

# **Página Climática de la Universidad de Sonora**

**Héctor Antonio Villa Martínez  
Saúl Robles García  
Rafael Enrique Cabanillas López**

## **Presentación<sup>1</sup>**

La *Página Climática de la Universidad de Sonora*, permite que cualquier usuario, desde una computadora conectada a Internet, pueda revisar los valores de las variables climatológicas que está registrando la estación solarimétrica instalada en la parte alta del edificio del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia.

La principal característica de este sistema es que se puede correr desde cualquier computadora que tenga conexión a Internet y un navegador. La dirección es <http://sun.iq.uson.mx/pclima/index.html> y se cuenta con un espejo en la dirección: <http://148.225.83.24/pclima/index.html>.

Este Reporte está organizado de la siguiente forma: en los primeros 3 capítulos se presenta la teoría necesaria para poder utilizar el sistema. El capítulo 4 muestra la manera en que se accesan los datos así como una descripción de los parámetros que se leen.

## **Autores**

Héctor Antonio Villa Martínez es profesor de tiempo completo en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Sonora.

Saúl Robles García es profesor de tiempo completo en el Departamento de Física de la Universidad de Sonora.

Rafael Enrique Cabanillas López es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora.

---

<sup>1</sup> Una versión resumida de este trabajo fue presentada en el X Congreso Internacional de Computación, CIC2001, organizado por el Centro de Investigación en Computación en México, D.F.

# Índice

<b>1 Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2 Estación Solarimétrica de la Universidad de Sonora</b>	<b>5</b>
2.1 Descripción	5
2.2 Conexión de la estación	6
<b>3 Diseño del sitio</b>	<b>7</b>
3.1 Modelo de desarrollo	7
3.2 Arquitectura computacional	8
3.3 Lenguaje de programación	8
3.4 Comunicación entre procesos	8
3.5 Base de datos	9
<b>4 Implementación del sitio</b>	<b>10</b>
<b>5 Conceptos Meteorológicos Importantes</b>	<b>11</b>
5.1 El sol	11
5.2 La constante solar	11
5.3 Radiación solar	12
5.4 Temperatura del aire	15
5.5 Humedad atmosférica	18
5.6 Presión atmosférica	19
5.7 Viento	21
<b>6 Uso del Sistema</b>	<b>25</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>30</b>
<b>Reconocimientos</b>	<b>30</b>
<b>Lecturas adicionales</b>	<b>30</b>

# Capítulo 1 Introducción

El clima y las condiciones atmosféricas en general juegan un rol fundamental en todas las actividades humanas.

Ninguna ciencia puede ofrecer por sí sola toda la orientación práctica que, por ejemplo, necesita un agricultor. Este debe elegir los cultivos que mejor rendimiento darán en sus tierras y ha de saber cómo utilizar y tratar cada terreno para que le proporcione el mayor rendimiento, de acuerdo a las condiciones climáticas predominantes en su zona. El tiempo atmosférico desempeña un papel importante en la obtención de buenos rendimientos agrícolas. La acción del tiempo puede ser útil o nociva y ningún sistema agrícola puede subsistir mucho tiempo si las condiciones naturales son hostiles o si la acción del hombre es ineficaz. Algunas aplicaciones prácticas de porque es importante conocer las variables climáticas son:

- Cuándo se debe regar y cómo hacerlo para que el riego sea eficiente.
- Cuándo se debe proteger del viento y cómo hacerlo.
- Necesidad de protección contra el sol y cómo lograrlo.
- Aplicación de sistemas artificiales que modifiquen el medio ambiente natural, como son invernaderos, túneles, etc.
- En qué condiciones y cuándo cubrir el suelo para alterar el balance calor/humedad.
- Definir cuándo es necesario proteger al ganado de las condiciones atmosféricas y cuáles son los métodos ideales para lograrlo.
- Evaluación de la influencia de las condiciones atmosféricas en el diseño y construcción de estructuras destinadas a almacenar frutas y granos.
- Prevención de los peligros derivados de situaciones meteorológicas, que amenacen la producción, como las heladas, lluvias intensas fuera de temporada, etc.

## Capítulo 2 Estación Solarimétrica de la Universidad de Sonora.

### 2.1 Descripción

La Universidad de Sonora tiene en operación una estación solarimétrica desde el año de 1993.



**Figura 2-1. Estación solarimétrica de la Universidad de Sonora**

La estación solarimétrica consiste de una computadora personal (PC), operando con sistema operativo Windows 98, conectada a un sistema adquirente de datos (datalogger) Campbell Scientific modelo 21X (ver figura 2-2) con sensores para medir la radiación solar total, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la velocidad y dirección del viento.

Las características proporcionadas por el fabricante son:

- Datalogger compacto y auto-contenido
- Teclado, display y fuente de poder integrados

- Utiliza pilas D alcalinas
- Capacidades de programación dependientes de software interno en PROM.
- Almacena 19,296 datos (volátil)
- Formato de datos basado en arreglos



**Figura 2-2. Datalogger 21X**

En la configuración actual, el sistema entrega los promedios de las variables medidas cada 10 minutos y los almacena en su memoria interna.

La PC conectada a la estación solarimétrica tiene instalada un software propietario de Campbell que permite configurar la estación, guardar los datos en archivos para su posterior procesamiento y generar gráficas para analizar el comportamiento de las variables medidas.

## **2.2 Sitio web**

El Grupo de Energía cuenta, además con una estación de trabajo SPARC 10 de Sun Microsystems, que se utiliza como servidor Web. El sistema operativo de la estación de trabajo es Solaris.

El presente trabajo se enmarca en el esfuerzo de mantener un sitio con diferentes servicios para el apoyo en el aprovechamiento de energía solar. Teniendo como antecedente un trabajo previo [2], donde se reporta el desarrollo de un sitio interactivo para el cálculo de dispositivos de control solar. El sitio presenta herramientas para:

- Calcular la posición del sol en el cielo.
- Obtener ángulos de asoleamiento para una ventana dependiendo de su orientación.
- Calcular la radiación solar en el borde de la atmósfera y en la superficie terrestre.
- Dibujar gráficas de trayectorias solares.

Complementándose estas funciones con la puesta en línea de los datos de la estación solarimétrica.

