resistencias conocidas

Para el Sensor de temperatura, se implemento un puente de  $0.5 \text{ k}\Omega$  alimentado con  $\pm 5 \text{ V}$ . Un amplificador diferencial detecta la diferencia entre  $V_2$  y  $V_1$  cuando la  $R$  varía con la temperatura. El amplificador operacional utilizado es el AD620. Este amplificador tiene entre sus principales características bajo consumo en potencia, una alta exactitud que solamente requiere una resistencia para observar una determinada ganancia, además de que cuenta con bajo ruido y baja corriente de polarización de entrada.

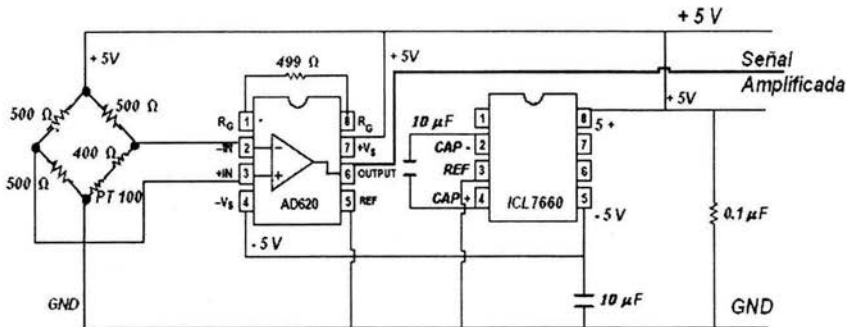
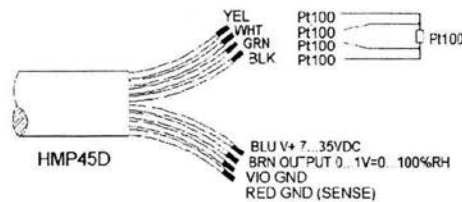


Diagrama 4-1 Circuito amplificador de señal para el sensor de temperatura.

El ICL7660 se utiliza como convertidor de tensión, para obtener la tensión negativa necesaria para polarizar el amplificador AD620 en su alimentación, realiza una conversión del voltaje de positivo a negativa en la entrada de + 5V a - 5V.

La ganancia del amplificador de instrumentación se propuso de 100, colocando una resistencia de 499  $\Omega$  en el amplificador operacional AD620 como se muestra en la diagrama 4-1.

En la Figura 4.5 se muestra las terminales para el sensor de temperatura y humedad relativa, indicando los cuatros cables que se conectaran al circuito puente para la determinación de la temperatura.



**Figura 4-5** Conexiones para el sensor de humedad y temperatura HMP 45D de la marca Vaisala.

En el caso del monitoreo de temperatura, el voltaje de respuesta del sensor ya amplificada, es directamente proporcional a la Temperatura que se encuentra sensando, por lo que, solo se requiere realizar la siguiente operación numérica:

$$^{\circ}\text{C} = \text{Lectura (Volts)} \times 100$$

Lo cual se puede lograr fácilmente con el software. Por esta razón, la señal de salida de este sensor, una vez amplificada ya puede ser monitoreado por medio de la Tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

### 4.2.2 El Sensor de humedad relativa

En el caso del sensor de humedad relativa, el voltaje de salida del sensor es directamente proporcional a la humedad relativa (0...1 VDC equivalente a 0...100 % HR), al tener un voltaje de salida del sensor de 0 a 1 VDC se considera que puede ser adquirido a través de la DAQ para el cual no fue necesario efectuar algún acondicionamiento, solo se requiere realizar la siguiente operación numérica:

$$\text{HR} = \text{Lectura (Volts)} \times 100$$

Lo cual también se logra fácilmente con el software.

### 4.2.3 El Sensor de Radiación Solar

En lo que se refiere al sensor de Radiación Solar la señal tendrá que ser amplificada para poder ser adquirida por una DAQ. Ya que el sensor tiene una señal de salida en el rango de 0 a 12  $\mu\text{V}$ .

El circuito amplificador de señal para el radiómetro tiene los mismos elementos que el que se construyo para la amplificación de la señal del sensor de temperatura, salvo que no se necesita la implementación del circuito puente ya que la señal que obtendremos será un voltaje referenciado.

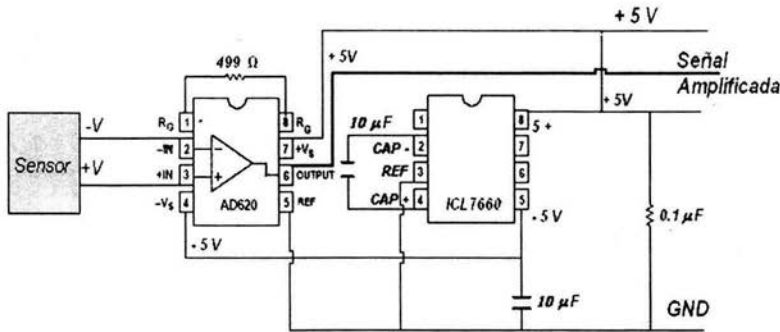


Diagrama 4-2 Circuito para la amplificación de la señal del radiómetro.

### 4.2.4 El Sensor de velocidad de viento

En el caso del monitoreo de la velocidad de viento, una señal de frecuencia es proporcional a la velocidad del viento, por lo que, una manera común de medir la frecuencia de una señal es medir el número de los pulsos que ocurren durante un período conocido.

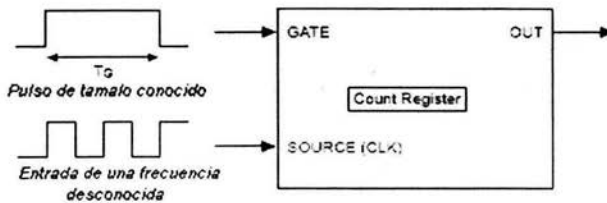


Figura 4-3. Medición de un período de onda cuadrada.

El arreglo nos permite contar el número de pulsos de una frecuencia conocida ( $f_c$ ) durante un período de la señal que se va a medir. En la Figura 4-3, la señal de una frecuencia conocida está conectada con la fuente, y la señal que se va a medir está conectada con el gate. El período es el cociente del número de pulsos entre la frecuencia conocida ( $TG = \text{pulsos/frecuencia conocida}$ ).

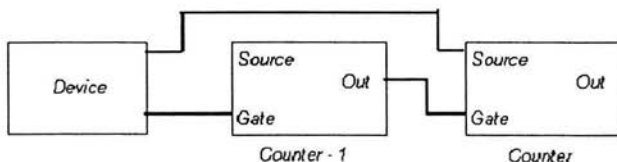


Figura 4-4. Diagrama de conexiones externas para la medición de una frecuencia.

La Figura 4-4. muestra las conexiones externas típicas para la medición de las frecuencias. En la figura, el dispositivo o Device provee una señal con la frecuencia a medirse a el SOURCE(CLK) del contador. Mediante el Device se puede controlar opcionalmente el GATE del contador-1. La salida del que entregara una señal con Fuera de counter-1 provee un pulso sabido a la PUERTA del contador. Finalmente, al revés cuenta el número de ciclos del pulso desconocido durante el pulso de PUERTA sabido.

PIN #	SIGNAL
3	PF19/GPCTR0_GATE
37	PF18/GPCTR0_SOURCE
4	DGND
38	PF17/STARTSCAN
5	PF16/WFTRIG
39	DGND
6	PF15/UPDATE
40	GPCTR1_OUT
7	DGND
41	PF14/GPCTR1_GATE

Diagrama 4.3 Arreglo para la conexión del anemómetro.

La velocidad del viento que se encuentra sensando, esta en función de la frecuencia de respuesta del sensor que se va adquiriendo, por lo que solo se requiere realizar la siguiente operación numérica:

$$\text{Velocidad del Viento (MPH)} = 0.5 + f \text{ (Hz)} / 9.51$$

La cual incluiremos en el momento de trabajar con el software.

### 4.2.5 El Sensor de dirección de viento

El voltaje de salida del sensor es adquirido a través de la tarjeta para el cual no fue necesario efectuar algún acondicionamiento ya que la dirección del viento será proporcional a un voltaje de salida que estará dentro de un rango de 0 a 5 VDC.

Además de que el programa será el encargado de procesar esta información (un voltaje) y con ello determinar la dirección del viento.

## 4.3 Tarjeta de Adquisición de Datos

Se entiende por Adquisición de datos a la acción de medir variables, convertirlas a formato digital, almacenarlas en un computador y procesarlas en cualquier sentido. Este proceso necesita de una "interface" entre el mundo físico y el computador que se suele denominar como tarjeta de adquisición de datos.

Una tarjeta de adquisición de datos se caracteriza por una serie de parámetros que permiten decidir su utilización. Los parámetros se fijan a partir de un conjunto de funciones y dispositivos internos de la tarjeta entre los cuales destacan el número de canales de entrada y el de salidas analógicas y digitales.

El número de canales analógicos permite seleccionar diferentes configuraciones, utilizando la configuración adecuada de conectores:

- i. Entrada unipolar no referenciada a tierra.
- ii. Entrada unipolar referenciada a tierra.
- iii. Entrada diferencial.

Unipolar significa que la tensión de entrada puede ir en un rango de 0 a una tensión de referencia especificada. La entrada bipolar significa que el rango de la tensión de entrada está comprendido entre  $+V_{ref}$  y  $-V_{ref}$ .

Las entradas unipolares están referenciadas a una tierra común. En caso de utilizar entradas diferenciales, cada entrada tiene su propia referencia de forma que el posible ruido en modo común que se pueda introducir queda rechazado.

**La configuración de entrada unipolar no referenciada** significa que todas las señales de entrada están referenciadas a la misma tierra, pero esta tierra no es la misma que la tierra analógica de la que dispone la tarjeta. La tierra que utilizan las señales de entrada es tratada por el amplificador de instrumentación con una tensión en modo común.

En la **Configuración de entrada unipolar referenciada** todas las señales analógicas de entrada estarán referenciadas a una tierra común conectada a la tierra analógica de la tarjeta. En este caso el terminal negativo del amplificador de instrumentación está conectado a la tierra analógica.

La **Configuración de entrada diferencial** Permite que cada señal de entrada tenga su propia referencia. Cada señal y su referencia tienen asignados un canal de entrada. Es por eso que en este caso solo se dispone de 8 canales de entrada diferentes.

Es importante tener en cuenta que si se configura la tarjeta para poder obtener rangos de entrada máximos se puede asegurar que todas las señales quedan comprendidas dentro de dicho rango, pero con ello se sacrifica resolución en la lectura. Si se escoge un rango de entrada mínimo, se aumenta la resolución pero el nivel de la señal de entrada podría quedar fuera de rango y realizaríamos una medida errónea.

Para conseguir una mejor resolución en los sistemas de medida, se ajusta el rango de la entrada que se pretende adquirir al rango del instrumento. Los rangos de la señal de entrada se refieren a los niveles mínimos y máximos de tensión de entrada que el convertidor puede cuantificar.

Se utilizan para controlar procesos, generar patrones de prueba y test, y posibilitan la comunicación con el periférico. Los parámetros más relevantes de esta especificación son el número de líneas digitales, la velocidad con que los datos pueden entrar y salir y la capacidad de driver de los canales.

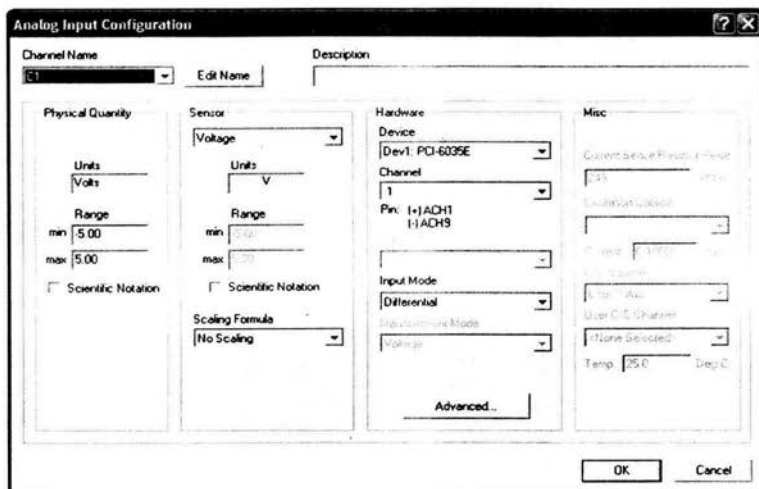


Figura 4-7 Panel de configuración de canales de la herramienta Measurement and Automatization Explorer MAX

### 4.3.1 Los circuitos de conteo y temporización de entrada y salida

Esta circuitería es útil para el conteo de eventos, medidas temporales de pulsos digitales y la generación de señales cuadradas y de pulsos.

Este tipo de circuitos son necesarios para adquirir las señales en el momento preciso. El trigger se utiliza para iniciar y parar la adquisición en función de acontecimientos externos y para sincronizar un proceso de adquisición con otros posibles. La señal de trigger se puede obtener de diferentes fuentes, ya sean internas generadas por las funciones del instrumento que se utiliza, como externas.

### 4.3.2 Tasa de Muestreo

Este parámetro especifica la rapidez con que tienen lugar las conversiones. Una tasa de muestreo más rápida adquiere más puntos en un tiempo dado, proporcionando una mejor representación de la señal original. Como se muestra en la figura 4.8, las señales de entrada se deben muestrear a una tasa suficientemente rápida para reproducir completamente la señal analógica.

Obviamente, si la señal cambia mas rápido de lo que la tarjeta DAQ es capaz de digitalizar, se introducen errores en los datos medidos. De hecho, si los datos se muestrean demasiado lento pueden aparecer como una frecuencia completamente diferente. Esta distorsión de la señal es conocida como "aliasing" o traslapamiento (ver figura 4.8).

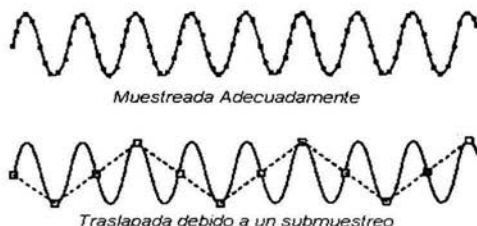


Figura 4-8 Efecto de una baja tasa de muestreo.

De acuerdo con el teorema de Nyquist, se debe de muestrear con una frecuencia de al menos el doble de la frecuencia máxima de las componentes de esa señal para así evitar el "aliasing". La frecuencia que es un medio de la frecuencia de muestreo es conocida como la frecuencia de Nyquist. Teóricamente, es posible recuperar información de señales con



frecuencias iguales o por debajo de la frecuencia de Nyquist. Frecuencias por encima de la frecuencia de Nyquist provocarán la aparición de "alias" entre DC y la frecuencia de Nyquist.

