

## 4. Funcionamiento del sistema

### 4.1. Calibración

Los sensores de presión, temperatura y humedad son calibrados de fábrica. No obstante, todos los sensores sufren una degradación con el paso del tiempo, lo cual generalmente se ve reflejado como un corrimiento en los valores de salida (estabilidad a largo plazo). Con objeto de tener una mayor certeza de los valores obtenidos en la medición, se sometió la sonda a una prueba de calibración por comparación.

Dicha prueba consistió en poner la sonda en funcionamiento durante 3 días al medio ambiente a la par de un adquisidor de datos modelo CR10 de la marca Campbell. Los pasos seguidos son los siguientes:

- Al adquisitor se le conectaron los siguientes sensores para uso meteorológico previamente calibrados:
  - Sensor de Temperatura: Termohigrómetro Vaisala modelo HMP45c
  - Sensor de Humedad: Termohigrómetro Vaisala modelo HMP45c
  - Sensor de Presión: Qualimetrics modelo 7105-A.
- La sonda se conectó a una fuente de alimentación variable con objeto de obtener la energía necesaria de manera ininterrumpida.
- Tanto la sonda como el adquisitor de datos se configuraron para realizar mediciones cada dos minutos.
- Se dejó a los equipos capturar datos el tiempo necesario para que se observaran cambios considerables en las variables.
- Se recopilaron los datos obtenidos.

En la tabla 4.1 se pueden observar los valores obtenidos, por cuestiones de espacio únicamente los valores de cada dos horas.

#### 4. Funcionamiento del sistema

Tabla 4.1: Parte de los datos obtenidos en la prueba de calibración

Día	Hora	Humedad		Temperatura		Presión	
		Adquisitor	Sonda	Adquisitor	Sonda	Adquisitor	Sonda
0	16:00:00	62.32	59.4	21.64	22.9	779.11	777
0	18:00:00	67.45	63.2	21.13	22.5	778.7	776.5
0	20:00:00	70.6	65.6	20.88	22.3	779.43	777.4
0	22:00:00	67.24	63.3	20.42	21.8	780.72	778.7
1	00:00:00	67.1	62.9	20.02	21.4	781.49	779.6
1	02:00:00	68.52	64	19.83	21.2	781.04	779
1	04:00:00	68.91	64.2	19.61	21	780.04	778
1	06:00:00	68.25	63.8	19.27	20.6	780.12	778.2
1	08:00:00	67.81	63.1	19.05	20.5	780.73	778.9
1	10:00:00	66.08	61.7	19.43	20.9	781.69	779.8
1	12:00:00	61.81	59.1	20.3	21.6	781.62	779.7
1	14:00:00	61.06	58.1	20.67	21.9	780.55	778.5
1	16:00:00	68.7	63.7	20.11	21.6	779.93	777.9
1	18:00:00	69.92	65.3	19.58	20.9	779.48	777.6
1	20:00:00	72.1	66.9	19.48	20.9	780.68	778.7
1	22:00:00	70.6	65.8	19.11	20.5	782.17	780.3
2	00:00:00	70.7	65.9	18.98	20.3	781.85	780
2	02:00:00	70.9	65.9	18.69	20.1	781.1	779.3
2	04:00:00	69.83	65.2	18.4	19.7	781.06	779.2
2	06:00:00	70.5	65.8	18.3	19.6	780.92	779.2
2	08:00:00	70.9	66.2	18.12	19.5	781.35	779.6
2	10:00:00	71.1	66.3	18.5	19.9	782.69	781
2	12:00:00	64.34	61.2	19.3	20.6	782.57	780.7
2	14:00:00	60.39	58.7	20.35	21.3	781.62	779.7
2	16:00:00	59.68	57.6	20.31	21.6	779.72	777.7
2	18:00:00	58.88	56.7	20.56	21.9	778.86	776.8
2	20:00:00	70.6	65.4	19.45	20.9	780.73	778.8

Las gráficas resultantes, hechas con la totalidad de los datos pueden observarse en la figura 4.1 en donde se observa de manera más clara el comportamiento registrado.