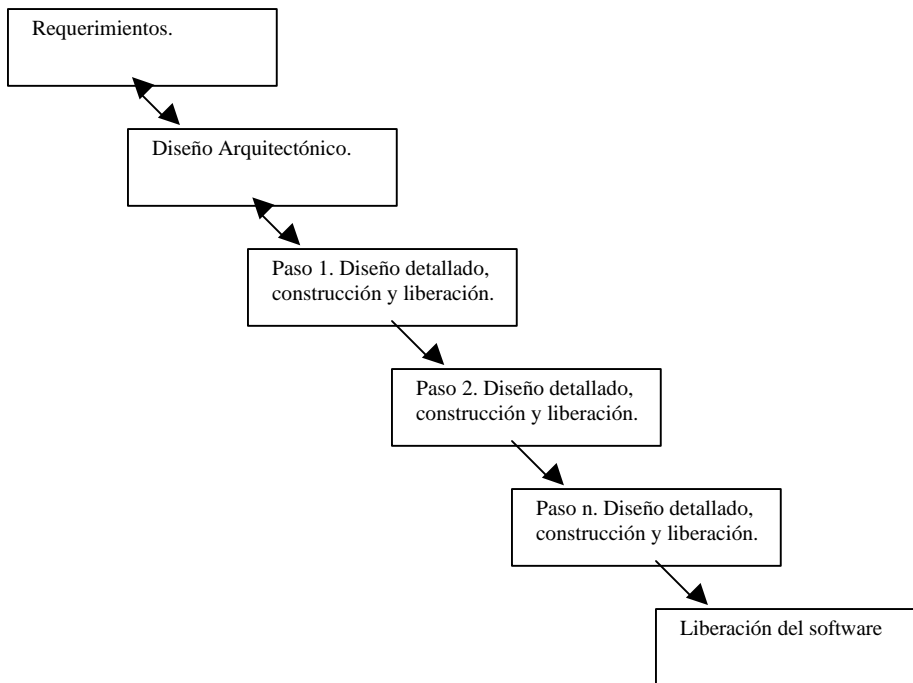
# Capítulo 3 Diseño del sitio

## 3.1 Modelo de desarrollo.

Como estrategia de desarrollo del software se escogió un modelo de *entrega en etapas* [3]. En este modelo, el software se va entregando en una serie de etapas (ver figura 3-1), y no es necesario esperar hasta el final para tener un sistema corriendo y funcionando. Otras ventajas de seguir este modelo son:

- Los errores de programación se detectan temprano en el proyecto y pueden ser corregidos casi al tiempo en que fueron introducidos.
- Se reducen los riesgos de una mala integración del producto.
- Se pueden hacer cambios en los requerimientos durante las primeras etapas de una manera más económica sin tener que esperar a que el software esté terminado.

El modelo de entrega en etapas tiene la desventaja de que genera costos extras debidos a las actividades de liberar el producto varias veces. Pero en general, las ventajas sobrepasan a las desventajas [3].



**Figura 3-1.** Modelo de entrega en etapas.

Para el proyecto del sitio de solarimetría se definieron 3 etapas, con una duración total de 2 años.

- Etapa 1. Diseño y programación del sitio en HTML. Programación en Java de los applets que funcionan como clientes y del servidor de base de datos. En esta fase el sitio tendrá capacidad de mostrar las mediciones actuales y de las últimas 24 horas. Fecha de entrega Diciembre 2001.
- Etapa 2. Programación en Java de los applets que presentarán reportes de datos históricos tales como promedios diarios y mensuales. Fecha de entrega Junio 2002.
- Etapa 3. Programación en Java de los applets que mostrarán reportes gráficos. Fecha de entrega Diciembre 2002

### **3.2 Arquitectura computacional.**

El sitio se desarrolló utilizando una arquitectura conocida como *cliente-servidor* [4]. Esta arquitectura se caracteriza por tener una parte llamada *servidor* que se encarga de administrar un recurso, por ejemplo una base de datos o una impresora, y que además es el único que tiene acceso al recurso. Por otra parte existe un conjunto de *clientes*, que necesitan acceder los servicios que ofrece el recurso. Esto sólo lo pueden lograr a través de enviar *peticiones* al servidor. El servidor recibe las peticiones, las analiza, las procesa y les envía las respuestas a los clientes, que a su vez despliegan la salida al usuario.

Para desarrollar sistemas cliente-servidor, no es requisito que el cliente y el servidor residan en diferentes máquinas. Sin embargo la propagación del Internet presenta oportunidades para que haya recursos que puedan ser accedidos desde lugares remotos que estén conectados en la red.

### **3.3 Lenguaje de programación.**

Para la programación se utilizó el lenguaje Java por ser neutral a la arquitectura, y por lo tanto portable, ideal para programar en Internet y porque cuenta con librerías para manejar bases de datos. Además el ambiente de desarrollo está disponible en forma gratuita en la página de Java de Sun Microsystems (<http://java.sun.com>).

El lenguaje Java maneja el concepto de *applet*. Un applet es un programa que está diseñado para ser invocado por una página HTML, agregándole así funcionalidad. La característica principal de un applet es que, aunque reside en la misma computadora que la página HTML que lo invoca, al ser accesada esta página desde una computadora remota, el applet *viaja* a través de Internet y se ejecuta en la computadora que hizo el acceso. Por esta razón y como seguridad contra programadores malintencionados, un applet no puede acceder ningún recurso de la computadora donde se está ejecutando y tampoco puede comunicarse con ninguna otra computadora que no sea la computadora donde estaba originalmente.

### **3.4 Comunicación entre procesos**

Los *sockets* son mecanismos para proporcionar métodos comunes para comunicación entre procesos y permitir el uso de protocolos de red. En Java forman parte de la librería `java.net`.

Los sockets de Java son similares a los sockets standard de UNIX [5]. Para abrir una conexión del lado del cliente, sólo basta especificar la dirección IP del servidor y un número de puerto. Del lado del servidor, el programa servidor vigila el puerto esperando que un cliente establezca una conexión. Cuando el cliente se conecta, el servidor acepta la conexión y se establece un enlace entre el programa cliente y el servidor.

Cuando los sockets están abiertos se pueden ligar a flujos de entrada y salida. De esta forma el cliente (o el servidor) puede escribir información y el servidor (o el cliente) puede leerla.

### **3.5 Base de datos.**

Java proporciona una interface de programación de aplicaciones o API (Application Programming Interface) para manipular datos y hacer consultas sobre una base de datos. A ésta API se le conoce como JDBC (Java Database Connectivity).

Para utilizar JDBC con un manejador de base de datos en particular, se necesita un *driver* para mediar entre el JDBC y la base de datos. El driver puede estar escrito en Java o en una mezcla de Java con otros lenguajes.

Muchas bases de datos utilizan como interface una API llamada ODBC (Open Database Connectivity). ODBC comenzó como un standard en el mundo de las computadoras personales, pero con el tiempo se ha convertido casi en un standard industrial.

El ambiente de desarrollo JDK incluye el puente JDBC/ODBC para utilizar aquellos manejadores de bases de datos que sólo tienen drivers ODBC.

En este proyecto se utiliza el puente JDBC/ODBC del manejador de base de datos Microsoft Access que forma parte del sistema operativo Windows 98.

## Capítulo 4 Implementación del sitio

En la figura 4-1 se muestra un diagrama a bloques de cómo están conectadas las distintas partes del sistema, el cual tiene los siguientes componentes:

- Un conjunto de páginas HTML que están visibles en el servidor Web del Grupo de Energía. Estas páginas tienen applets incrustados que son los que actúan como clientes y son los responsables de presentar la interface gráfica de usuario y de desplegar los resultados recibidos.
- Un programa gestor que fue necesario programar debido a la restricción de que los applets no pueden comunicarse con terceros. El gestor también reside en el servidor Web, y hace las funciones de intermediario entre los applets y el servidor de base de datos. El gestor recibe las peticiones de los applets y las pasa al servidor de la base de datos. Espera a que éste le conteste con los resultados, y se los regresa a los applets, para que estos los presenten al usuario.
- Un programa servidor de la base de datos, escrito en Java, que está corriendo en la computadora personal conectada directamente a la estación solarimétrica. Este programa se encarga de dos tareas: guardar en la base de datos las mediciones que el software de la estación recolecta, y contestar las distintas peticiones de los applets, que llegan a través del gestor, interrogando a la base de datos.

El software de la estación que corre en otra ventana de la misma computadora donde corre el servidor de la base de datos. Este software es el responsable de recolectar los datos de la estación solarimétrica y dejarlos en un archivo de texto.