### 4.3.3 Rango

El rango se refiere a los niveles de voltaje mínimo y máximo que el ADC puede manejar. El rango, la resolución y la ganancia disponibles en una tarjeta DAQ determinan el más pequeño cambio detectable en el voltaje. Este cambio en el voltaje representa 1 LSB (bit menos significativo) del valor digital, y con frecuencia se le denomina ancho de código. El ancho de código ideal se encuentra al dividir el rango de voltaje entre la ganancia multiplicada por 2 elevado al número de bits en la resolución.

## 4.4 Adquisición de datos.

La etapa de adquisición de datos se realiza a través de una tarjeta de adquisición de datos modelo PCI-6035E de National Instruments con las siguientes características:

- 16 canales analógicos. Cada línea de entrada es configurable según tres modos de operación: DIFF (de diferencial, se usan un par de líneas de entrada para una señal diferencial: 0-8, 1-9, 2-10...), NRSE (de Non Referenced Single-Ended, para grounded signals a la entrada, entre la línea en cuestión y el pin de referencia AISENSE), RSE (de Referenced Single-Ended, para señales flotantes, entre la línea en cuestión y el pin de referencia AIGND). En total, tendríamos pues 8 canales diferenciales o 16 canales unipolares.
- 8 canales para entradas/salidas digitales DIO0-DIO7.
- Dos líneas de salida de analog output, dos canales: DAC0OUT y DAC1OUT con dos convertidores DAC.
- Dos contadores exactamente iguales (0 y 1).
- Una velocidad de muestreo de 200000 muestras por segundo
- Los rangos de voltaje de entrada analógica con los que cuenta la tarjeta son:  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 500$  mV, y  $\pm 50$  mV.
- Un conector de entrada/salida con 68 pins.

La configuración de entrada unipolar ofrece 16 canales de entrada, mientras que la forma de configuración diferencial solo permite 8 canales, ya que utiliza un canal para la señal y otro para el retorno, mientras que el retorno de la configuración unipolar se realiza con el chasis del ordenador, conectado a la misma tierra de donde se obtiene la señal.

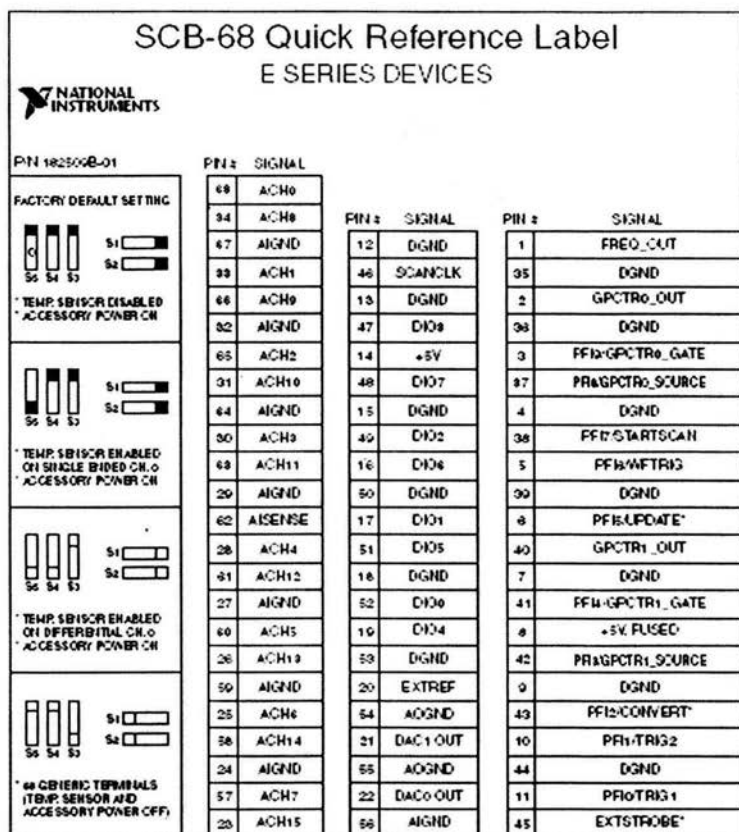


Figura 4-9 Diagrama de conexiones para el Block.

### 4.5 Configuración de la tarjeta 6035E

La configuración de esta tarjeta es de la siguiente forma: Device: 1, significa que para un número determinado de tarjetas de adquisición y cualquier otra tarjeta de National Instruments, la herramienta Measurement and Automation Explorer MAX identifica todos los dispositivos y le asigna a cada uno un número, para saber que número tiene la tarjeta se

puede revisar en la herramienta MAX y en "Devices and Interfaces". Con esta misma herramienta se deben configurar la forma de funcionamiento de la tarjeta en cuanto a cuales son los niveles de voltaje a manejar y si los niveles de voltaje son bipolares o unipolares.

Las variables climatológicas se monitorean a través de los cuatro primeros canales de la DAQ, como se indica en la tabla 2.

Sensor	Canal	No. De Entrada
Temperatura	AICH1-AICH9	33-66
Humedad Relativa	AICH2-AICH10	65-31
Radiación	AICH3-AICH11	30-63
Dirección de Viento	AICH4-AICH12	28-61
Velocidad de Viento		3,37,38,40 y 41

**Tabla 2** Configuración de los canales para conexión de los sensores.

#### 4.6 Prueba de tarjetas NI-DAQ

El proceso más sencillo para probarlas, es que ya instaladas y conectadas adecuadamente para obtener las señales deseadas, (observando la descripción de pines) se coloca la entrada AICH8 a tierra (el par diferencial número 1 lo forman AICH0 y AICH8) y se conecta a un voltaje variable la señal del canal AICH0.

El siguiente paso es encender la computadora, y con el software MAX "Measurement and Automation" instalado, ejecutar este programa, este mostrará un menú en diagrama de árbol con el título "Configuration" del lado izquierdo de la pantalla, en este se da doble clic sobre "Devices and interfaces" el cual nos mostrara los diferentes dispositivos de la PC que utiliza este software, y se selecciona la tarjeta de adquisición de datos que se requiere (o que este instalada si solo es una) y se presiona el botón derecho del ratón sobre esta, así nos mostrara un menú en una ventana con opciones dentro de las cuales seleccionaremos la de "Test Panel" donde nos mostrara la señal que esta especificado, los nombres de los canales analógicos de entrada son AICH (analog input channel) y el número de canal (El software toma AICH0 por default). Este es una especie de osciloscopio para probar los canales de entrada analógicos, aunque tiene más opciones de prueba. Para probar los demás canales o puertos esta la información en la ayuda del programa o en los manuales de las tarjetas.

# 5

## Programación del VI

*El objetivo principal de este capítulo es el, mostrar cómo se construyó una aplicación mediante el empleo del entorno de programación que proporciona LabVIEW, apoyadas por tarjetas de adquisición de señales y sensores, para automatizar los diferentes procesos de manipulación de una estación meteorológica.*

*Para el desarrollo del instrumento virtual es necesario definir primero que características son deseables que posea el instrumento, que tipo de representación de resultados se llevará a efecto, cuales serán las características de los datos o señales con que habrá de trabajar, e incluso, el medio ambiente manejado por el usuario. Estos datos darán las pautas en el camino hacia la elaboración del instrumento.*

## 5.1 Panel frontal

En primer lugar, se construirá el panel frontal deseado como se indica a continuación.

1. Se abre un panel frontal nuevo. Esto se logra al realizar un doble clic sobre el icono de LabVIEW, en caso de encontrarse en la pantalla principal, y del cuadro de diálogo que aparece se elige la opción New VI.
2. De la barra de menús de la parte superior de la ventana del VI Seleccionamos Window > Show Tool Palette y posteriormente Window > Show Control Palette con la finalidad de tener en la pantalla las herramientas y controles que emplearemos para configurar el VI.
3. Para poder conocer el estado de las variables que estamos sensando es muy importante tener una pantalla que de manera gráfica nos permita ver la evolución de las mismas, por lo que emplearemos un arreglo que nos permita tener varias carpetas en una sola pantalla, y así tener todas las graficas de las variables sensadas.

Para seleccionar el arreglo con varias carpetas lo hacemos desde: Control > Array and Cluster > Tab Control; presionamos el botón derecho del mouse sobre el icono y lo arrastramos hasta colocarlo en el panel frontal.

Al colocarlo en el panel frontal aparecerá con solo dos carpetas, para incrementar el número de carpetas a cuatro, nos situamos en la parte superior donde se encuentran las pestañas y dando un click derecho, en el mouse, aparece un submenú donde elegimos la opción Add Page after ó Add Page Before.

4. Hasta ahora solo tenemos el arreglo y para colocar los gráficos (waveform chart), los seleccionamos desde la paleta Control > Graf > Waveform chart, se presiona el botón derecho del mouse sobre el ícono y se arrastra hasta colocarlo sobre una carpeta del Tab Control.  
Se repite esta última operación tres veces, cambiando de carpeta, ya que cada variable necesitara un waveform chart, (excepto la dirección del viento que empleara una grafica polar) para reportar de manera grafica los datos que se estarán sensando.
5. El gráfico tiene un display digital que muestra el último dato. Para poder visualizarlo se pulsa el botón derecho del ratón situado sobre el gráfico, y se selecciona del submenú Visible Items > Digital Display. Asimismo se deberá deseleccionar Plot Legend del mismo submenú.
6. Empleando la Edit Text, hacer un click derecho en el mouse, sobre la escala de los ejes del gráfico e introducir los valores máximo y mínimo para los ejes, pulsar fuera del gráfico ó enter. Así se habrá cambiado el fondo de escala.

7. Colocar un controlador Digital. En la paleta de controles se elige el submenú Numeric > digital control; para seleccionarlo se presiona el botón derecho del mouse sobre el ícono y se arrastra hacia la parte inferior de donde se colocó el Tab Control. También se pueden seleccionar los indicadores, mediante la opción digital indicador que se encuentra en el mismo submenú. En el momento de arrastrar su control y situarlo, usted puede dar un nombre al control o indicador.
8. Para colocar el botón que detenga la aplicación. En la paleta de controles se elige el submenú Boolean > Stop button, que arrastraremos hacia la parte inferior del Tab Control.
9. Se organizan los controles e indicadores. Cuando se crearon los controles e indicadores en el panel frontal, inmediatamente LabVIEW ha creado sus íconos correspondientes en el diagrama de bloques, hay que notar que los controles tienen la línea exterior más gruesa.

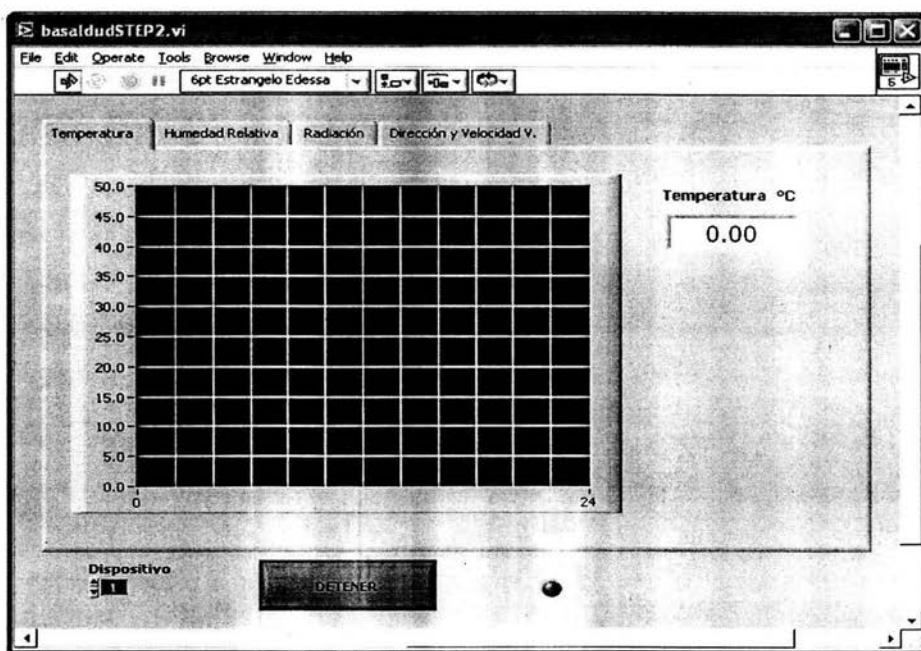
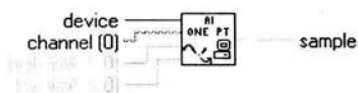


Figura 5-1 Aspecto del panel frontal hasta esta etapa del proceso.

## 5.2 Diagrama de bloques

Para la construcción del diagrama de bloques se empleara el siguiente proceso.

1. Abrir el diagrama de bloques, para visualizar el diagrama de bloques desde el panel frontal se presiona Ctrl+E ó de la barra de menús de la parte superior de la ventana del VI seleccionamos *Window > Show diagram*.
2. Para la adquisición de datos usaremos la función *AI Sample Channels* que la encontramos en la paleta de *Funciones > Data Acquisition > Analog input > AI Sample Channels*. El cual realiza una sola lectura de cada uno de los canales análogos de entrada especificados y entrega estos valores medidos en forma de un arreglo. El siguiente diagrama muestra las estradas y salidas para el *AI Sample Channels*.



**Figura 5-2** Diagrama de terminales para el *AI Sample Channels*.

Para iniciar la configuración de los canales con que trabajaremos, hacemos un click derecho, en el mouse, sobre el icono de *AI Sample Channels* y se selecciona del submenú que se despliega la opción visible ítems y hacer un click al inicio de la opción *terminals* (aparece una palomita). Esto nos permitirá cambiar la apariencia del icono para ver la distribución de las terminales.



**Figura 5-3** Diagrama de la función *AI Sample Channels* que indica el tipo de dato para las terminales.

Una vez que podemos ver el color de las terminales nos posicionamos sobre la terminal de color azul, la cual nos permite especificar el *Device*, hacemos un click derecho en el mouse y de la paleta que se despliega seleccionamos la opción *Create>Constant*. Esta operación la repetimos pero sobre la terminal rosa para especificar los canales que estaremos sensando para esta aplicación se usarán los canales 1 al 4 (C1-C4).

Para modificar los valores que aparecen por default en las casillas de las constantes que acabamos de crear se utiliza la herramienta *Edit Text*. Haciendo un click sobre la casilla podemos modificar el número.

3. Los datos que se están adquiriendo, al salir del AI Sample Channels se encuentran en forma de un arreglo de una dimensión, para su manipulación los convertiremos en un cluster, que tendrá elementos del mismo tipo que los elementos del arreglo, con la ayuda de la función Array To Cluster la cual seleccionamos desde, Functions > Cluster > Array To Cluster.



Figura 5-4 Diagrama de entradas y salidas del Array To Cluster.

4. Una vez que hemos dado el formato de cluster a los datos, empleamos la herramienta Unbundle que se encargara de separarlos en sus elementos individuales. Para tener acceso al Unbundle lo haremos desde Functions>Cluster>Unbundle.

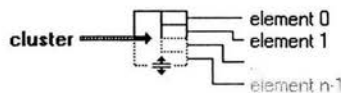


Figura 5-5 Unbundle, es una herramienta que permite separar un Cluster en sus elementos.