#### 4. Funcionamiento del sistema

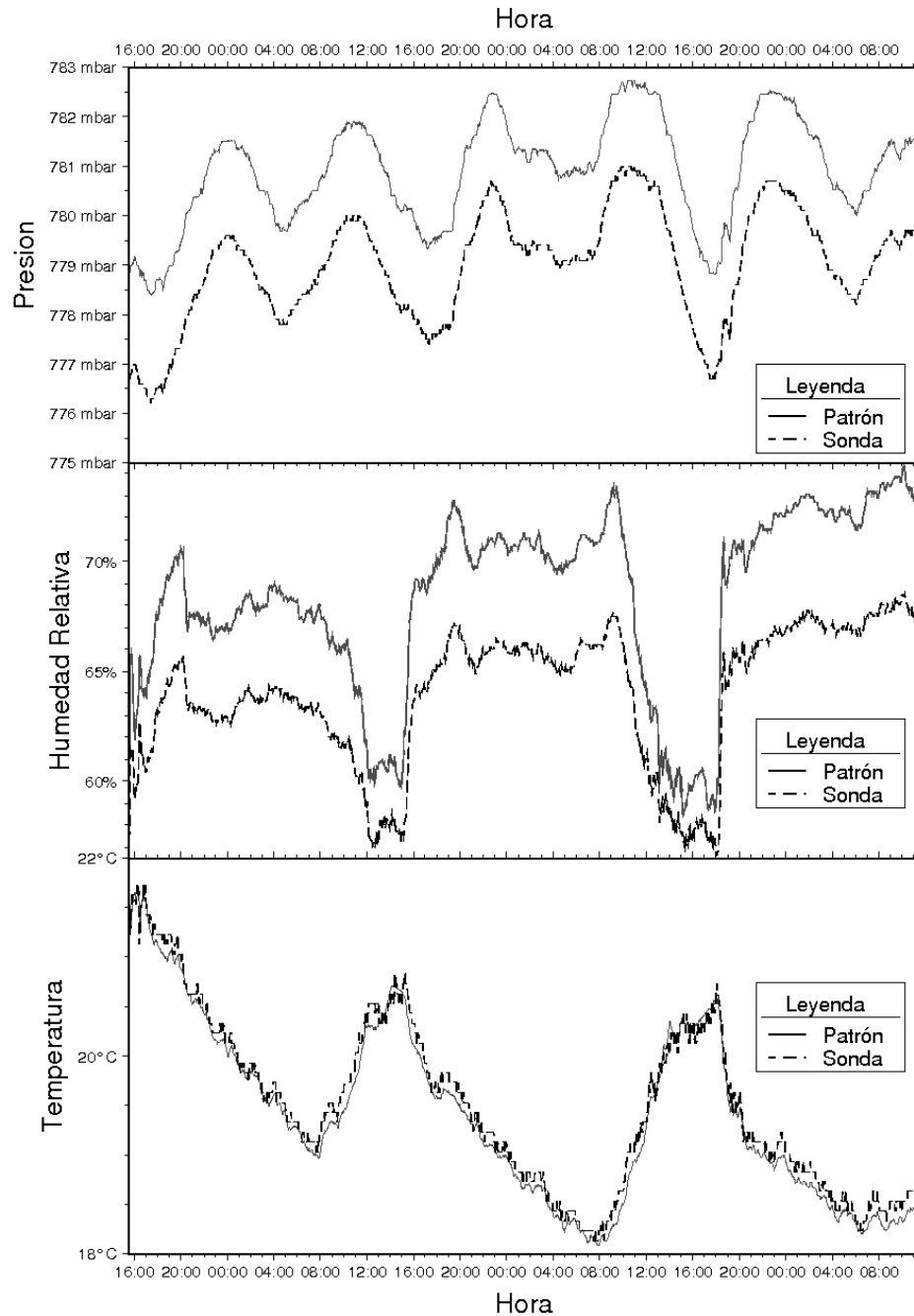


Figura 4.1.: Gráfica de los datos obtenidos de la sonda y de una estación meteorológica

A pesar de contar con calibración de fábrica, se pudo observar un error considerable en el transductor de humedad y en el de presión (ver tabla 4.2). Para disminuir estos errores se calculó el valor medio del error para cada variable mediante:

$$E_{medio} = \frac{E_{max} - E_{min}}{2}$$

donde:

#### 4. Funcionamiento del sistema

$E_{medio}$ =Valor medio del error de una variable dada

$E_{max}$ =Valor máximo del error en una variable

$E_{min}$ =Valor mínimo del error en una variable

Los valores medios obtenidos constituyen valores de corrección que deben aplicarse a los valores obtenidos por la sonda. Una vez que se sumaron dichos valores, se volvieron a graficar los datos, obteniendo las mostradas en la figura 4.2.