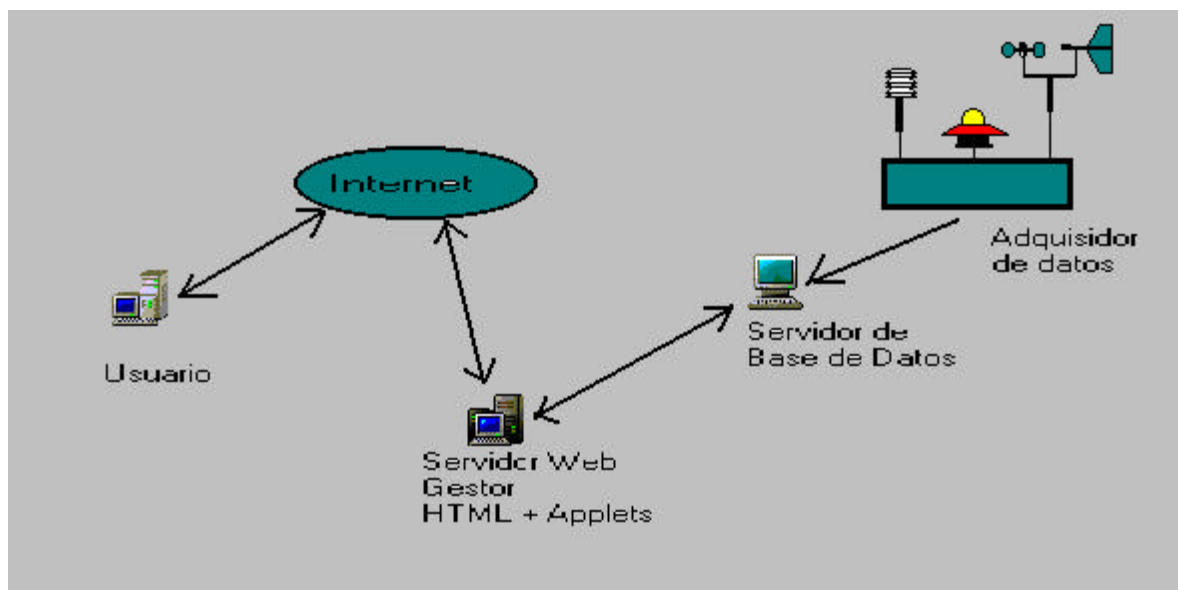


Figura 4-1. Diagrama a bloques del sistema

# Capítulo 5 Conceptos meteorológicos importantes

## 5.1 El sol

El sol es una esfera gaseosa con un diámetro de 1,392,000 kilómetros, una masa de 1.9891 x 10<sup>30</sup> kilogramos, una luminosidad de 3.83 x 10<sup>26</sup> Watts y está, en promedio, a 149.6 millones de kilómetros de la tierra.

El sol está compuesto predominantemente por hidrógeno (70% de su masa) y helio (28%), y rastros de elementos pesados (metales). Genera su energía por procesos de fusión nuclear convirtiendo hidrógeno en helio y perdiendo masa a razón de 4 millones de toneladas por segundo. Toma 4 protones de hidrógeno para formar un núcleo de helio, liberando en el proceso enormes cantidades de energía en forma de radiación.

## 5.2 La constante solar

Se define como la energía del sol, por unidad de tiempo, recibida en un área de superficie unitaria perpendicular a la dirección de propagación de la radiación, a la distancia media del sol y la tierra, afuera de la atmósfera.

Se han propuesto muchos valores para la constante solar, incluso se acepta que tiene pequeñas variaciones (menores al 1.5%) a lo largo del año, pero para efectos prácticos se puede considerar fija. La tabla 5-1 muestra uno de los valores propuestos para la constante solar en varias unidades de medición. La tabla 3-2 muestra los valores de las constantes solares en los distintos planetas del sistema solar.

1366.1	W / m <sup>2</sup> [unidades SI]
0.13661	W /cm <sup>2</sup>
136.61	mW/cm <sup>2</sup>
1.3661 x 10 <sup>6</sup>	erg / cm <sup>2</sup> seg
126.9	W / ft <sup>2</sup>
1.959	cal / cm <sup>2</sup> min (±0.03 cal / cm <sup>2</sup> min)
0.0326	cal / cm <sup>2</sup> seg
433.4	Btu / ft <sup>2</sup> hr
0.1202	Btu / ft <sup>2</sup> seg
1.956	Langleys / min

**Tabla 5-1. Constante solar**

La caloría es la caloría-gramo termoquímica definida como 4.1840 Joules absolutos.

El btu es la unidad térmica británica (British Thermal Unit) termoquímica definido por la relación:

$$1 \text{ btu (termoquímica)} / (^\circ\text{F} \cdot \text{lb}) = 1 \text{ cal} \cdot \text{g (termoquímica)} / (^\circ\text{C} \cdot \text{g}).$$

El Langley, sin embargo, está definido en términos de la antigua unidad térmica, la caloría\*gramo(media), es decir:

$$1 \text{ Langley} = 1 \text{ cal} * \text{g (media)} * \text{cm}^{-2}; 1 \text{ cal} * \text{g (media)} = 4.19002 \text{ J.}$$

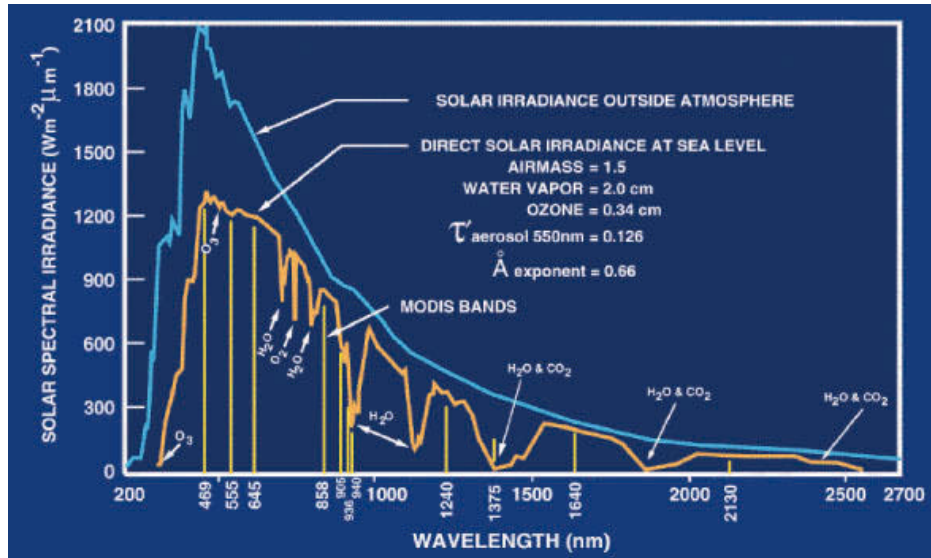
Planeta	Irradiancia solar (W/m <sup>2</sup> )		
	Media	Perihelio	Afelio
Mercurio	9,116.4	14,447.5	6,271.1
Venus	2,611.0	2,646.4	2,575.7
Tierra	1,366.1	1,412.5	1,321.7
Marte	588.6	715.9	491.7
Júpiter	50.5	55.7	45.9
Saturno	15.04	16.76	13.53
Urano	3.72	4.11	3.37
Neptuno	1.510	1.515	1.507
Plutón	0.878	1.571	0.560

**Tabla 5-2. Constantes solares de los distintos planetas**

## 5.3 Radiación solar

### 5.3.1 Definición

Es la energía electromagnética emitida debido a la temperatura del sol. En la superficie del sol hay una temperatura de 5762°K. En su interior se ha calculado entre 8 y 40 millones de grados Kelvin. La distribución espectral de la radiación solar equivalente a la radiación de un cuerpo negro, se muestra en la figura 5-1. La curva azul muestra la distribución de la radiación observada en el tope de la atmósfera y la curva amarilla la radiación que llega al nivel del mar después de haber cruzado 1.5 atmósferas estándar. La diferencia entre ambas curvas se debe a la absorción de las componentes de la atmósfera tales como la humedad, el bióxido de carbono, aerosoles entre otros. Del total de la radiación, aproximadamente el 7% corresponde a radiación ultravioleta, el 47% al visible y el 46% al infrarrojo. La mayor intensidad de energía llega en la región del visible correspondiente al rango de 0.3 a 0.7 micro-metros.