Al tener separadas las señales por elementos (correspondientes a cada canal), se procede a realizar las operaciones que requiera cada una para obtener un valor que represente la magnitud del fenómeno que estamos sensando.

La primera señal que manipularemos será la denominada elemento 0 del Unbundle, canal 1 del block conector, que corresponde a la temperatura, para lo cual se creo un subVI que nos permite calcular la temperatura en función de un voltaje diferencial.

### Creación del SubVI SR\_T.vi

1. Primero abrimos un nuevo panel frontal y colocamos un controlador Digital y un indicador Digital. En la paleta de controles se elige el submenú Numeric > digital control; para seleccionarlos se presiona el botón derecho del mouse sobre el icono y se arrastra. El indicador Digital, se elige mediante la opción digital indicador que se encuentra en el mismo submenú. En el momento de arrastrar el controlador o indicador y situarlo, se les puede asignar un nombre. El panel frontal tendrá la siguiente apariencia.



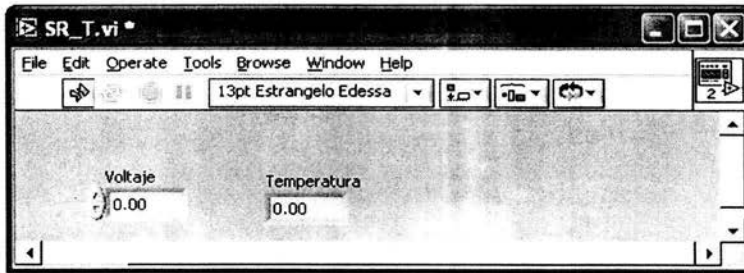


Figura 5-6 Panel frontal del SubVI SR\_T.vi

- II. El segundo paso será abrir el diagrama de bloques para el SubVI mediante  $\text{Ctrl} + E$ , desde el panel frontal.
- III. Abrir un ciclo Formula Node, donde se escribirá una operación de una forma textual, el cual se encuentra en *Funcions > Structures > Formula Node*. Y enseguida se le agregan unos conectores de entrada y salida de datos al ciclo, con el nombre de los parámetros inscritos.  
 Situándose sobre la frontera de la estructura Formula Node y haciendo un click derecho, se selecciona *Add input*, este proceso se repite en 6 ocasiones.  
 Se coloca el nombre de las constantes que se emplearan en las ecuaciones con ayuda de la herramienta *Edit Text*:  $E$ ,  $R_s$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $R_o$  y  $E_o$ . También haciendo click derecho en la frontera izquierda del nodo de formula cree una salida mediante la opción *Add output* y se coloca el nombre de  $T$ .
- IV. Una vez que se han definido las constantes así como la entrada y salida a utilizar se sitúa el cursor sobre cada una de ellas (excepto para la entrada y la salida,  $E_o$  y  $T$  respectivamente) y se hace un clic derecho, en el mouse, para ver el menú que se despliega, del cual seleccionamos la opción *create>constant* e ingresamos el valor de cada una.
- V. Sobre la casilla que se nombro  $E_o$  hacemos un clic derecho, en el mouse, y del menú que se despliega elegimos *create>control*. Para la casilla de salida  $T$  elegimos la opción *create > indicator*.
- VI. Con ayuda de la herramienta *Edit Text* escribimos dentro del nodo las siguientes ecuaciones que nos permitirán calcular la resistencia del Pt 100 ya que la temperatura es una función de dicha resistencia.

$$R_4 = \frac{(E \times R_s) + (E_0 \times 0.02 R_s)}{E - 0.02 E_0} - 400$$

$$T = -0.5 \left( \frac{A}{B} + \left( \frac{A^2}{B^2} - \frac{4}{B} \left( 1 - \frac{R_4}{R_0} \right) \right)^2 \right)$$

- VII. Editamos el icono que aparece en la esquina superior izquierda del diagrama de bloques. al hacer un clic derecho, en el mouse, sobre el icono aparece un menú del cual seleccionamos la opción Edit Icon y con las herramientas de edición que aparecen realizamos los cambios para personalizarlo.
- VIII. Por ultimo guardamos el subVI, desde la barra de menús de la parte superior de la Window del VI seleccionamos File > Save As y lo nombramos SR\_T.vi.

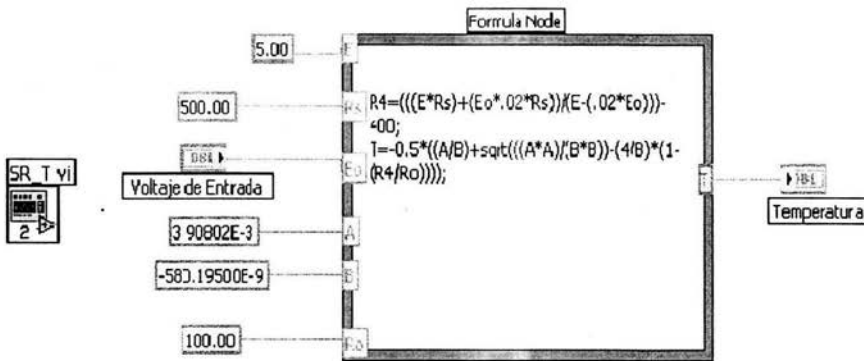


Figura 5-7 Icono y Diagrama de bloques del subVI que realiza el cálculo de la temperatura en función del voltaje de salida del sensor.

El SubVI que acabamos de construir nos permite calcular una temperatura a partir del voltaje de entrada, elemento 0 del Unbundle, canal 1 del block conector, por lo tanto ya podemos graficar la señal. lo cual es posible uniendo mediante un cable, empleando para ello la Herramienta Connect Wire, la terminal de salida del SubVI con el icono correspondiente al waveform chart (1), que colocamos en la primera carpeta del Control Tab en el panel frontal.

- 5. La segunda señal en manipular será el elemento 1, del Unbundle, que se conecta al canal 2 del block conector, correspondiente a la Humedad Relativa, como dicha señal es proporcional a un voltaje de salida del sensor (0...100 % HR equivalente a 0...1 VDC),

solo crearemos una constante con un valor de 100 que multiplicara a la señal que sale del Unbundle.

Para realizar esta operación empleamos la herramienta Multiply, la cual se muestra en la figura 5-8. Donde X será la señal del sensor e Y una constante que creamos de la siguiente forma.

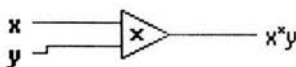


Figura 5-8 Entradas y salidas de la herramienta Multiply.

Seleccionamos Functions > Numeric > Multiply. Arrastramos el icono hacia el diagrama de bloques; una vez que ya tenemos el icono hacemos un click derecho, en el mouse, sobre el mismo y seleccionamos del submenú la opción Create>Constant.

Para cambiar el valor de la constante utilizamos la herramienta Edit Text.

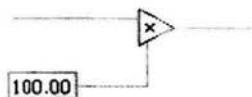


Figura 5-9 Bloques para realizar la operación de la señal por un factor de 100.

Los datos que se obtienen como resultado del producto de la señal la constante ahora ya nos representa el valor de la humedad relativa que estamos sensando, por lo que esta señal la mandamos a un waveform chart (2) que habíamos colocado en la carpeta (2) del Tab Control en el panel frontal esto se logra al unir los iconos mediante un cable empleando para ello la Herramienta Connect Wire.

6. La siguiente señal en manipular será el elemento 2 del Unbundle, canal 3 del block conector, que corresponde a la radiación solar

A la señal que obtenemos de la etapa de acondicionamiento, del radiómetro, solo hay que multiplicarla por una constante que fue determinada por el fabricante para lo cual se emplea la herramienta Expression Node, que localizamos en Functions > Numeric > Expression Node.

Arrastramos el icono hacia el diagrama de bloques e insertamos la siguiente relación, con ayuda de la herramienta Edit Text, que se muestra a continuación.

$$\frac{r}{172 \times 10^{-6}}$$

Donde  $r$  es la señal del sensor y  $172 \times 10^{-6}$  una constante que nos permite obtener la magnitud de la radiación con unidades de  $W/m^2$ .

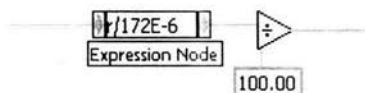


Figura 5-10 Acondicionamiento de la señal del radiómetro.

Posteriormente el resultado del Expression Node lo dividimos entre 100. Ya que en la etapa de acondicionamiento la señal se amplificó en un 100%.

- Una vez que se han realizado las operaciones podemos decir que la magnitud resultante nos indica el valor para la radiación solar que estamos sensando. Por lo que ya podemos graficarla en la carpeta (3) del Tab Control.

Para poder visualizar la evolución de la radiación solar, esta señal la mandamos a un waveform chart (3) que habíamos colocado en la carpeta (3) del Tab Control en el panel frontal esto se logra al unir los iconos mediante un cable empleando para ello la Herramienta Connect Wire.

- La siguiente y última señal que ingresa por los canales analógicos, elemento 3 del Unbundle, canal 4 del block conector, que corresponde a la dirección del viento.

Para dicha señal se empleara un Expression Node para realizar el cálculo del ángulo ( $0-360^\circ$ ) en función de un voltaje diferencial. La relación o ecuación que se empleara es la siguiente.

$$X \times \frac{360}{5}$$

Donde  $X$  es la señal del sensor y  $(360/5)$  es la relación que existe entre el voltaje máximo de salida del sensor (5V) y el valor máximo para la dirección del viento ( $360^\circ$ ).

La función Expression Node la encontramos en *Functions > Numeric > Expression Node* y la arrastramos hacia el diagrama de bloques. Con la ayuda de la herramienta Edit Text se inserta la relación.

Para poder visualizar el valor que resulta de evaluar la relación que se encuentra en el Expression Node desde el panel frontal insertamos un Digital Indicator, en la carpeta (4) del Tab Control previamente seleccionada para la variable de velocidad y dirección del viento, que se localiza en Controles>Numeric> Digital Indicator. Con la herramienta Connect Wire unimos la salida del Expression Node con el Digital Indicator.

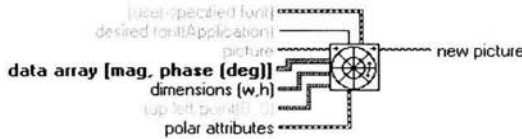


Figura 5-11 Diagrama de entradas y salidas para el Polar Plot.vi

Para poder visualizar los datos de manera grafica se empleara una grafica polar. Como se aprecia en la figura 5-11 para poder utilizar esta función, Polar Plot vi. los datos de entrada deberán tener un formato de arreglo, por lo que primero se construye un SubVI, que nos permita realizar esta tarea.

### Creación del SubVI MF2.vi

Primero abrimos un nuevo panel frontal, de la barra de menús de la parte superior de la ventana del VI seleccionamos File > New VI. Colocamos en él, un control Horizontal Pointer Slide y un Digital Indicator que se encuentran en: Controls > Numeric > Horizontal Pointer Slide y Controls> Numeric>Digital Indicator respectivamente. El panel frontal tendrá la siguiente apariencia.

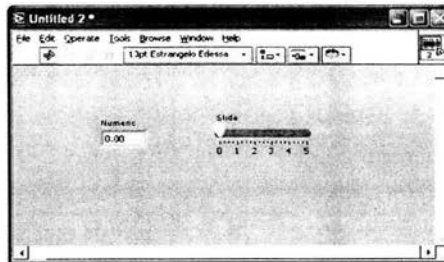


Figura 5-12 Panel frontal del SubVI MF2.vi

El segundo paso será abrir el diagrama de bloques para el SubVI mediante Ctrl + E, desde el panel frontal.

1. Abrimos un ciclo For Loop, este se ubica en *Functions > Structures > For Loop*, este ciclo hará un número definido de iteraciones y la operación que se realizara dentro del ciclo será una comparación entre dos arreglos que se crearan.

El número de iteraciones esta dado por el valor que se coloca en el parámetro 'N'.

2. El valor que se ingresa mediante el *Horizontal Pointer Slide* será la entrada de un *Expression Node*, localizado dentro del ciclo *For Loop*, donde se calculara el ángulo de la dirección del viento. La escala para el *Horizontal Pointer Slide* será de 0 a 5, para que coincida con el rango de voltaje de salida del sensor de dirección de viento.

3. La herramienta *Expression Node*, la localizamos en *Functions > Numeric > Expression Node*. Al colocarlo dentro del ciclo *For Loop*, con la ayuda de la herramienta de *Edit Text* escribimos la ecuación

$$-\left(X \times \frac{360}{5}\right) + 90$$

Donde X es la señal del sensor y (360/5) es la relación que existe entre el voltaje máximo de salida del sensor (5V) y el valor máximo para la dirección del viento (360°).

El signo menos y la constante de 90 permiten que la grafica tome como referencia (0°) el eje Y positivo ó 90° apartir del eje de las abcisas positivas

El valor que resulte del *Expression Node* nos da la dirección del viento, entonces para formar el arreglo que queremos graficar en la grafica polar, consideraremos una velocidad de magnitud constante, ya que solo nos interesa ver de forma grafica la dirección del viento.

4. Dentro del ciclo *For* colocamos un *Bundle* que localizamos *Functions > Cluster > Bundle*.

5. Nos posicionamos sobre el *Digital Indicator* y hacemos un click derecho, en el mouse, se abre un submenú del cual elegimos *Change to Constant*. Dicha constante la sacamos del ciclo y cambiamos el valor con la ayuda de la herramienta *Edit Text* (le damos un valor de 5 que es el máximo voltaje de salida del sensor.)

6. Con la ayuda de la herramienta *Connect Wire* unimos la constante que acabamos de crear y la salida del *Expression Node* al *Bundle* que insertamos en el ciclo.

7. Insertamos una función de comparación que nos permitirá elegir el arreglo que será la entrada para la grafica polar que deseamos. Dicha función se encuentra en *Functions > comparison > Select*.

8. Nos posicionamos sobre el Select y hacemos un click derecho, en el mouse, se abre un submenú del cual elegimos Visible Items y seleccionamos la opción Terminals. Esta opción nos permitirá distinguir las distintas terminales así como el tipo de dato que acepta en cada terminal.



Figura 5-13 Icono y Diagrama de terminales para la función de comparación Select.