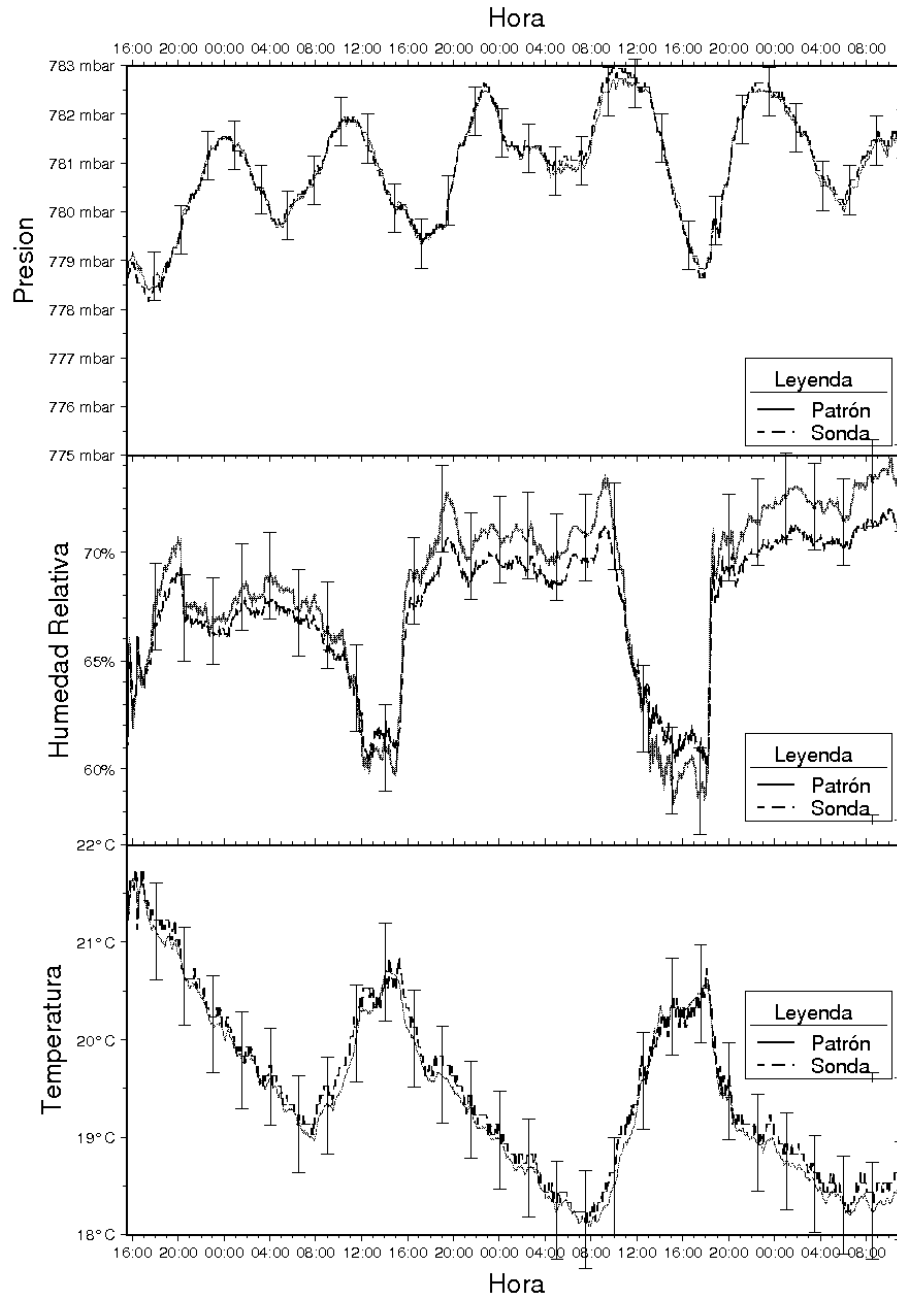


Figura 4.2.: Gráficas de variables compensadas

#### 4. Funcionamiento del sistema

Ahora los errores máximo y mínimo tienen el mismo valor (error compensado) y es mucho menor al error máximo original como se puede ver en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Errores obtenidos en el proceso de calibración.