**Figura 5-1. Espectro de radiación solar que llega a la tierra**

### 5.3.2 Mediciones de la radiación solar

Las principales mediciones de la radiación solar son:

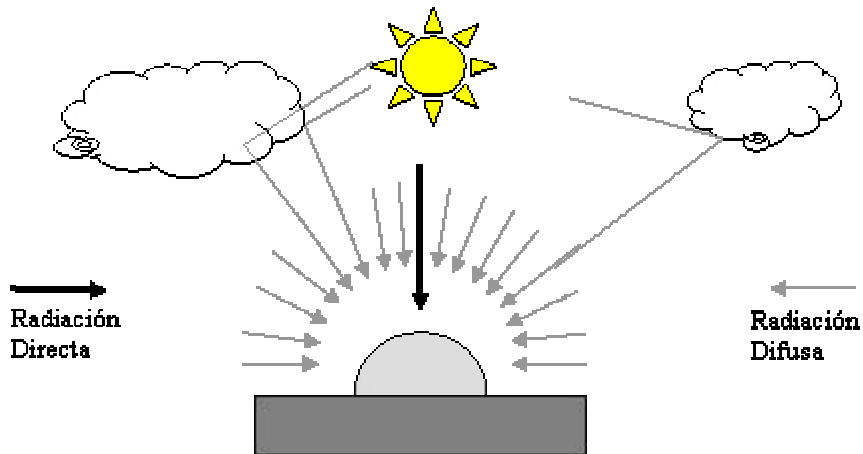
- Radiación directa
- Radiación difusa
- Radiación total
- Irradiancia

La **radiación directa** es la radiación recibida del sol sin que haya sido dispersada por la atmósfera.

La **radiación difusa** es la radiación recibida del sol después de que su dirección ha sido cambiada por la refracción de la atmósfera.

La **radiación total** es la suma de la radiación directa y difusa en una superficie. La medida más común de la radiación total es la radiación total en una superficie horizontal, a esta también se le conoce como radiación global.

La **irradiancia** es el flujo de energía radiante que incide sobre una superficie por unidad de área.



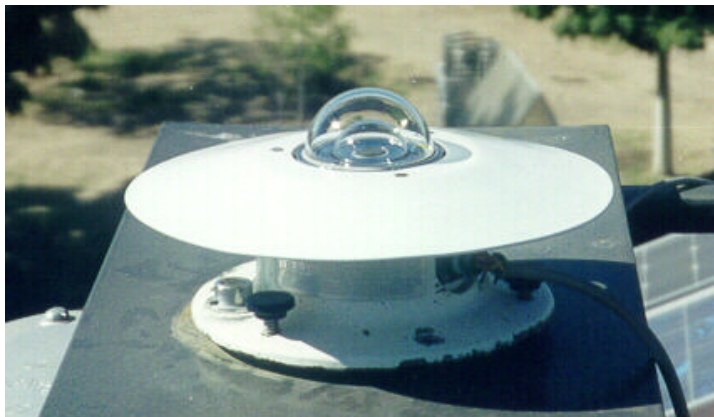
**Figura 5.2 Componentes de la Radiación Solar**

### 5.3.3 Instrumentos de medición

Los instrumentos que miden la radiación solar se denominan genéricamente radiantes de actinómetros y radiómetros. Hay cinco tipos de ellos:

- Pirheliómetro
- Piranómetro
- Pirogeómetro
- Pirradiómetro o radiómetro hemisférico total
- Pirradiómetro o radiómetro neto.

Los piranómetros (ver figura 5-2), miden la radiación hemisférica de onda corta (intensidad combinada de radiación solar directa y la radiación difusa del cielo).



**Figura 5-2. Piranómetro para medir la radiación global horizontal.**

Los piranómetros se suele utilizar en parejas para determinar la radiación total y la radiación difusa, mediante un anillo de sombra, colocado según la latitud y la época, como se muestra en la figura 5-3.



**Figura 5-3. Piranómetro con anillo para medir la radiación difusa**

En el caso de la estación solarimétrica se cuenta con un sensor Eppley modelo PSP que está catalogado como un radiómetro de primera clase por la Organización Meteorológica Mundial para la medición de radiación solar ya sea en todas las longitudes de onda del espectro o en bandas específicas.

## **5.4 Temperatura del aire**

### **5.4.1 Definición**

Formalmente, la temperatura es la propiedad que gobierna la transferencia de energía térmica (calor) entre un sistema y otro. Cuando dos sistemas están a la misma temperatura, se dicen que están en *equilibrio térmico* y no hay flujo de calor. Cuando existe una diferencia de temperaturas, el calor tenderá a moverse del sistema con mayor temperatura hacia el de menor temperatura, hasta que se alcance el equilibrio térmico.

En la estaciones meteorológicas, la temperatura del aire es una de las variables que se miden cotidianamente.

### **5.4.2 Mediciones de la temperatura**

Las principales mediciones de la temperatura del aire son:

- Temperatura del punto de rocío
- Temperatura de bulbo seco
- Temperatura de bulbo húmedo

La **temperatura del punto de rocío** es la temperatura del aire en que ocurriría la saturación. El punto de rocío asume que no cambia ni la presión ni la humedad del aire.

La **temperatura de bulbo seco** es la temperatura real del aire.

La **temperatura de bulbo húmedo** es la temperatura más baja que se puede obtener evaporando agua en el aire a presión constante. El nombre viene de la técnica de poner una ropa húmeda sobre el bulbo de un termómetro de mercurio y soplar aire sobre la ropa hasta que el agua se evapore. Como la evaporación extrae calor, el termómetro tendrá una temperatura más baja que un termómetro con el bulbo seco a la misma hora y lugar. La temperatura de bulbo húmedo se puede usar junto con la temperatura de bulbo seco para calcular el punto de rocío o la humedad relativa.

### 5.4.3 Escalas de medición

La unidad internacional de temperatura es el grado **Kelvin** cuya abreviatura es °K. El Kelvin es la 273.16ava parte de la temperatura termodinámica del punto triple de agua pura. El punto triple del agua (273.16°K) describe el estado en el cual se presentan simultáneamente los tres estados físicos del agua: gaseoso, líquido y sólido. El punto triple es 0.01°K más alto que el punto de fusión del agua a una presión absoluta de 1013.25 mbar, y en la práctica se considera casi idéntico a este. El punto cero de la temperatura termodinámica (0°K) es teóricamente la temperatura más baja que se puede medir.