9. Con ayuda de la herramienta Connect Wire unimos la salida del Bundle a la terminal False del Select.
10. Nos posicionamos sobre la terminal True del Select y hacemos un click derecho, en el mouse, se despliega un submenú del cual elegimos Create > Constant. Dicha constante, con la ayuda de la herramienta Connect Wire, la unimos a la terminal
11. Del menú de funciones elegimos Functions > comparison > Equal To 0? y lo insertamos en el ciclo. Con ayuda de la herramienta Connect Wire unimos la terminal de las iteraciones al Equal To 0? y la salida del Equal To 0? a la terminal ? del Select.
12. Con la herramienta Connect Wire unimos la salida del select a la pared del ciclo for (en ese instante aparece un cuadrado sobre la pared del ciclo).  
Se sitúa el cursor sobre el cuadrado que apareció y haciendo un click derecho, en el mouse, aparece un menú del cual elegimos Create> Indicator. Dicho indicador se une al cuadrado de la pared del ciclo con la herramienta Connect Wire.
13. Definir el número de iteraciones que deberán de realizarse dentro del ciclo. Esto se logra colocando el cursor sobre la N que aparece en el borde superior derecho del ciclo (en color azul) y haciendo un click, en el mouse, aparece un menú del cual seleccionamos Create Constant. Se cambia el valor de la constante con la herramienta Edit Text.
14. Editar el icono que aparece en la esquina superior izquierda del diagrama de bloques. Al hacer un clic derecho, en el mouse, sobre el icono aparece un menú del cual seleccionamos la opción Edit Icon y con las herramientas de edición que aparecen realizamos los cambios para personalizarlo.
15. Por ultimo se guarda el subVI, desde la barra de menús de la parte superior de la ventana del VI se selecciona File > Save As y se nombra como MF2.vi.

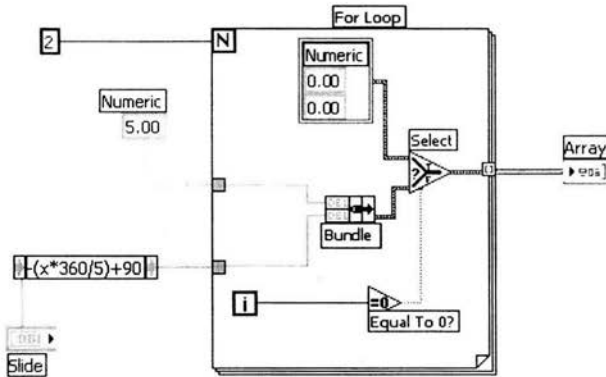


Figura 5-14 Diagrama de Bloques del SubVI MF2.vi

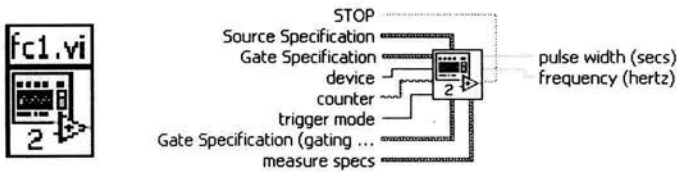
9. El SubVI que construyo recibirá como entrada un voltaje, del canal 4 del block conector, y a la salida entrega una señal con formato de arreglo por lo que ya podemos usar la función Polar Plot. Para seleccionar esta función lo hacemos desde Functions > Graphics & Sound > Picture Plots > Polar Plot vi.

Al colocar la Polar Plot vi. en el diagrama de bloques podemos observar, que en el panel frontal, aparecen una serie de controladores que en nuestra aplicación no usaremos, por lo que desde el diagrama de bloques nos posicionamos sobre los iconos desired font (Application), [user-specified font] y polar attributes y haciendo un clic derecho, en el mouse, aparece un menú del cual elegimos la opción Hide Indicator. Con lo que desaparecen del panel frontal dichos controladores.

Para terminar con esta variable solo falta unir con la herramienta Connect Wire la salida del subVI con el Polar Plot.

10. Para la manipulación de la señal proveniente del sensor de velocidad de viento, que es un tren de pulsos, se uso un subVI disponible en las librerías de LabVIEW. El cual se puede abrir desde el cuadro de dialogo inicial de LabVIEW, se selecciona la opción Find Examples y en la carpeta Search elegimos la opción Frequency la que nos despliega una lista de opciones. En dicha carpeta seleccionamos Measure Frequency (DAT-STC).vi

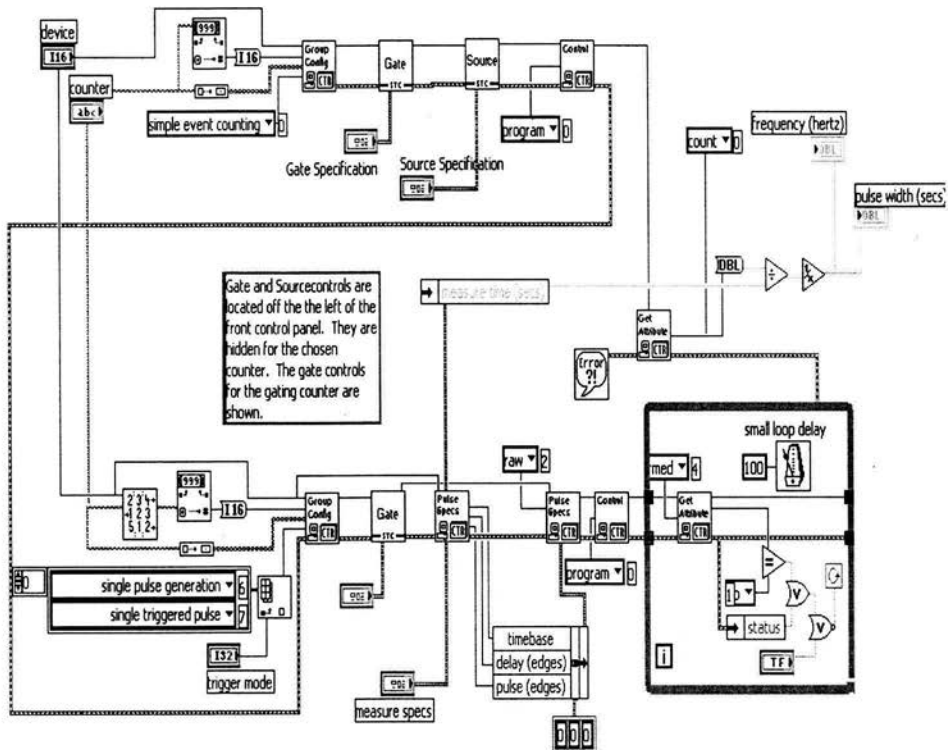




**Figura 5-15** Icono y diagrama de entradas y salidas del SubVI que se emplea para la adquisición y manipulación de la señal de frecuencia.

Este VI mide la frecuencia de una onda cuadrada periódica usando dos contadores que registran el número de bordes de levantamiento contrarios de la onda.

Como se aprecia en la figura 5-15 el VI que se emplea para la adquisición de la señal del anemómetro de viento, nos reporta como salida una frecuencia que habrá que manipular para obtener la velocidad del viento.



**Figura 5-16** Diagrama de bloques del SubVI que se emplea para la adquisición y manipulación de la señal de frecuencia.

Al colocar el subVI *Measure Frequency (DAT-STC).vi* en el diagrama de bloques podemos observar, que en el panel frontal, se despliegan una serie de controladores que no usaremos, por lo que desde el diagrama de bloques nos posicionamos sobre los iconos *Gate Specification*, *Source Specification*, *counter*, *trigger mode*, *Gate Specification (gating counter)* y *measure specs* y haciendo un clic derecho, en el mouse, se despliega un menú del cual elegimos la opción *Hide Indicator*. Con lo que desaparecen del panel frontal dichos controladores.

11. Conectar la función *AI Sample Channels* al subVI *Measure Frequency (DAT-STC).vi*. Con la herramienta *Connect Wire*, se sitúa el cursor sobre la función *AI Sample Channels*, de lado de las salidas y se une a la terminal *Device* del subVI *Measure Frequency.vi* (ver figura 5-15).
12. La empresa que diseño los sensores de viento dentro de las hojas técnicas da la relación que existe entre la frecuencia y la velocidad del aire(en mph) por lo que emplearemos la función *Expression Node*, que localizamos en *Functions > Numeric > Expression Node* para calcular la velocidad.

Arrastramos el icono hacia el diagrama de bloques e insertamos la relación, con la ayuda de la herramienta *Edit Text*, que se muestra a continuación.

$$\left(0.3 + \frac{f}{9.51}\right) \times 0.44704$$

Donde *f* es la frecuencia del sensor y 0.44704 un factor que nos permite realizar la conversión de mph a m/s<sup>2</sup> para así obtener la velocidad en unidades de m/s<sup>2</sup>.

13. El subVI *Measure Frequency.vi* como ya se menciona a la salida entrega un valor de frecuencia, el cual usaremos como entrada de la función *Expresión Node*, que empleando la herramienta *Connect Wire* se unen la terminal *frequency* del subVI *Measure Frequency* a la entrada del *Expression Node*.  
En la salida de la expresión *Node* ya se tiene el valor para la velocidad del viento. Para poder observar la evolución de dicha variable insertamos un indicador digital en la cuarta y ultima carpeta, desde el panel frontal, y automáticamente aparece el icono en el diagrama de bloques el cual conectamos a la salida de la expresión *Node*.
14. Construir un arreglo que contenga los valores de todas las variables meteorológicas medidas, después de realizar las operaciones necesarias para conocer su valor. Esto se

logra empleando la función *Build array*. Dicha función se encuentra en *Functions > Array > Build Array*

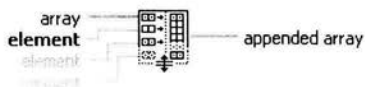


Figura 5-17 Diagrama de entradas y salidas de la función *Build Array*.

Al insertar la función el diagrama de bloques solo tiene una entrada para un elemento por lo que situamos el mouse sobre la misma, de lado de las entradas y hacemos un clic derecho, en el mouse, y del menú que se despliega elegimos la opción *Add input*. Se repite el proceso anterior hasta completar 5 entradas correspondientes a las señales que se están sensando

15. Para armar el arreglo unimos al *Build Array* las señales de los sensores, después de haber realizado el acondicionamiento, con la herramienta *Connect Wire*.
16. Para finalizar con la etapa de adquisición de datos colocamos un *While Loop*, este se ubica en *Functions > Structures > While Loop*. Dicha estructura, sirve para hacer que una secuencia de instrucciones se repita una cantidad de veces, siempre y cuando una afirmación sea verdadera. Por lo que nos permitirá adquirir datos de manera continua.

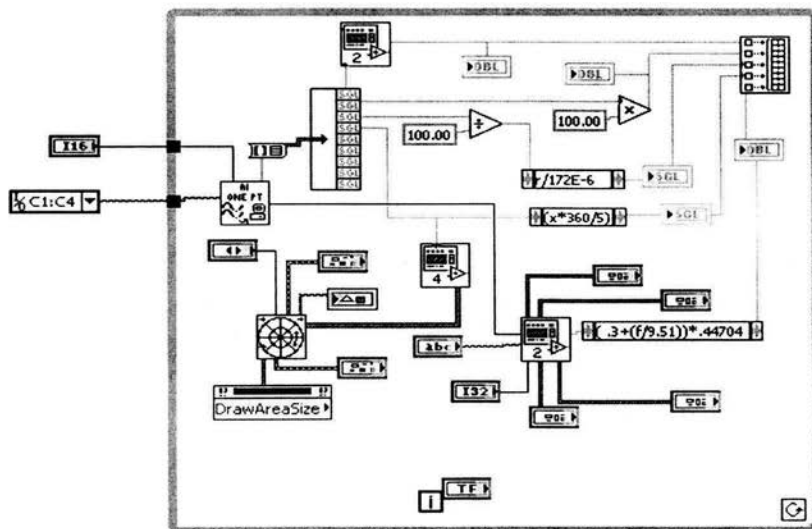


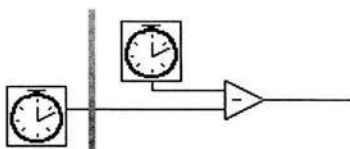
Figura 5-18 Etapa de adquisición de datos dentro de un *While Loop*.

Una vez que hemos creado una rutina que nos permite adquirir los datos provenientes de nuestros sensores el siguiente paso es realizar una rutina que nos permita el almacenamiento de los resultados, el instrumento no está completo si no guarda en disco los resultados de las medidas. Además al inicio del presente trabajo se considero el poder tener la capacidad de manipular el tiempo de muestreo que sería promediado y así reducir el tamaño de los archivos que se estarán creando.

17. Crear una rutina que permita seleccionar el periodo de muestreo que se desea promediar para posteriormente crear una base de datos con los promedios. Para establecer una base de tiempo, LabVIEW cuenta con una función llamada Tick Count, la cual proporciona el valor instantáneo del reloj de la PC en milisegundos (ms).
18. La función Tick Count la seleccionamos desde la subpaleta Time & Dialog del menú de functions. Se colocan una función Tick Count dentro del ciclo y otra fuera del mismo, para poder realizar una diferencia entre ambas, la cual se comparará con el tiempo propuesto para promediar los datos que se van obteniendo producto de las mediciones.

La función Tick Count que se encuentra dentro del ciclo se estará actualizando con el reloj de la PC y la función Tick Count que se encuentra fuera del ciclo servirá de referencia ya que guardará el tiempo en el que se realizó la última captura de un promedio.

19. Para realizar esta operación empleamos la herramienta Subtract que seleccionamos desde Functions > Numeric > Subtract. Arrastramos el icono hacia el diagrama de bloques y con la ayuda de la herramienta Connect Wire unimos las salidas de las funciones Tick Count a las terminales del Subtract. Resultando el siguiente diagrama.



La diferencia de las funciones Tick Count estará dada en unidades de milisegundo por lo que es preciso dividirla por un factor de 1000 para obtenerla en unidades de segundos.

$$ms \times \frac{1s}{1000ms} = s$$

Para realizar esta operación seleccionamos *Functions > Numeric > Divide* y arrastramos el icono hacia el diagrama; una vez que ya tenemos el icono en el diagrama hacemos un click derecho, en el mouse, sobre el mismo y seleccionamos del submenú la opción *Create > Constant*. Para cambiar el valor de la constante utilizamos la herramienta *Edit Text* y así le asignamos el valor de 1000.

20. Para poder controlar el tiempo de muestreo que deseamos promediar insertamos un controlador digital que seleccionamos desde la paleta de controles, se elige el submenú *Numeric > digital control*. Al realizar este procedimiento, en el diagrama de bloques, aparecerá automáticamente el controlador en el panel frontal.

El valor que nosotros introducimos como tiempo para promediar será dado en minutos por lo que tendremos que realizar una conversión a segundos, unidades que también tiene el resultado de la diferencia de los contadores de tiempo, esto se logra multiplicando el valor que elegimos por una constante igual a 60

$$X \text{ minx} \frac{60s}{1 \text{ min}} = 60X s$$

Para realizar esta operación seleccionamos *Functions > Numeric > Multiply*. Arrastramos el icono hacia el diagrama de bloques; una vez que ya tenemos el icono hacemos un click derecho, en el mouse, sobre el mismo y seleccionamos del submenú la opción *Create>Constant*.

Para cambiar el valor de la constante utilizamos la herramienta *Edit Text*, le asignamos el valor de 60 y con la ayuda de la herramienta *Connect Wire* unimos la salida del controlador digital a la entrada de la función *multiply*.

Ahora que ya tenemos los valores que deseamos comparar, desde *functions > comparison* elegimos la función *Greater Or Equal?* Que solo puede tener dos posibles valores como salida. Un valor verdadero si x es mayor que o igual a y. Si no, esta función tendrá un valor falso.