Parámetro	Error máximo (E <sub>max</sub> )	Error mínimo (E <sub>min</sub> )	$\frac{E_{max}-E_{min}}{2}$	Error compensado
Humedad	5.9 %HR	1.15 %HR	3.525 %HR	± 2.375 %HR
Temperatura	-0.9 °C	-1.63 °C	-1.265 °C	± 0.365 °C
Presión	2.31 mBar	1.59 mBar	1.95 mBar	± 0.36 mBar

El sensor de dirección de viento requiere calibración cada que se utiliza en un ambiente nuevo, cuando la dirección obtenida no sea la adecuada o cuando el módulo requiera la calibración enviando como dirección el valor de -1. La rutina de calibración a seguir es la siguiente:

- Primero se debe instalar la sonda en el lugar donde trabajará. La rutina de calibración elimina errores causados por metales y otros objetos cercanos que alteren la medición del campo magnético de la Tierra, por lo tanto, una calibración en condiciones diferentes probablemente resulte en mediciones erróneas.
- A continuación debe encenderse la sonda y configurarla para realizar una rutina de calibración de la brújula. Esto se logra marcando la casilla realizar calibración en el software de configuración.
- Una vez configurada la sonda, el led comenzará a parpadear rápidamente indicando que se encuentra lista para realizar la calibración.
- Cuando termine el parpadeo se debe presionar el botón para indicar a la sonda que se va a iniciar la calibración
- Girar lentamente el módulo hasta alcanzar al menos dos vueltas. Cada vuelta debe durar al menos 30 segundos para asegurar una correcta calibración. Es recomendable retirar de las manos cualquier accesorio de metal para asegurar una correcta calibración.
- Una vez terminado se debe presionar nuevamente el botón, ahora para indicar el fin de la calibración.
- Si la calibración se ha realizado de manera satisfactoria la sonda comenzará a enviar datos, en caso contrario hará parpadear el led por un momento indicando que se requiere una nueva calibración y se encuentra en espera de que se presione el botón nuevamente.

#### 4. *Funcionamiento del sistema*

- Una vez que la sonda comienza a enviar datos verifique la calibración apuntando la punta de la sonda hacia cada uno de los cuatro puntos cardinales y confirme la dirección con los datos que se muestran en la computadora.
- Si la dirección obtenida es incorrecta apague y vuelva a encender la sonda realice nuevamente el proceso: la calibración no se realizó de manera adecuada. Una causa de la falla puede ser el uso de artículos de metal, como anillos, en el momento de realizar el proceso.

## 4.2. Pruebas de funcionamiento

Se realizaron diversas pruebas en Jonacatepec (Morelos), en Salamanca (Guanajuato) y en Tuxpan (Veracruz); consistiendo en elevaciones de la sonda a las 6 am a la máxima altura permitidas por el hilo y el viento. Algunos de los datos obtenidos se pueden consultar en el anexo C. En las figuras 4.3, 4.4 y 4.5 se muestran las gráficas obtenidas de dichos datos.

En el caso de Jonacatepec y Tuxpan se elevó hasta la altura máxima donde se mantuvo 5 minutos y se comenzó el descenso; para el caso de Salamanca al alcanzar la altura máxima se mantuvo la sonda por aproximadamente 2 horas antes de comenzar el descenso. Podemos confirmar que la variación de la presión entre el ascenso y el descenso es mínimo a pesar de haber transcurrido una cantidad de tiempo considerable (1 mBar en 2 horas), lo cual verifica dicha suposición hecha para el cálculo de la altura. En cambio, la temperatura y la humedad varían de manera considerable en forma proporcional al tiempo en que se realiza el muestreo.