En los países europeos y sudamericanos se ha adoptado junto a la escala Kelvin la escala **Celsius**. Su unidad es el grado Celsius cuya abreviatura es °C. Esta escala fue desarrollada por el astrónomo sueco Anders Celsius en el siglo XVIII y difiere de la Kelvin en 273.15°K. Celsius tomó como 0° el punto de fusión del agua pura y como 100° el punto de ebullición, dividiendo el intervalo en 100 partes iguales.

En Estados Unidos las temperaturas se miden en grados **Fahrenheit**. Su unidad es el grado Fahrenheit cuya abreviatura es °F. Esta escala fue desarrollada por el físico alemán Gabriel Fahrenheit en 1714. Fahrenheit tomó como 0° la temperatura más fría que pudo conseguir en su laboratorio, mediante una mezcla de hielo y sal a partes iguales, y como 100° la temperatura del cuerpo humano. Cuenta la leyenda que seguramente tenía calentura puesto que 100°F son 37.8°C. En realidad la temperatura normal del cuerpo humano es de 98.4°F. En este sistema el agua se congela a 32°F y hierve a 212°F.

Las formulas para convertir entre grados Fahrenheit y Celsius son:

$$\begin{aligned}\text{°F} &= \text{°C} * (9 / 5) + 32. \\ \text{°C} &= (\text{°F} - 32) * (5 / 9)\end{aligned}$$

### 5.4.4 Instrumentos de medición

En las estaciones meteorológicas, por lo general, los medidores de temperatura y humedad relativa vienen en un solo dispositivo. Los sensores deben colocarse en espacios abiertos protegidos del sol y precipitaciones, sin obstrucciones al flujo de aire (ver figura 5-4) y donde las condiciones del lugar sean típicas para que las mediciones sean representativas.



**Figura 5-4. Sensor de temperatura y humedad instalado**

En el caso de la estación solarimétrica, el sensor de temperatura ambiente (modelo HMP45C) cuenta con un sensor de humedad relativa del tipo capacitivo y con una cubierta contra radiación solar (modelo UT12VA).

#### **5.4.5. Temperaturas aparentes**

##### **Índice de congelamiento**

El **índice de congelamiento** es el intento de medir el efecto de la temperatura y el viento en humanos y animales.

En el verano de 2001 el Servicio Nacional del Clima de los Estados Unidos (U.S. National Weather Service) reemplazó las fórmulas para calcular el índice de congelamiento existentes desde 1940. Las nuevas fórmulas, una para temperaturas Fahrenheit y otra para Celsius, están basadas en el conocimiento científico y en experimentos desarrollados en los últimos años.

La nueva fórmula para grados Fahrenheit es:

$$\text{Índice} = 35.74 + 0.6215T - 35.75V^{0.16} + 0.4275TV^{0.16}$$

Donde  $V$  es la velocidad del viento en millas por hora y  $T$  es la temperatura en grados Fahrenheit.

La fórmula se aplica para temperaturas menores a 50°F (10°C) y para velocidades del viento mayores a 3 MPH (4.8 KPH, 1.3 m/s)

Como referencia la fórmula antigua era:

$$\text{Índice} = 0.0817(3.71V^{0.5} + 5.81 - 0.25V)(T - 91.4) + 91.4$$

Esta fórmula se aplicaba para temperaturas menores a 50°F (10°C) y para velocidades del viento mayores a 4 MPH (6.4 KPH, 1.8 m/s).

## Índice de calor

El **índice de calor** y el **índice de verano simmer** se usan para medir la cantidad de incomodidad durante los meses de verano cuando el calor y la humedad a veces se combinan para hacer sentir el aire más caliente de lo que está. Por lo general el índice de calor se usa para las temperaturas de la tarde y el índice de verano simmer para las temperaturas nocturnas.

La siguiente fórmula calcula el índice de calor para temperaturas mayores a 70°F (21.1°C).

$$\begin{aligned} \text{Índice de calor} = & -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127H - 0.22475541TH - \\ & 6.83783 \cdot 10^{-3}T^2 - 5.481717 \cdot 10^{-2}H^2 + 1.22874 \cdot 10^{-3}T^2H + 8.5282 \cdot 10^{-4}TH^2 - \\ & 1.99 \cdot 10^{-6}T^2H^2 \end{aligned}$$

Donde  $T$  es la temperatura en grados Fahrenheit y  $H$  es la humedad relativa expresada como número entero, es decir 65% es 65.

El índice de verano simmer se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice simmer} = 1.98(T - (0.55 - 0.0055H)(T - 58)) - 56.83$$

## 5.5 Humedad Atmosférica

### 5.5.1 Definición

Se entiende por humedad el contenido de agua de una sustancia o materia. En el caso de la humedad atmosférica, el agua está mezclada con el aire de manera homogénea en el estado gaseoso. Como toda sustancia, el aire tiene una posibilidad limitada de absorción. Este límite se denomina saturación. Por debajo del punto de saturación, el aire húmedo no se distingue a simple vista del aire seco, siendo este absolutamente incoloro y transparente. Sobre el límite de saturación, la cantidad de agua en exceso se precipita ya sea en forma de neblina o bien como pequeñas gotas de lluvia.

La cantidad de agua absorbida en caso de saturación depende de la temperatura del aire y asciende progresivamente con ella. A los 0°C es de 4.9 g/m<sup>3</sup>, a los 20°C alcanza ya los 17.3 g/m<sup>3</sup>.

### 5.5.2 Mediciones de la humedad

Las mediciones más importantes de la humedad del aire son:

- Humedad absoluta
- Humedad relativa

- Humedad específica

La **humedad absoluta** es la relación existente entre el peso del agua contenido en el aire y el volumen de este aire húmedo ( $\text{gr/m}^3$ ). El grado de humedad es la relación entre el peso del agua disuelta en el aire y el peso del aire seco. Su unidad es el gramo por kilogramo ( $\text{g/Kg}$ ).

La **humedad relativa** es la relación entre la cantidad de vapor de agua que hay en el aire y la cantidad de vapor que podría contener si el aire estuviera saturado a esa misma temperatura. Se expresa como porcentaje (%).

La **humedad específica** es la masa de vapor de agua en gramos por kilogramo de aire húmedo ( $\text{Kg}$ ), por ello sus unidades se expresan en  $\text{g/kg}$ .

### 5.5.3 Instrumentos de medición

Como ya se mencionó anteriormente en la sección 3.4.4 la humedad se mide junto con la temperatura en un mismo dispositivo.

## 5.6 Presión atmosférica

### 5.6.1 Definición

La presión es la relación existente entre una fuerza vertical y el plano o superficie sobre la cual esta fuerza se ejerce. En el sistema internacional la unidad de presión es el pascal, equivalente a un Newton sobre metro cuadrado ( $1\text{N/m}^2$ ). En algunos ambientes se utilizan otras unidades como la libra sobre pulgada cuadrada (PSI) y el bar.

A veces la presión no se mide como una presión absoluta, sino como la presión sobre la presión atmosférica, también llamada presión de manómetro. Un ejemplo de esto es la presión de las llantas de un automóvil, la cual puede ser especificada como de “30 PSI”, pero que realmente es 30 PSI sobre la presión atmosférica. En un trabajo técnico, esto se escribiría como 30 PSIG o, más comúnmente, 30 psig.