Con la herramienta *Connect Wire* unimos la salida de la función *multiply* y de la función *Divide* a las entradas de la función *mayor o igual que*.

Dado que los ciclos **While** se repiten siempre y cuando una afirmación sea verdadera, o al recibir un falso se detiene para que el dato que haya en la frontera de salida vaya a un indicador fuera del ciclo.

La función Or que se encargara de realizar las dos posibles operaciones lógicas de las entradas. La función Or la encontramos en Functions > Boolean > Or.



$$V \times F = F \qquad F \times F = V$$

En la entrada superior crearemos una constante a la cual se le asigna el valor "false" esto se logra al ubicar el cursor sobre la función Or y se realizar un clic derecho, en el mouse, de donde se selecciona del menú que se despliega crear una constante.

En la entrada inferior entrara el valor resultado de la primera comparación que se realizo. Enseguida podremos observar el resultado de la operación lógica que se realiza con la ayuda de un led el cual tendrá una luz verde mientras el programa trabaja de manera adecuada y roja cuando el programa se presenta detiene.

Al terminar las actividades antes mencionadas en el diagrama de bloques observaremos un modulo como el que se muestra en la siguiente figura.

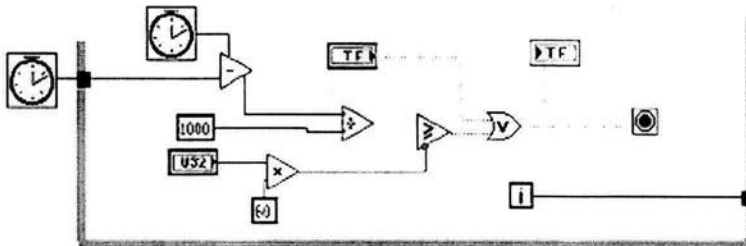


Figura 5-19 Bloque del programa que permite definir el tiempo de muestreo a promediar.

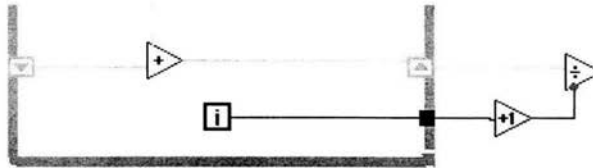
Hasta esta etapa del programa solo podemos manipular el intervalo de tiempo en el cual se estarán adquiriendo los datos ahora necesitamos crear un promedio que será guardado en la PC.

Para poder almacenar de manera temporal los datos adquiridos en el tiempo que seleccionamos, se instala un arreglo en la frontera del ciclo while look, esto se logra posicionando el cursor sobre la frontera del ciclo y se hace un clic derecho, en el mouse, que despliega un menú del cual seleccionamos la opción Add Shift Register, después de realizar esta acción sobre la frontera aparecerán dos flechas, una de cada lado del ciclo, que servirán como terminales para comunicar el ciclo con el

arreglo que se estará generando con los datos adquiridos. Para insertar el arreglo seleccionamos de la paleta de funciones Array > Array Constant, dentro de este arreglo que acabamos de colocar insertaremos un indicador digital.

Como el ciclo al momento de parar tiene datos en la frontera de salida y los datos generados en la última iteración sumaremos los datos adquiridos durante las iteraciones del ciclo más los datos de la última iteración que se encuentran en el Build Array.

Al conocer los valores de cada variable para cada iteración solo nos resta dividirlos entre el número de iteraciones realizadas por el ciclo. Afortunadamente el ciclo While Look cuenta con un contador de iteraciones por lo que solo tenemos que sumarle una constante igual a uno para incluir la iteración en la cual se cumplió la condición para detener las iteraciones y generar un valor de salida

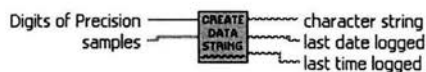


**Figura 5-20** Diagrama para el cálculo de los promedios de las mediciones.

En esta etapa del programa ya tenemos la rutina que estará calculando el promedio de los datos adquiridos durante un tiempo  $t$  determinado por el usuario, por lo que solo resta crear la parte del programa que nos permita almacenar estos promedios.

Para almacenar los datos en la PC, primero mediante la función Create Data String se le asignará el formato para el nombre del archivo que se está creando mientras el programa está trabajando. El formato para nombrar los archivos es el siguiente: día/mes/año en que se creó el archivo.

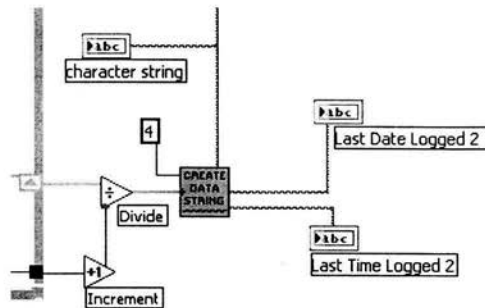
La cual se encuentra desde C:\ Archivos de Programa \ National Instruments \ LabVIEW 6.1 \ vi.lib \ daq \ sol \ subs.lib \ Create Data String.vit



Para poder visualizar el día y la hora a la que se almaceno el ultimo promedio insertamos un indicador digital en las terminales last date logged y last time logged. En el panel frontal, se selecciona Controls > Numeric > Digital Control y automáticamente aparecen en el diagrama de bloques y con ayuda de la herramienta Connect Wire unimos los iconos a las terminales de la función.

Seleccionar el número de dígitos de precisión. En la terminal Digits of precision de la función Create Data String se realiza un clic derecho y del menú que se despliega se selecciona Create > Constant. Al crear la constante tiene un valor de 2 el cual se modifica con la herramienta Edit Text para asignarle un valor de 4.

Crear un indicador que permita visualizar los últimos promedios almacenados en la base de datos. Sobre la terminal carácter string de la función Create Data String se realiza un clic derecho, en el mouse, y del menú que se despliega se selecciona Create > Indicator, automáticamente en el panel frontal se tendrá un indicador que muestra la fecha, hora y el ultimo promedio de cada una de las cinco variables sensadas que se almaceno.

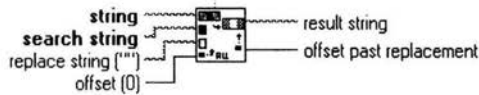


**Figura 5-21** Bloque del programa que le da formato de cadena a los promedios, fecha y hora de captura

Al nombrar los archivos como el día/mes/año (ejem. 13-08-2003) en que fueron creados se corre el riesgo de poder rescribir sobre un archivo previo, al tener dos o más periodos de medición en un mismo día, se inserta una función que se encargara de revisar si existe un archivo con ese nombre y en caso de que si exista formulara la pregunta si se desea sustituir el archivo o se cancela la acción de almacenar los datos.

La tarea que realiza dicha función se encuentra en Functions > String > Search and Replace String.





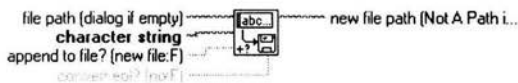
**Figura 5-22** Diagrama de terminales de la función Search and Replace String.

La salida de esta función se enlazará con un ciclo que permitirá que el archivo almacenado tenga los encabezados que indiquen el nombre de cada una de las columnas, para lo cual se creará un subVI como se indica a continuación.

### Creación del subVI STcabeza1.vi

El propósito de este subVI es el crear un formato que nos permita diferenciar las columnas de los promedios para las variables monitoreadas así como la fecha y hora de captura.

1. Abrir un panel frontal nuevo e insertar un File Path Control y un File Path Indicador, ambas funciones las encontramos en Controls>String & Path> File Path Control y Controls>String & Path > File Path Indicador.
2. Abrir el diagrama de bloques. Desde el panel frontal se presiona Ctrl + E ó desde la barra de menús de la parte superior de la ventana del VI Seleccionamos Window > Show Diagram.
3. Iniciamos el subVI seleccionando de la paleta de Functions > File I/O > Write Characters To File. Función que tiene las siguientes terminales.



**Figura 5-23** Terminales de la función Write Characters to File.

4. Posicionamos el cursor sobre la terminal convert eol? Y haciendo un clic derecho, en el mouse, se despliega un menú del cual seleccionamos create constant y automáticamente aparecerá un booleano conectado a la terminal con un valor "False".
5. Con la ayuda de la Herramienta Connect Wire, unimos la terminal New File Path con el File Path Indicador.

6. En la terminal `character string` se insertan los encabezados que identificaran cada columna como un arreglo de cadenas.
- El primer paso es el elegir la función `Concatenate Strings` que la encontramos en `functions > String > Concatenate Strings` la cual se encargara de agrupar las cadenas que se emplearan para nombrar a las columnas. Al colocar la función en el diagrama de bloques solo tiene dos entradas, pero seleccionamos la herramienta `position/Size/Select`, posicionamos el cursor sobre el limite inferior de la función y mantenemos presionado el botón derecho del mouse mientras arrastramos hacia abajo hasta obtener 15 entradas.
  - Para establecer los nombres de las columnas e insertar espacios entre las columnas seleccionamos, en el caso de los nombres, `Functions > String > String Constant` y para insertar los espacios: `Functions > String > Tab Constant`.

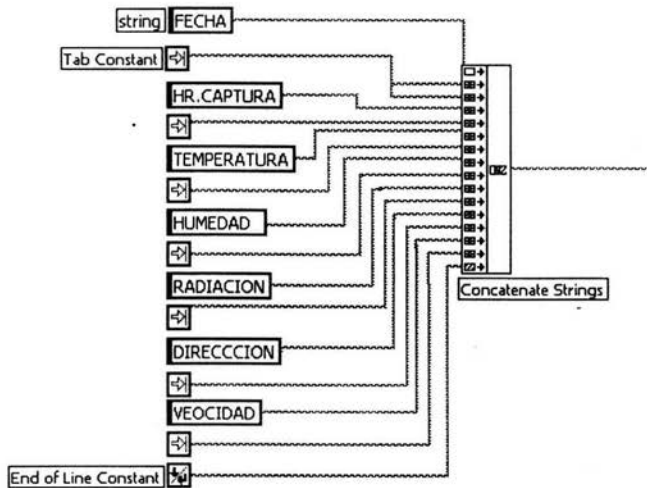
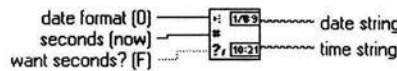


Figura 5-24 Arreglo para insertar el encabezado de los archivos que se generan.

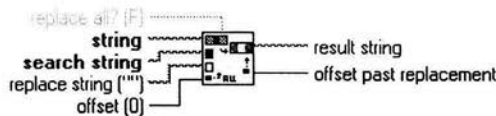
- Con ayuda de la herramienta `Edit Text` cambiamos el nombre de las `String Constant`. Colocando primero el encabezado para la fecha y a continuación el nombre de cada una de las variables que se medirán, siempre insertando un espacio entre columna y columna.

- d. Para indicar el final del arreglo seleccionamos *Functions > String > End of Line Constant*. Al terminar este arreglo deberá de tener la apariencia de la figura 5-23.
- 7. Con la ayuda de la Herramienta *Connect Wire*, unimos la terminal *character string* de la función *Search and Replace String* con el arreglo que se realizo previamente.
- 8. La terminal *File Path* será conectada a la señal de salida de una rutina que determinara el formato que se le dará a la fecha así como los símbolos que se emplearan para separar los números.
- 9. Primero colocamos una función *Concatenate String* que nos ayudara unir varias cadenas dándole el formato de una sola cadena.
- 10. La función *Get Date/Time String* que se encargara de convertir la fecha en un número, asumiendo que este número esta en segundos, para que tenga el formato de un arreglo. Dicha función se encuentra en *Functions > Time and Dialog > Get Date/Time String*



**Figura 5-25** Diagrama de terminales de la función *Get Date/Time String*.

Insertamos una función *Search and Replace String* dicha función se encuentra en *Functions > String > Search and Replace String*.



**Figura 5-26** Diagrama de terminales de la función *Search and Replace String*.

Ahora que tenemos las dos funciones en el diagrama de bloques unimos la terminal *date string*, de la función *Get Date/Time String* a la terminal *string* de la función *Search and Replace String*.

Para definir los parámetros restante de la función *Search and Replace String*. Repetimos el proceso de crear una constante (un clic derecho sobre la terminal y del menú que se

despliega elegir la opción create > constant) en las terminales search, search string y replace all? [F] para establecer las siguientes constante (/), (-) y (T) respectivamente.

El siguiente paso es insertar la función Concatenate Strings que la encontramos en functions > String > Concatenate Strings Al colocar la función en el diagrama de bloques solo tiene dos entradas, pero seleccionamos la herramienta position/Size/Select, posicionamos el cursor sobre el limite inferior de la función y mantenemos presionado el botón derecho del mouse mientras arrastramos hacia abajo hasta obtener 3 entradas.

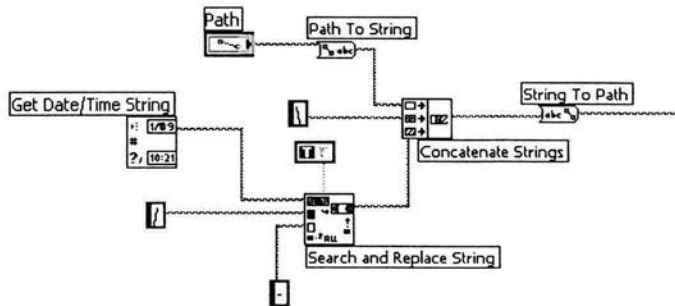


Figura 5-27 Secuencia final para la conexión de un indicador a la función Concatenate

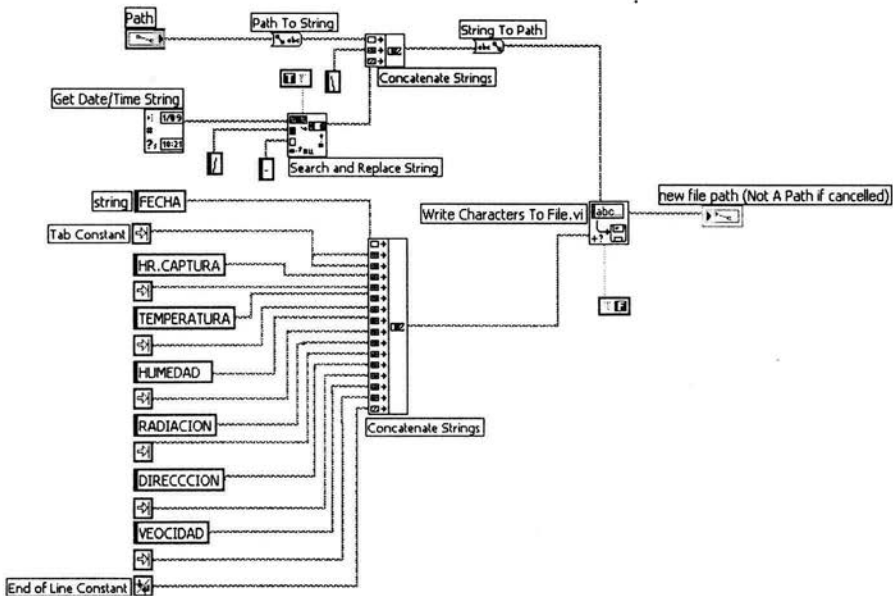


Figura 5-28 Diagrama de bloques del subVI STcabeza.vi

La terminal result string de la función Search and Replace String se une con un cable a la entrada inferior de la función concatenate string en la siguiente entrada, de abajo para arriba, creamos una constante "/" y en la entrada superior se conecta el File Path Control el cual se colocado desde el inicio. Este ultimo indicador tiene el formato path por lo que es preciso cambiarlo al formato de una String lo cual se logra con la función Path To String que se encuentra en Functions > String > String/Array/Path Conversion > Path To String.