Una atmósfera (abreviación atm) es una unidad de presión, aproximadamente igual a la presión del aire al nivel de mar, a una latitud de  $45^\circ$ , y está definida como:

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ pascales}$$

En meteorología la unidad de presión más utilizada es el milibar (mbar) equivalente a un hectopascal (hPa) donde  $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$ .

La siguiente tabla muestra las equivalencias de 1 atmósfera con respecto a las unidades más utilizadas.

1 atm	760 mm Hg
1 atm	1.033 Kg/cm <sup>2</sup>
1 atm	1,013,300 bars
1 atm	1,013.3 milibars
1 atm	101,330 N/m <sup>2</sup> (o pascales)
1 atm	1,013.3 hectopascales

En la figura 5-5 las líneas que unen los puntos de igual presión se denominan isóbaras. En esta figura las letras A y B indican regiones de alta y baja presión respectivamente.

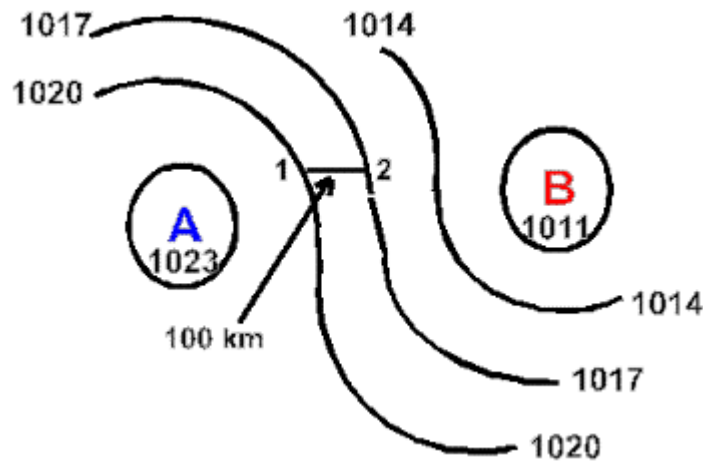


Figura 5-5. Regiones de alta y baja presión

### 5.6.2 Mediciones de la presión atmosférica

Las mediciones más importantes de la presión atmosférica son:

- Presión atmosférica medida
- Presión atmosférica efectiva

La **presión atmosférica medida** es una presión calculada con relación a la altura sobre el nivel del mar y la cual ha sido convertida a la presión real al nivel del mar. La conversión se hace mediante la adición de una diferencia de presión que surge entre la columna de aire del lugar donde se efectúa la medición y la del nivel del mar. Ello permite comparar presiones atmosféricas, independientemente de su nivel sobre el mar.

La **presión atmosférica efectiva** es la presión absoluta tomada en un sitio y en un momento dado.

### 5.6.3 Instrumentos de medición

El medidor de presión consiste en un cuerpo metálico hermético soldado a una membrana de acero que sirve para la recepción de la corriente y como conector eléctrico. El sensor de presión - piezoreceptivo - se encuentra detrás de la membrana. La presión es transmitida a través de la membrana de separación y un aceite de silicona a un sensor de silicio. La señal de transmisión recibida por el sensor de silicio es amplificada y enviada a la salida.



Figura 5-6. Medidor de presión

## 5.7 Viento

### 5.7.1 Definición

La variación de la presión con el espacio se denomina gradiente de presión. Por ejemplo en la figura 5-5 la variación de la presión entre el punto 1 y 2 es 3 hPa en una distancia de 100 kilómetros, por lo tanto, el gradiente de presión entre los puntos 1 y 2 es igual a  $3\text{hPa}/100\text{Km}$ . Cuando existe un gradiente de presión se genera el viento, por tanto, el viento es el desplazamiento del aire en sentido horizontal. Este viento se dirige de la alta hacia la baja presión. Pero, debido a la rotación de la Tierra este viento sufre una desviación hacia la izquierda en el hemisferio sur y hacia la derecha en el hemisferio norte. Por eso, en un mapa meteorológico los vientos tienden a seguir en dirección paralela a las isóbaras.

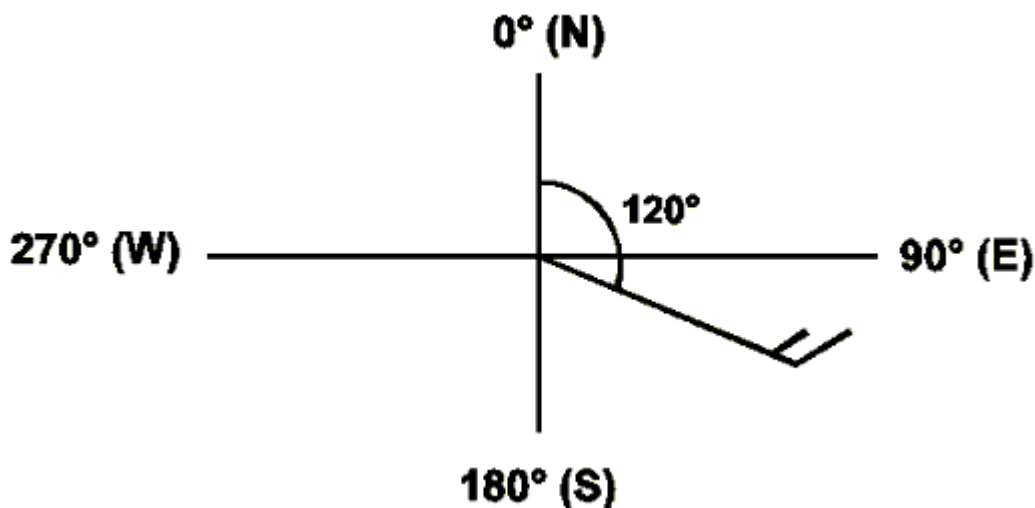
En la alta tropósfera, entre los 5 a 20 Km de altura, los vientos pueden llegar a ser mayores a 100 nudos (50 m/s) y se le denomina corriente en chorro (jet stream).

### 5.7.2 Mediciones del viento

Las mediciones más importantes del viento son la dirección y la velocidad.

La **dirección del viento** es la dirección de donde sopla el viento. Se representa en grados de 0 a 360 como se muestra en la figura 9. En esta, 0° corresponde al norte, 90° al este, 180° al sur, 270° al oeste y 360° grados nuevamente al norte.

En la figura 5-7 se ha representado el viento con una dirección de 120° (aproximadamente del sureste), la punta de la flecha indica de donde viene el viento y las barbas como se verá a continuación la magnitud del viento, en este caso 15 nudos.



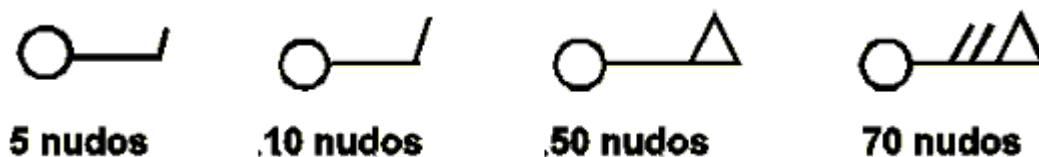
**Figura 5-7. Representación de la dirección y velocidad del viento**

La **velocidad del viento** es la velocidad con la que se desplaza el viento sobre la superficie terrestre. Hay dos formas de representarlo:

- Con vectores
- Con flechas con barbas

Si es un vector la longitud representa la velocidad del viento.