La secuencia final de la terminal superior será un path indicator conectado a un Path To String y este por ultimo se conectara a la terminal de la función Concatenate String. El diagrama de esta etapa se ilustra en la figura 5-22

El ultimo paso para la construcción del subVI es el conectar la salida de la función Concatenate String a la terminal File Path de la función Write Characters to File usando para ello un String To Path. Al finalizar la construcción del subVI su diagrama de bloques quedara de la siguiente forma

Al terminar de construir el subVI solo resta editar el icono de conexión para personalizarlo y respaldarlo con el nombre STcabeza1.vi



Figura 5-29 Icono conector del subVI STcabeza1.vi

Como solo se requiere un encabezado por archivo, se trabajara con una Case Structure que es una estructura de comparación y ejecución condicionada donde de acuerdo a un parámetro se realizan las operaciones de un cuadro u otro. Si el parámetro condicional es del tipo verdadero-falso, cuando éste es verdadero se ejecuta un contenido, y cuando es falso se ejecuta otro. En este caso las 2 posibles opciones de ejecución se ilustran en la figura 5-25.

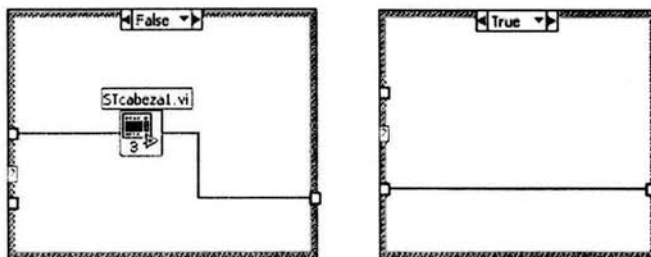


Figura 5-30 Opciones de ejecución de la Case Structure.

La condición que determinara cual de los casos se llevará a cabo será el resultado de la comparación de los nombres de los archivos, a los cuales se les asignara como nombre la fecha en que se crearon.

Para poder tener una referencia abriremos una nueva Case Structure (1), desde Functions > Structures > Case Structure que albergue dentro de si todo el modulo de adquisición y almacenamiento de las mediciones que se realizaran.

Dentro de la Case Structure (1) que se acaba de abrir se inserta otra Case Structure (2), que será la encargada de albergar el subVI STcabeza.vi, rigiendo la ultima acción.

Para insertar el subVI dentro de la Case Structure ubicamos el cursor dentro de la estructura desde la paleta de funciones ó se hace un clic derecho, en el mouse, y se elige la opción select a VI la cual abrirá un recuadro se muestran los VI creados. Finalmente se selecciona el subVI que se desea en este caso STcabeza.vi.

El siguiente paso es definir las variables que se emplearan dentro la Case Structure (1), por lo que, fuera de esta se coloca una función Get Date/Time String

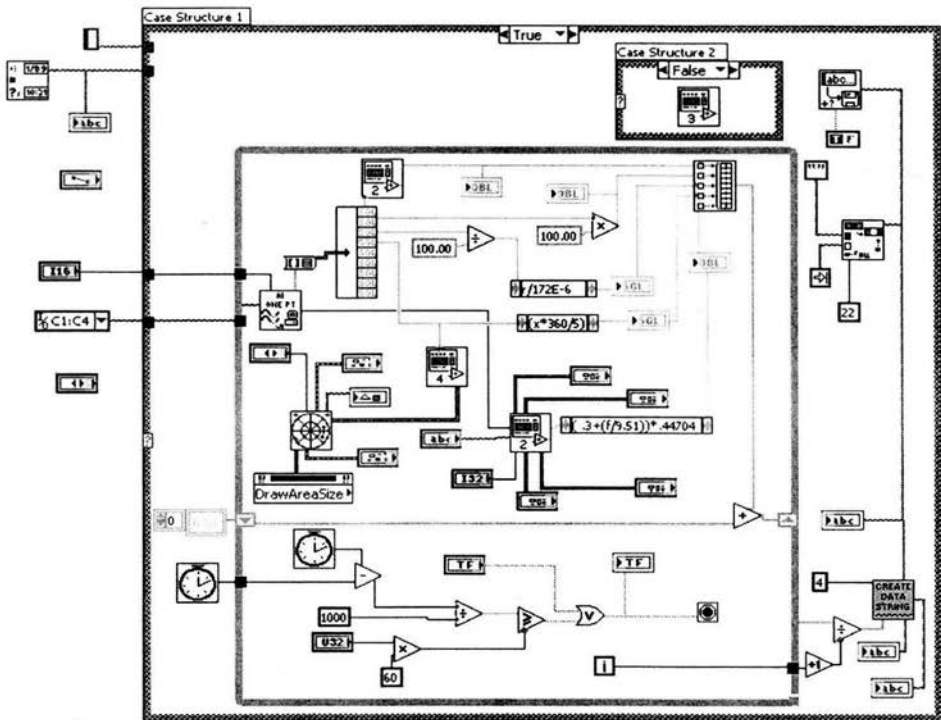


Figura 5-31 Diagrama de bloques

La función la seleccionamos desde *Functions > Time & Dialog > Get Date/Time String*. En la figura 5-25 se muestran las terminales de la función. En la terminal *data string* se le inserta un indicador digital para poder visualizar este dato en el panel frontal, el indicador digital lo encontramos en *Functions > Numeric > Digital Indicator*.

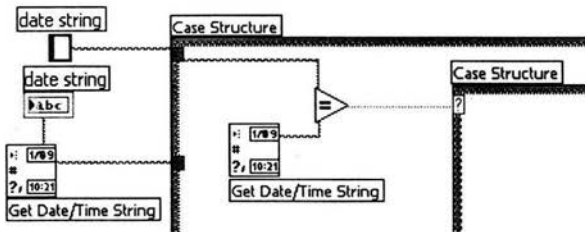
Con ayuda de la herramienta *connect wire* conectamos la función *Get Date/Time String* a la frontera del ciclo, en este momento aparece un túnel, cuadrado rosa, sobre la frontera de la *Case Structure*.

Crear una constante que se declara como entrada a la *Case Structure* (1). Se ubica el cursor sobre el túnel que aparece al momento de unir la función *Get Date/Time String* a la frontera de la *Case Structure* (1) y se realiza un clic derecho, en el mouse, para elegir la opción *Create > Constant* del menú que se despliega.

Para poder establecer la condición que determinara cual de las dos posibilidades de la *Case Structure* (2) se llevara a cabo, se inserta una función *Get Date/Time String* dentro de la *Case Structure* (1) para realizar una comparación con la función *Get Date/Time String* que se encuentra fuera de la *Case Structure*, la cual servirá como referencia.

La función *Equal?* que se empleará para comparar las funciones *Get Date/Time String*, se encuentra en *Functions > Comparison > Equal?*

Empleando la herramienta *Connect Wire* se conectan los iconos de las funciones como se indica en la figura 5-32.



**Figura 5-32** Diagrama de bloques del módulo que permite realizar una comparación de la fecha en que se va generar el archivo.

## Creación del SubVI SviPathDatos.vi

- Abrir un panel frontal nuevo. De la barra de menús de la parte superior de la ventana del VI seleccionamos *File > New VI*.
- Insertar un *File Path Control* y un *File Path Indicador*, en el panel frontal. Ambas funciones las encontramos en *Controls>String & Path> File Path Control* y *Controls>String & Path > File Path Indicador*.

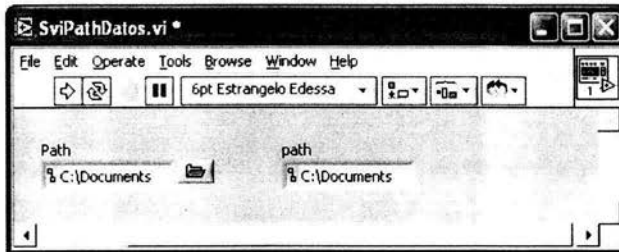


Figura 5-33 Panel frontal del subVI SviPathDatos.vi

- Abrir el diagrama de bloques. Desde el panel frontal se presiona *Ctrl + E* ó desde la barra de menús de la parte superior de la ventana del VI Seleccionamos *Window > Show Diagram*.

En el diagrama de bloque se insertan las funciones *Concatenate String* la cual permite unir varias cadenas dándole el formato de una sola cadena, la función *Get Date/Time String* que se encargara de convertir la fecha en un número y la función *Search and Replace String*.

Dichas funciones se encuentran en: *functions > String > Concatenate Strings*, *Functions > Time and Dialog > Get Date/Time String* y *Functions > String > Search and Replace String* respectivamente.

Ahora que tenemos las funciones en el diagrama de bloques unimos la terminal *date string*, de la función *Get Date/Time String* a la terminal *string* de la función *Search and Replace String*.

Para definir los parámetros restante de la función *Search and Replace String*. Repetimos el proceso de crear una constante (un clic derecho sobre la terminal y del menú que se despliega elegir la opción *create > constant*) en las terminales *search*, *search string* y *replace all?* [F] para establecer las siguientes constante (/), (-) y (T) respectivamente.



d) Al colocar la función Concatenate en el diagrama de bloques solo tiene dos entradas, pero seleccionamos la herramienta position/Size/Select, posicionamos el cursor sobre el limite inferior de la función y mantenemos presionado el botón derecho del mouse mientras arrastramos hacia abajo hasta obtener 3 entradas.

La terminal result string de la función Search and Replace String se une con un cable a la entrada inferior de la función concatenate string en la siguiente entrada, de abajo para arriba, creamos una constante "/" y en la entrada superior se conecta el File Path Control el cual se colocado desde el inicio. Este ultimo indicador tiene el formato path por lo que es preciso cambiarlo al formato de una String lo cual se logra con la función Path To String que se encuentra en Functions > String > String/Array/Path Conversion > Path To String.

e) La secuencia final de la terminal superior será un path indicador conectado a un Path To String y este por ultimo se conectara a la terminal de la función Concatenate String.

Al término de las actividades enlistadas el SubVI en los renglones anteriores, el diagrama de bloques del subVI deberá tener la siguiente apariencia

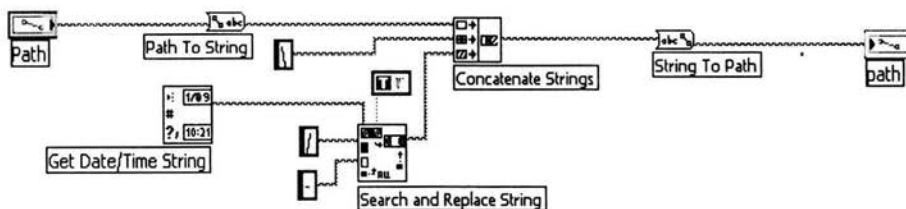


Figura 5-34 Diagrama de bloques de SubVI SviPathDatos.vi

f) Para finalizar el trabajo correspondiente a este subVI editamos su icono conector ubicado en la parte superior derecha de la pantalla del panel frontal ó del diagrama de bloques.



Figura5-35 Icono conector y diagrama de terminales para el subVI SviPathDatos.vi

21. Para finalizar el programa se abre una While Loop, que encierre a todo el programa, este se ubica en Functions > Structures> While Loop. Dicha estructura, sirve para hacer que una secuencia de instrucciones se repita una cantidad de veces, siempre y cuando una afirmación sea verdadera. Por lo que nos permitirá detener la ejecución del programa. Ya se menciona que los ciclos While Loop se repiten siempre y cuando una afirmación sea verdadera, por lo tanto, para detener la ejecución del programa la condición que se deberá cumplir es el resultado de realizar una comparación entre el valor del botón de Stop, el cual solo puede tomar dos valores Falso o verdadero, y una constante que se creará con un valor de verdadero. Las dos posibles operaciones que se podrán realizar son las siguientes.

$$F \text{ And } T = F$$

$$T \text{ And } T = T$$

22. Armar el diagrama que permitirá detener el programa. En la terminal condicional del ciclo while look, se inserta la siguiente condición. empleando como herramientas los operadores lógicos Not y And.

Como primer paso colocamos las funciones And y Not que se encuentran en Functions > Boolean > And y Functions > Boolean > Not respectivamente.

Se sitúa el cursor sobre la función Not y se hace un clic derecho, en el mouse, para ver un menú que se despliega del cual elegimos Create > Constant, este proceso se repite para la función And.

Una vez que se han elegido las funciones y constantes seleccionamos la herramienta Connect Wire con la cual unimos el icono del botón de Stop, que se coloco en el panel frontal en la primera etapa del programa, las funciones y las constantes como se ilustra en la figura.

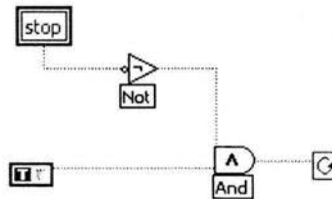


Figura 5-36 Diagrama del bloque que permitirá para la ejecución del programa.

La condición que permitirá elegir cual de los dos casos de la Case structure (1) se llevara a cabo será la función `multiple time delay match.vit`. La cual se encuentra desde `C:\Archivos de Programa \ National Instruments \ LabVIEW 6.1 \ vi.lib \ daq \ sol \ subs.llb \ multiple time delay match.vit`



**Figura 5-37** Diagrama de terminales de la función `multiple time delay match.vit`

Para configurar la función que se acaba de elegir al hacer un clic derecho, en el mouse, del menú que se despliega se elige la opción `Visible Ítems > Terminals`. En la terminal `time delay (s)` se hace un clic derecho, en el mouse, y se elige `Create > Constant`. Con la herramienta `Edit Text` se le asigna el valor de 1

La terminal `iteration` de la función `time delay match` se une a el contador del ciclo `While Loop`. Para finalizar el programa se une la salida de la función `time delay match` a la terminal condicionadota del la `Case Structure (1)`.

Por ultimo se sacan de la estructura `While Loop` los controladores que permiten seleccionar los canales, el device que se estarán sensando asi como el `Tab control`

En este momento podemos dar por terminado el programa que ya cumple con los objetivos planteados al inicio del proyecto, el diagrama de bloques final tiene la siguiente apariencia.

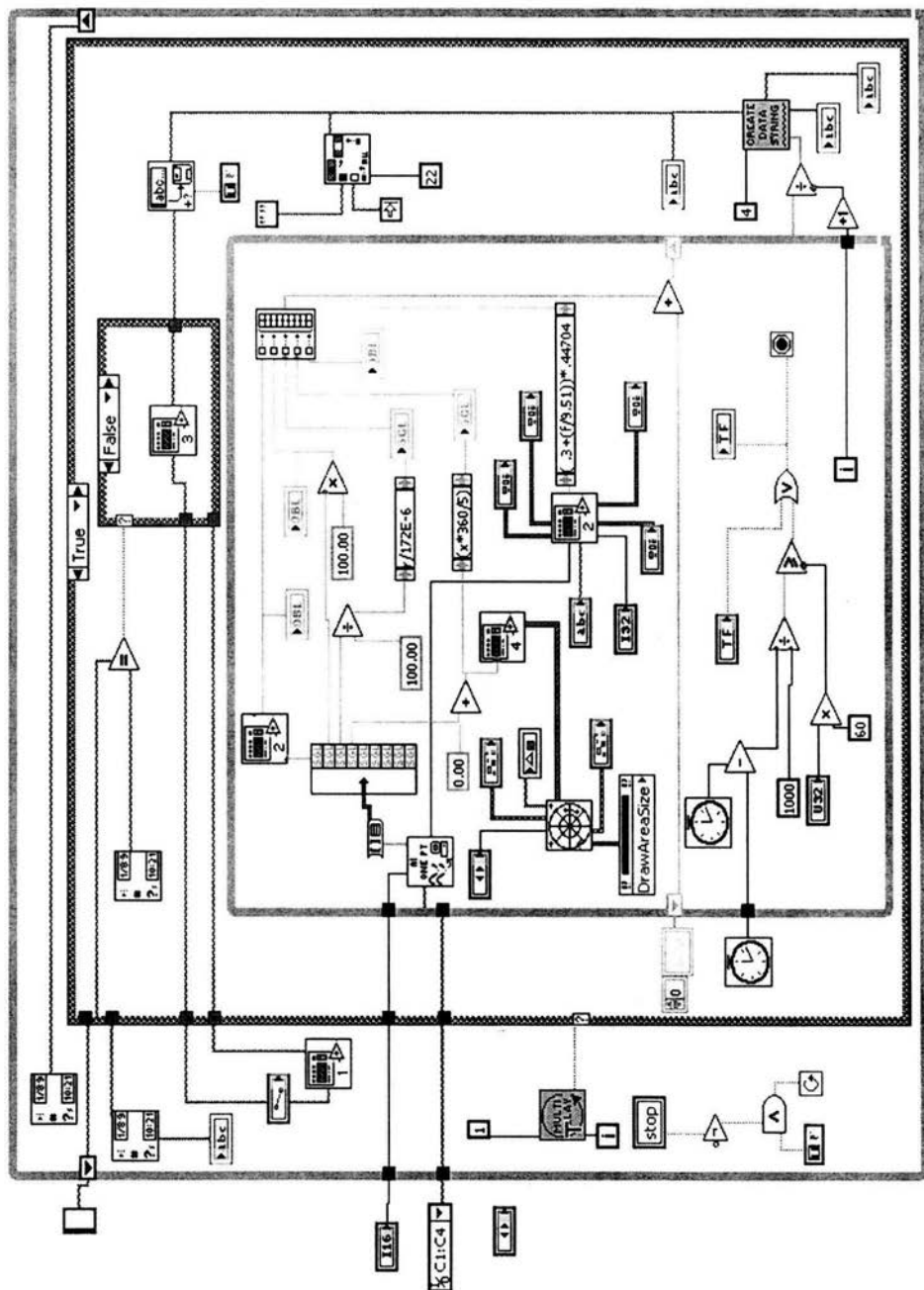


Figura 5-39 Vista final del diagrama de bloques para el sistema de adquisición de datos.

# 6

## Resultados y Conclusiones

### 6.1 Resultados

En este trabajo se ha presentado el diseño de un sistema de adquisición de datos para una estación meteorológica utilizando herramientas de LabVIEW. El sistema de adquisición de datos que se diseñó puede realizar las tres funciones básicas de un instrumento convencional:

- Adquisición
- Análisis
- Presentación de resultados.

Con la ventaja de generar una base de datos con las mediciones realizadas de las variables climatológicas: Temperatura, Humedad relativa, Radiación Solar, Dirección y Velocidad de Viento.

La interfase gráfica desarrollada permite mostrar el monitoreo de las variables a través de gráficas y desplegados numéricos que presentan el valor instantáneo cada variable monitoreada. Dicha interfase está integrada por un arreglo de cuatro carpetas donde se puede observar la evolución de las variables, así como un indicador que muestra la fecha, hora, en que realizó la última captura de datos, y el último promedio de las variables en la secuencia es la que están las carpetas de gráficas.

La interfase gráfica desarrollada contiene controladores que permiten seleccionar la tarjeta DAQ, en caso de que existan varias conectadas, el tiempo de muestreo que se desea promediar y la ruta para el almacenamiento de los datos.

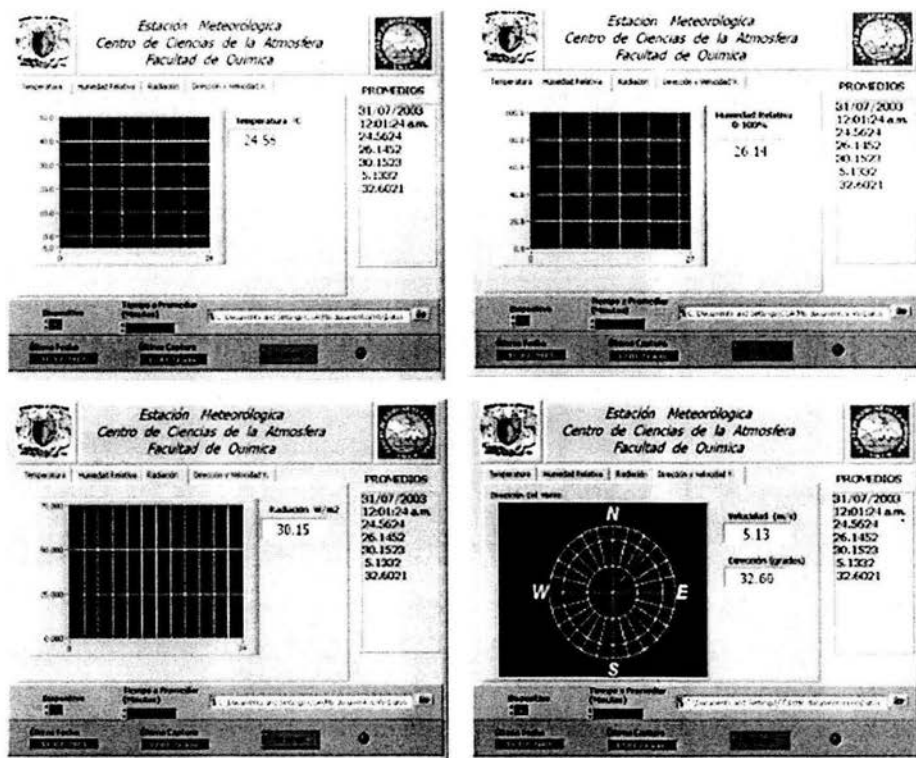


Figura 6-1 Panel frontal final del sistema de adquisición de datos.

La base de datos que se genera tiene un formato de texto, lo cual facilitara el manejo de los datos en el momento que se desee analizarlos o manipularlos, característica que nos permite trabajar con ellos en una hoja de cálculo como puede ser Excel. A continuación se presenta una muestra de la base de datos generada.

FECHA	HR. CAPTURA	TEMPERATURA	HUMEDAD	RADIACION	DIRECCION	VELOCIDAD
13/08/2003	03:00:00 p.m.	19.2657	37.7871	49.2592	112.3341	3.0623
13/08/2003	03:01:00 p.m.	19.2693	37.2499	40.9895	88.3710	7.7550
13/08/2003	03:02:00 p.m.	19.1327	37.6450	43.3465	124.9736	8.5257
13/08/2003	03:03:00 p.m.	19.1391	39.7213	60.6571	296.1035	2.8014
13/08/2003	03:04:00 p.m.	19.1407	39.2030	29.9468	302.4900	3.2706
13/08/2003	03:05:00 p.m.	19.1251	38.0754	50.2720	90.4516	6.6617
13/08/2003	03:06:00 p.m.	19.1247	37.4282	74.5386	239.1890	4.7716
13/08/2003	03:07:00 p.m.	19.1016	38.9562	58.7769	175.7328	2.8954
13/08/2003	03:08:00 p.m.	19.0081	37.3109	61.7149	111.5324	3.4619
13/08/2003	03:09:00 p.m.	19.1041	38.4827	55.0298	79.4910	3.6572

**Figura 6-2** Ejemplo del formato de la base de datos que se genera.

Con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del sistema de adquisición de datos (SAD) se efectuó una comparación de los datos registrados por una estación meteorológica (EM) comercial modelo Vantage Pro Plus de la compañía Davis®, la cual proporciona un registro numérico de las variables humedad relativa, temperatura, radiación solar, velocidad y dirección de viento entre otras.

Cabe recordar que el SAD nos permite controlar el tiempo de muestreo a promediar para las variables meteorológicas. Dicho promedio es el dato que se registra en la base de datos que se estará generando. Es importante mencionar que el espaciamiento entre mediciones no es el mismo ya que el SAD estará reportando un promedio cada minuto, mientras que la EM solo presenta un valor puntual cada media hora.

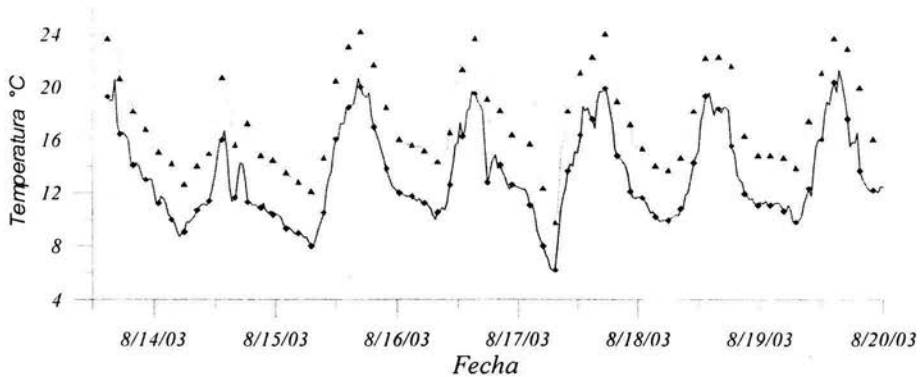
El periodo de muestreo fue del 13 al 25 de agosto del 2003. Se instalaron las dos estaciones meteorológicas en la azotea del edificio II de Centro de Ciencias de la Atmósfera, procurando que ambas estaciones tuvieran una localización muy próxima, los sensores se encontraban a la misma altura y con la misma orientación, para así poder eliminar la posible desviación en los resultados debido a la ubicación de las estaciones.

Durante la campaña de monitoreo se recabaron los datos de ambas estaciones para posteriormente evaluar el desempeño del SAD y determinar si requiere alguna modificación en la configuración del programa.

## 6.2 Análisis de Resultados

### 6.2.1 Temperatura

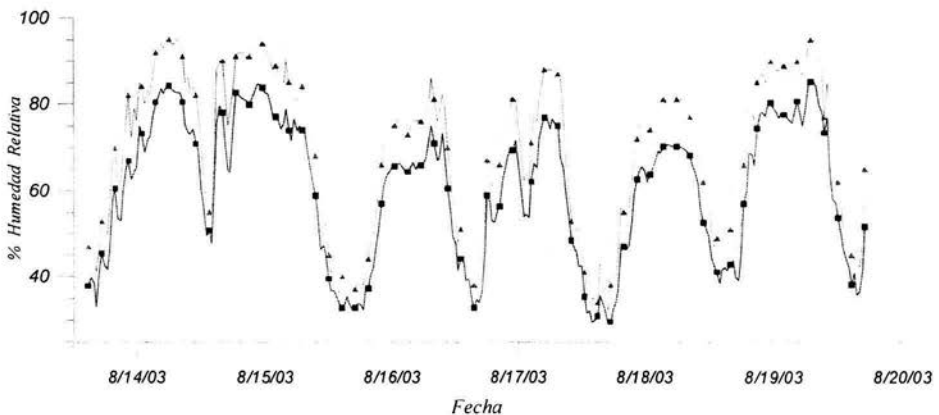
Durante el periodo de muestreo se pudo observar una correlación satisfactoria en la respuesta de ambos sensores pero con una diferencia constante de aproximadamente 3.8 °C.



Grafica 6-0 Perfil de temperatura del SAD (■) y la EM (▲) durante el periodo del 13 al 20 de agosto.

### 6.2.2 Humedad Relativa

Durante la campaña de monitoreo se observó que en los datos de humedad existía una diferencia que no presentaba un comportamiento constante ya que variaba en un rango de 3 a 10 unidades porcentuales, sin embargo en la grafica 6-1. se puede observar que ambos sensores siguieron el mismo comportamiento.



Grafica 6-1 Perfil de humedad relativa del SAD (■) y la EM (▲) del periodo del 13 al 20 de agosto.



### 6.2.3 Radiación Solar

Al iniciar la campaña de muestreo se tenía la duda del correcto funcionamiento del radiómetro (sensor de radiación), ya que en la etapa de programación del VI. No se obtuvieron lecturas que resultaran coherentes. Se realizaron pruebas alimentando un voltaje conocido y calculando el valor de radiación que se esperaba para dicho voltaje, se obtuvo una eficiencia de 0.98, por lo que se comprobó que el problema no era el VI sino el sensor. Por esta razón no se consideró el registro de la radiación solar durante la campaña.

### 6.2.4 Dirección de viento.

Al comparar los datos obtenidos durante la campaña se obtuvieron las rosas de vientos que se muestran en la figura 6.3. Se pudo concluir que la EM que sirvió como referencia tiene una sensibilidad considerablemente menor a los cambios en la dirección del viento que los sensores empleados con el SAD. Esto se pudo confirmar al observar las especificaciones para la EM y el sensor empleado en el SAD.