En el caso de las flechas con barbas, la velocidad del viento se representa teniendo en cuenta la escala gráfica de la figura 5-8. La barba de menor longitud equivale a 5 nudos, la de mayor longitud 10 nudos y el triángulo 50 nudos; si queremos representar 70 nudos será un triángulo con dos barbas grandes. Las velocidades inferiores a 5 nudos se representan con flechas con barbas.



**Figura 5-8. Diagrama de barbas para representar la velocidad del viento**

### 5.7.3 Escalas de medición

La unidad del viento en el Sistema Internacional es metros por segundo (m/s), sin embargo aún se usan los nudos kt (1 kt = 1.8 Km/h---1 kt = 0.5 m/s) y los kilómetros por hora (Km/h), como se puede observar en la Figura 5-9 (a). También es muy usual reportar la frecuencia de las direcciones de los vientos con gráficas denominadas “rosa de las vientos”, estas gráficas son del tipo polar y señalan los ángulos donde son más frecuentes que se reciban vientos en una ubicación particular. Un ejemplo de rosa de los vientos se presenta en la Figura 5-9 (b) para la localidad de Brownsville, Texas.

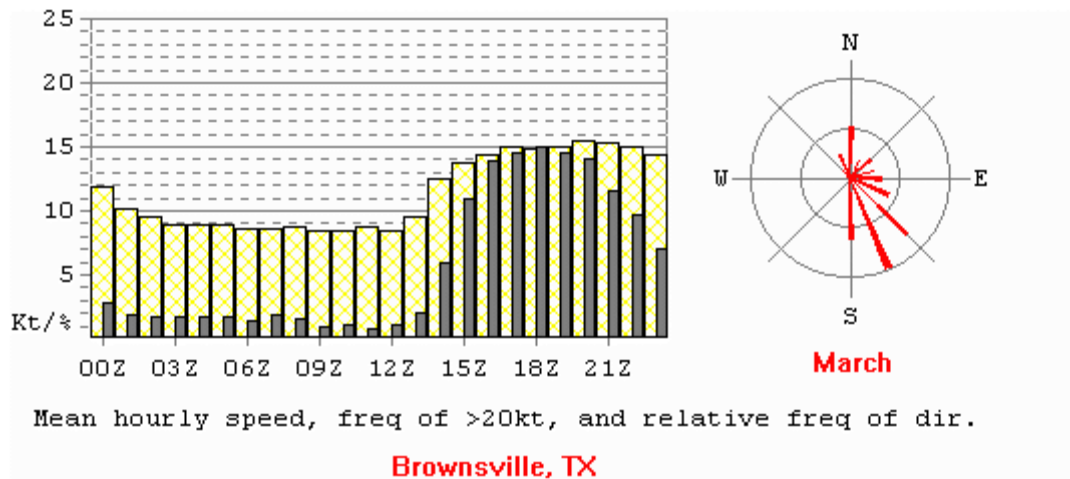


Figura 5-9. (a) Velocidad promedio horaria, (b) Rosa de los vientos para marzo.

### 5.7.4 Instrumentos de medición

El equipo utilizado para la medición de la velocidad del viento es el anemómetro (véase la figura 5-10), en el caso de la estación solarimétrica hay un anemómetro modelo 03101-5RM que conjuga un anemómetro de tres copas y una veleta en un equipo compacto y preciso en la medición de velocidad y dirección de viento.

Las mediciones hechas con anemómetros de este tipo pueden presentar pequeñas alteraciones debido a corrientes de aire verticales y a que el instrumento se acelera más rápido de lo que puede desacelerar.



**Figura 5-10. Anemómetro y veleta de dirección**

## Capítulo 6 Uso del Sistema

Como se dijo anteriormente el sistema está disponible vía Internet en la dirección <http://sun.iq.uson.mx/pclima/index.html> y en <http://148.225.83.24/pclima/index.html>.

Al acceder la dirección se despliega la pantalla principal:



**Figura 6-1** Página principal

A la izquierda se muestra un menú de opciones. Describiremos con algún detalle cada una de estas opciones.

### **Justificación**

Aquí se exponen los principales problemas, tales como la falta de datos solarimétricos en la región, que motivaron el desarrollo de este sistema.

### **Estación solarimétrica**

En esta sección hay una descripción y fotos de la estación solarimétrica. También se presenta la forma en que el sistema puede acceder la información vía Internet.

## Conceptos

En esta parte se describe con detalle las variables meteorológicas: radiación solar, temperatura, humedad, presión atmosférica y viento. En la actualidad la estación solarimétrica no cuenta con medidor de presión pero, para completar la información, se decidió incluir información sobre esta variable.

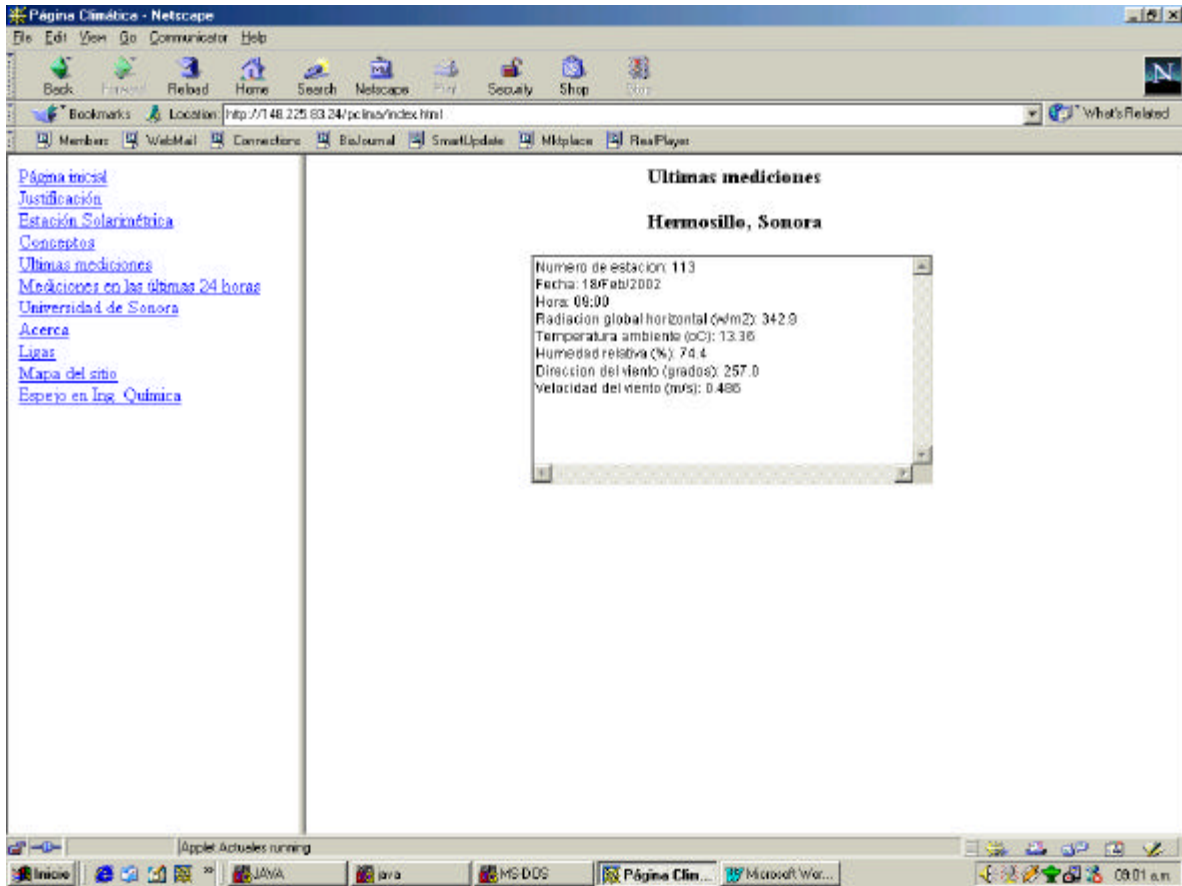
Para cada variable meteorológica hay una definición, principales unidades de medida y una descripción de los instrumentos que se utilizan para medirla.

## Últimas mediciones

Presenta en un área de texto las últimas mediciones disponibles en la estación. Por lo general la hora de obtención de estas mediciones estarán dentro de los 20 minutos anteriores al momento de la petición.

Las mediciones son:

- Número de estación. Por ahora la única estación conectada es la 113 perteneciente al Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. En un futuro será posible acceder las mediciones de las distintas estaciones repartidas por el estado.
- Fecha. Día, mes y año de la medición.
- Hora y minuto de la medición.
- Radiación global horizontal en watts por metro cuadrado.
- Temperatura ambiente en grados Celsius.
- Humedad relativa expresada en porcentaje.
- Dirección en grados de donde sopla el viento. La figura 3-8 muestra la forma en que se representa este parámetro.
- Velocidad del viento en metros por segundo.

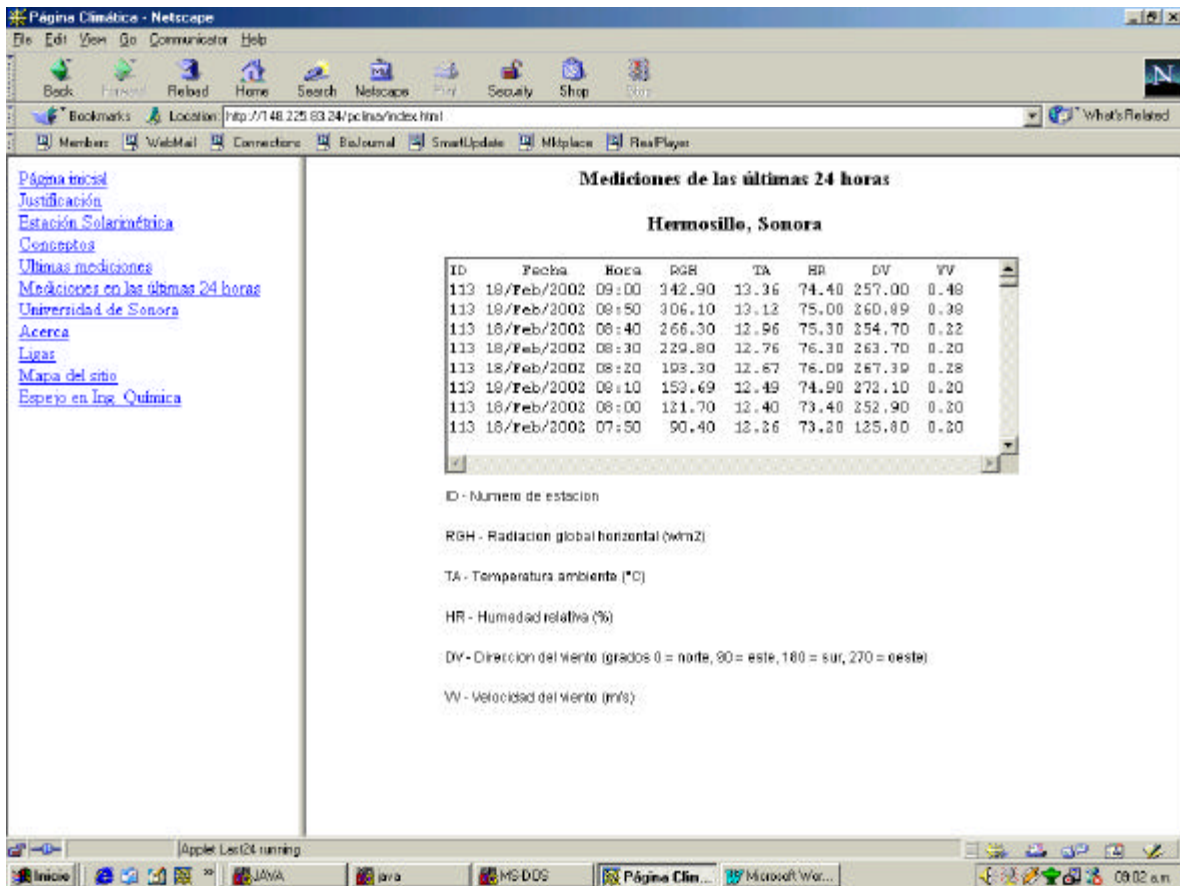


**Figura 6-2. Últimas mediciones**

## **Mediciones en las últimas 24 horas**

Presenta en un área de texto las mediciones de las últimas 24 horas en intervalos de 10 minutos. La información se presenta en una tabla. Cada renglón representa una medición. Las columnas tienen el mismo significado que en la opción anterior.

- Número de estación.
- Fecha de la medición.
- Hora y minuto de la medición.
- Radiación global horizontal.
- Temperatura ambiente.
- Humedad relativa.
- Dirección de donde sopla el viento.
- Velocidad del viento.



**Figura 6-3. Mediciones de las últimas 24 horas.**

## Universidad de Sonora

Liga a la página principal de la Universidad de Sonora

## Acerca

En esta página están los nombres de las personas que participaron en el desarrollo del sistema y sus correos electrónicos.

## Ligas

En esta sección hay ligas a otros sitios que ofrecen datos meteorológicos en línea. La mayoría maneja información principalmente de Estados Unidos y Canadá. Por lo general no tienen datos de radiación solar.

También hay ligas a las páginas hogar de organismos interesados en la energía solar como la ISES (International Solar Energy Society) y la ANES (Asociación Nacional de Energía Solar).

## **Mapa del sitio**

Presenta un resumen de las distintas partes de que consta el sistema.

## **Espejo**

Apunta al sitio espejo. Si uno está accedendo el sistema en el servidor del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, ésta liga apunta al sistema en el servidor del Departamento de Matemáticas y viceversa.

## Reconocimientos

Los autores quieren agradecer a la Dirección de Investigación y Postgrado de la Universidad de Sonora, por el apoyo recibido para elaboración de este proyecto, bajo el programa de Proyectos Internos 2001.

Los autores presentaron las ponencias *Sistema de Acceso, a través de Internet, a los datos de la Estación Solarimétrica de la Universidad de Sonora*, en la XXV Semana Nacional de Energía Solar, organizada por la ANES (Asociación Nacional de Energía Solar), que se llevó a cabo en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., del 1 a 5 de Octubre de 2001 y *Diseño e Implementación del Sitio de Solarimetría de la Universidad de Sonora*, en el X Congreso Internacional de Computación, organizado por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, que se llevó a cabo en la ciudad de México, D.F. del 12 al 16 de Noviembre de 2001.

## Lecturas adicionales

Duffie, John A., W.A. Beckman, (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley-Interscience, USA.

National Oceanic and Atmospheric Administration (<http://www.noaa.gov/>)

National Weather Service (<http://www.nws.noaa.gov/>)

Pepi, John W., (1987) *A Comfort Index For The New Millennium* (<http://www.idad.com/ssi/home.htm>)