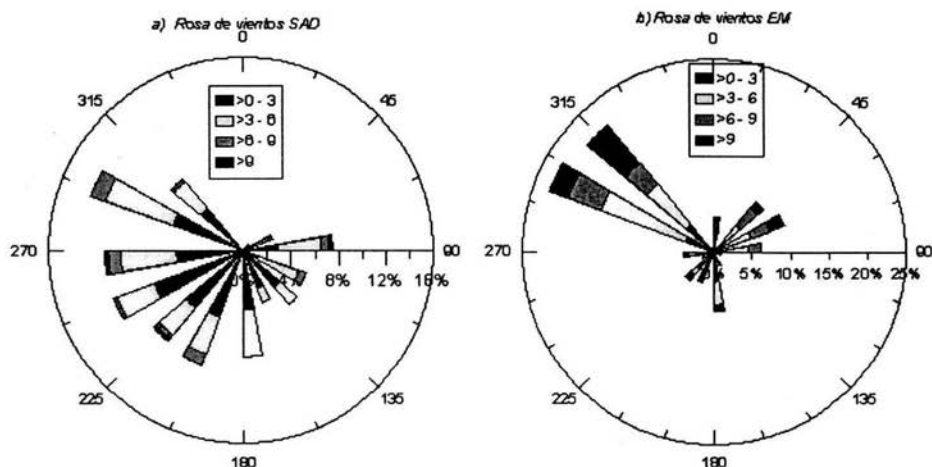
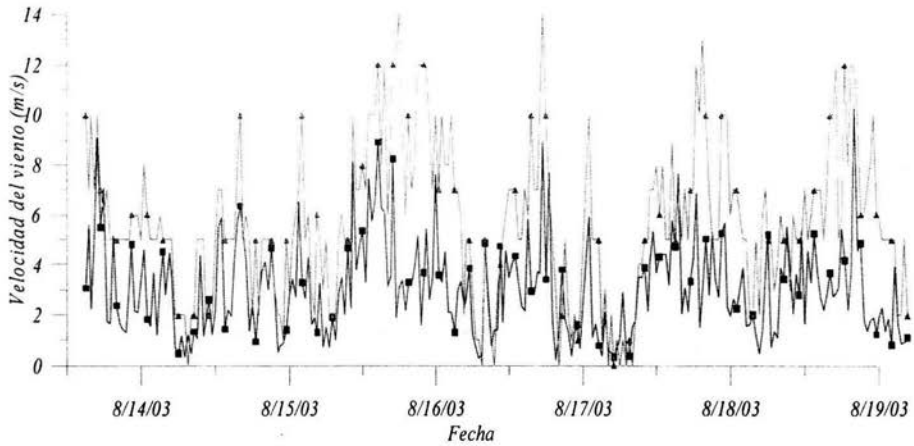


Figura 6-3 Comparación de las rosas de vientos a) SAD y b)EM.

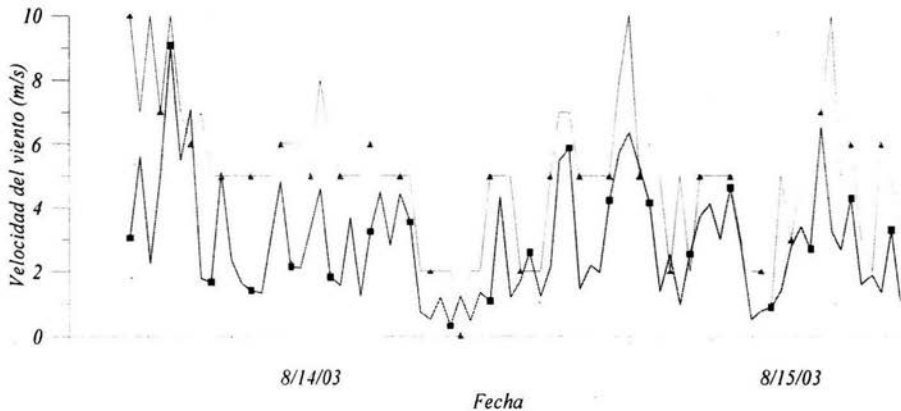
### 6.2.5 Velocidad de viento

Aunque los datos recopilados durante la campaña indican que las lecturas entre la EM de referencia y los sensores empleados en el SAD difieren de forma considerable, podemos decir que al igual que en la dirección del viento, los sensores tienen una mayor sensibilidad que la estación meteorológica.



**Grafica 6-4** Perfil de velocidad de viento de la primera etapa del SAD (■) y la EM (▲).

A simple vista se apreciaba que los sensores empleados en el SAD son mucho más sensibles a los cambios en la velocidad del aire. Este hecho se demuestra al observar que durante algunos periodos la EM reporta un viento con una velocidad constante mientras que los sensores indican que existieron variaciones en el ángulo de la dirección del viento.



**Grafica 6-3** Perfil de velocidad de viento donde se aprecia una mayor sensibilidad de los sensores del SAD (■) que los de la EM (▲)

Al concluir la etapa de muestreo las conclusiones que se obtuvieron son las siguientes.

- i. El sensor de temperatura: al existir una diferencia entre los valores reportados por el SAD y la EM se trazo la grafica de correlación y se obtuvo un índice de correlación de 0.97 por lo que se concluye que la concordancia es satisfactoria para esta variable meteorológica.

Respecto a la diferencia que existe entre los valores obtenidos por el SAD y la EM se concluye que los datos que se obtuvieron con el SAD son mejores ya que el sensor de temperatura, empleado en el SAD tiene una exactitud muy buena, lo cual se comprobó en pruebas de laboratorio donde se obtuvo una correlación del 98% al comparar el sensor con un termómetro. El sensor de temperatura es nuevo y el fabricante extiende un certificado de que los datos que se obtengan con el sensor son óptimos.

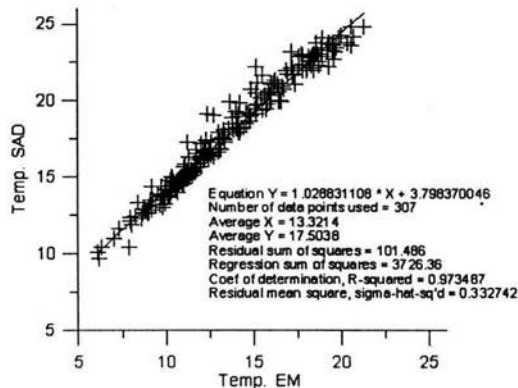


Figura 6-4 Grafica de correlación para los valores de temperatura del SAD y la EM.

- ii. El sensor de humedad: Al ver que la diferencia que existe entre los datos no es constante, se hicieron pruebas en laboratorio donde se realizó una etapa de calibración para el sensor de humedad relativa. Se pudo concluir que el sensor tiene una sensibilidad mayor a la de la estación por lo que lo ideal seria poder contar con otra referencia para así asegurar que los sensores son los que registran la humedad con mayor exactitud.

Es importante mencionar que al igual que el resto de los sensores el sensor de humedad es nuevo por lo que también se cuenta con un certificado que permite garantizar resultados óptimos de las mediciones realizadas con dicho sensor.

- iii. Los sensores de velocidad y dirección de viento tienen una mejor sensibilidad que la EM por lo que podemos considerar que no requieren ninguna modificación en su configuración.

Al concluir el periodo de muestreo podemos afirmar que el SAD no requiere ninguna modificación en su configuración ya que se pudo evaluar su correcto funcionamiento durante el periodo de muestreo. La interfase grafica cumplió con el objetivo planteado al inicio, que es el permitir al usuario observar la evolución de cada variable en tiempo real, mientras que la base de datos efectivamente almacena los promedios de las variables sensadas, cada minuto, así como la fecha y hora en que se realizo el registro.

### 6.3 Conclusiones

- a) El SAD que se construyó cumple con los objetivos planteados al inicio del proyecto. Entre las ventajas que ofrece es la capacidad de mostrar en tiempo real la evolución de las variables monitoreadas, la flexibilidad con la que cuenta para la manipulación de los datos, que proporciona una base de datos con las características y forma que exija el usuario y que permite seleccionar el periodo y la frecuencia de muestreo de los datos a adquirir. Mientras que la mayoría de las EM comerciales adquieren un solo valor instantáneo cuando se realiza el registro, este SAD puede promediar cientos de valores por segundo para así reportar un valor más confiable.
- b) El SAD que se desarrolló no presentó ningún error durante la etapa de muestreo, al ejecutar el programa ni cuando estuvo operando de manera continúa.
- c) El SAD permite personalizar el instrumento y agregar mucha más funcionalidad sin incurrir en costos adicionales.
- d) El software desarrollado es completamente modular y portable, dando la posibilidad de participar en campañas de medición. Además, es posible extender su capacidad de monitoreo incorporando nuevas variables físicas en un futuro. Esto podría ser registrando sensores de otros tipos (termopares, presión, etc.) y las salidas para registrar las señales de otros equipos (analizadores de gases, de partículas, etc).

Como conclusión de la instrumentación virtual podemos decir que permite que se obtengan los siguientes beneficios:

1. El usuario es el que define el funcionamiento del instrumento en función de sus necesidades.
2. El funcionamiento del sistema implica un período de aprendizaje mucho mayor, puesto que hay que realizar una aplicación informática a partir del lenguaje de programación LabVIEW de National Instruments, aunque tiene la ventaja de tratarse de una programación gráfica, mucho más intuitiva que un lenguaje de programación literal.
3. Con respecto a la economía, el software minimiza los costos de desarrollo y mantenimiento y mantenimiento.
4. Posibilidad adquisición simultánea de muchos canales de medida y presentación gráfica excelente.

Cabe señalar que a pesar de las pruebas se efectuaron utilizando una computadora de escritorio estas mismas se pueden realizar utilizando una computadora portátil con su respectiva tarjeta de adquisición de datos sin tener que realizar cambios en el software y hardware del sistema de adquisición de datos desarrollado.

## 7

Bibliografía

1. *Informe Anual de la Calidad del Aire en el Valle de México – 1997 Evaluación del Desempeño Ambiental en Aire*
2. *Informe anual de la calidad del aire y precipitación ácida en el valle de México 2000.*
3. Serra Castelán Sergio, Arroyo García José, *Aspectos meteorológicos de la contaminación en las ciudades, Gaceta Medica de México 100, No. 3, pag. 257-262.*
4. George M, Hidy, *Los vientos. Los orígenes y el comportamiento del movimiento atmosférico, Ed. Reverte mexicana, México, 1972*
5. William I. Donn, *Meteorología, ED. Reverte, España, 1978*
6. Ernesto Jáuregui Sotos, *El clima de la Ciudad de México, Ed. Plaza y Valdes, México 2000*
7. D. H. McIntoch, A. S. Thom, *Meteorología Básica, Ed. Alambra, España, 1983*
8. *Desarrollo y medio ambiente, boletín No. 2, abril de 1986 (Contaminación atmosférica, mejoramiento ambiental y control de la contaminación) UAM*
9. *Organización mundial de la salud, Contaminación de la atmósfera, Ginebra 1962*

10. Avediz Aznavourian, A., "Normas de calidad del aire en México", *Memorias de la I Reunión Regional sobre Legislación Ambiental, Monterrey, Nuevo León, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México, 1984*, pp. 101-120.
11. Barradas, V. y R. J-Seres, "Los pulmones urbanos", *Ciencia y Desarrollo* 79, 61-72 (1987).
12. Barfoot, K. M., C. Vargas-Aburto, J. D. MacArthur, A. Jaidar, F. García-Santibáñez y V. Fuentes-Gea, "Multi-elemental measurements of air particulate pollution at a site in México City", *Atmospheric Environment* 18, 467-451(1984).
13. Bravo, H., "La atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", *Desarrollo y Medio Ambiente. Fund. Méx. Rest. Ambiental* 2, 2-3 (1986).
14. Bravo, H, *La contaminación del aire en México, Fundación Universo Veintiuno, México; DF., 1987, 296 pp.*
15. Fuentes-Gea, V. y A. A. C. Hernández, "Evaluación preliminar de la contaminación del aire por partículas en el Área Metropolitana del Valle de México", *Memorias del IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México, 1984*, pp. 523-526.
16. Galindo, G. y J. Morales, "El relieve y los asentamientos humanos en la Ciudad de México", *Ciencia y Desarrollo* 76, 67-80 (1987):
17. Halffter, G. y E. Ezcurra., "Diseño de una política ecológica para el valle de México", *Ciencia y Desarrollo* 53 89-96 (1983).
18. Ibarra, V., F Saavedra, S. Puente, y M. Scheingart, "La ciudad y el medio ambiente: El caso de la zona metropolitana de la ciudad de México"; en V., Ibarra, S. Puente y F. Saavedra (comps.), *La ciudad y el medio ambiente: en América Latina: seis estudios de caso, El Colegio de México, México, 1986*, pp. 97-150.
19. Legorreta, J., "El transporte público automotor en la Ciudad de México y sus efectos en la contaminación atmosférica", en S. Puente y J. Legorreta (coordinadores), *Medio Ambiente y Calidad de Vida, Memorias del Seminario "La Dinámica de la Ciudad de México en la perspectiva de la investigación actual"*, Vol. 3, pp. 263-300. Departamento del Distrito Federal, Colección Desarrollo Urbano, México, 1988.
20. Páramo, V. H., M. A. Guerrero, M. A. Morales, R. E. Morales y D. Baz Contreras, "Acidez de las precipitaciones en el Distrito Federal", *Ciencia y Desarrollo* 72, 59-66 (1987).
21. Peralta, J. A., "Ciudad y transporte urbano", *La Jornada Semanal*, 7 de mayo de 1989, pág. 11.

22. Sandbrook, R., "Crisis urbana en el Tercer Mundo", V. Ibarra, S. Puente y F. Saavedra (comps.), *La ciudad y el medio ambiente en América Latina: seis estudios de caso*, El Colegio de México, México, 1986, pp. 19-27.
23. Fuentes-Gea y C. Vargas-Aburto, "Análisis de la contaminación del aire por partículas en Ciudad Universitaria", *Memorias del III Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Vol. II, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México, 1982, pp. 1-13.
24. Velasco Levy, A., "La contaminación atmosférica en la ciudad de México", *Ciencia y Desarrollo* **52**, 59-68 (1983).
25. *Informe Anual de la Calidad del Aire en el Valle de México (1997)*, Evaluación del Desempeño Ambiental en Aire
26. Jerome D. Fast and Shiyuan Zhong (1998), *Meteorology and Ozone in the Mexico City basin*, *Journal of Geophysical Research*, **103**, (18,927-18,946).
27. *Bulletin of the American Meteorological Society* (1998), *The IMADA-AVER Boundary Layer Experiment in the Mexico City Area*, **77-11**, (2497-2508).
28. G.B. Raga, D. Baumgardner, G.Kok, I. Rosas, (1999), *Some aspects of boundary layer evolution in Mexico City*, *Atmospheric Environment*, **33**,(5013-5021).
29. Everett C. Nickerson, Gustavo Sosa, Heidy Hochstein, Paula McCaslin, Winston Luke and Allen Schanot, (1992), *Project Aguila: In Situ Measurements of Mexico City Air Pollution by a Research Aircraft*, **26B-4**, (445-451).
30. G.B. Raga, D. Baumgardner, T Castro, A. Martinez-Arroyo, A. Navarro-Gonzalez(2001), *Mexico City air quality: a qualitative review of gas aerosol measurements(1960-2000)*, *Atmospheric Environment*, **35**, (4041-4058).
31. Luisa T. Molina, Mario J. Molina, *Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment*, Ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands,(2002).
32. National Instrument, "User Manual DAQ PCLPM-16/PnP", 1996.
33. National Instrument, "User Manual LabVIEW 6.1", 1998.
34. "labVIEW User Manual"; National Instruments; 2000.
35. "labVIEW Function Reference Manual"; National Instruments; 2000.
36. "labVIEW Data Acquisition VI Reference Manual; National Instruments; 2000.