#### 4. Funcionamiento del sistema

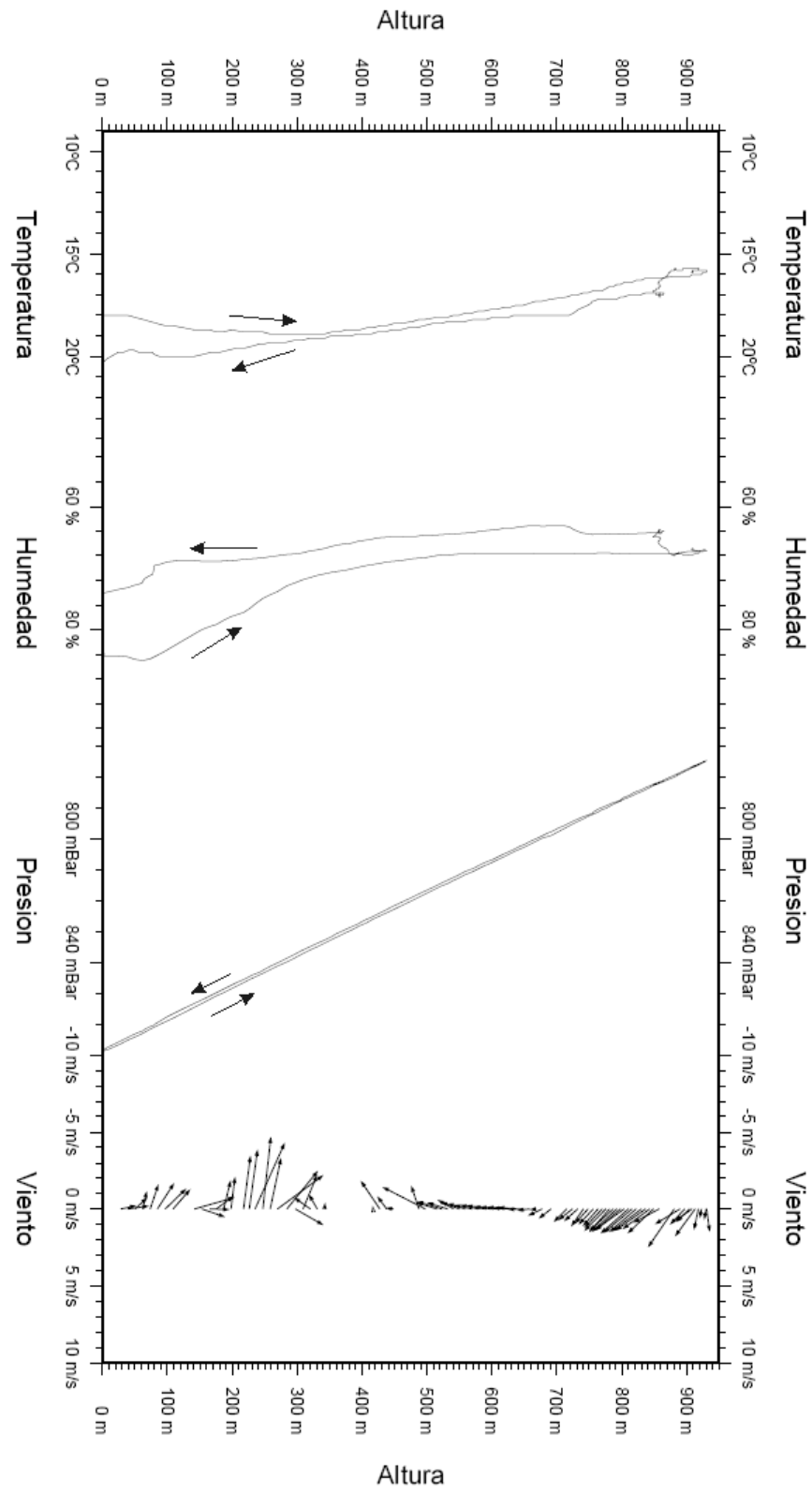


Figura 4.3.: Gráficas de los datos obtenidos en pruebas en Jonacatepec (Morelos)

#### 4. Funcionamiento del sistema

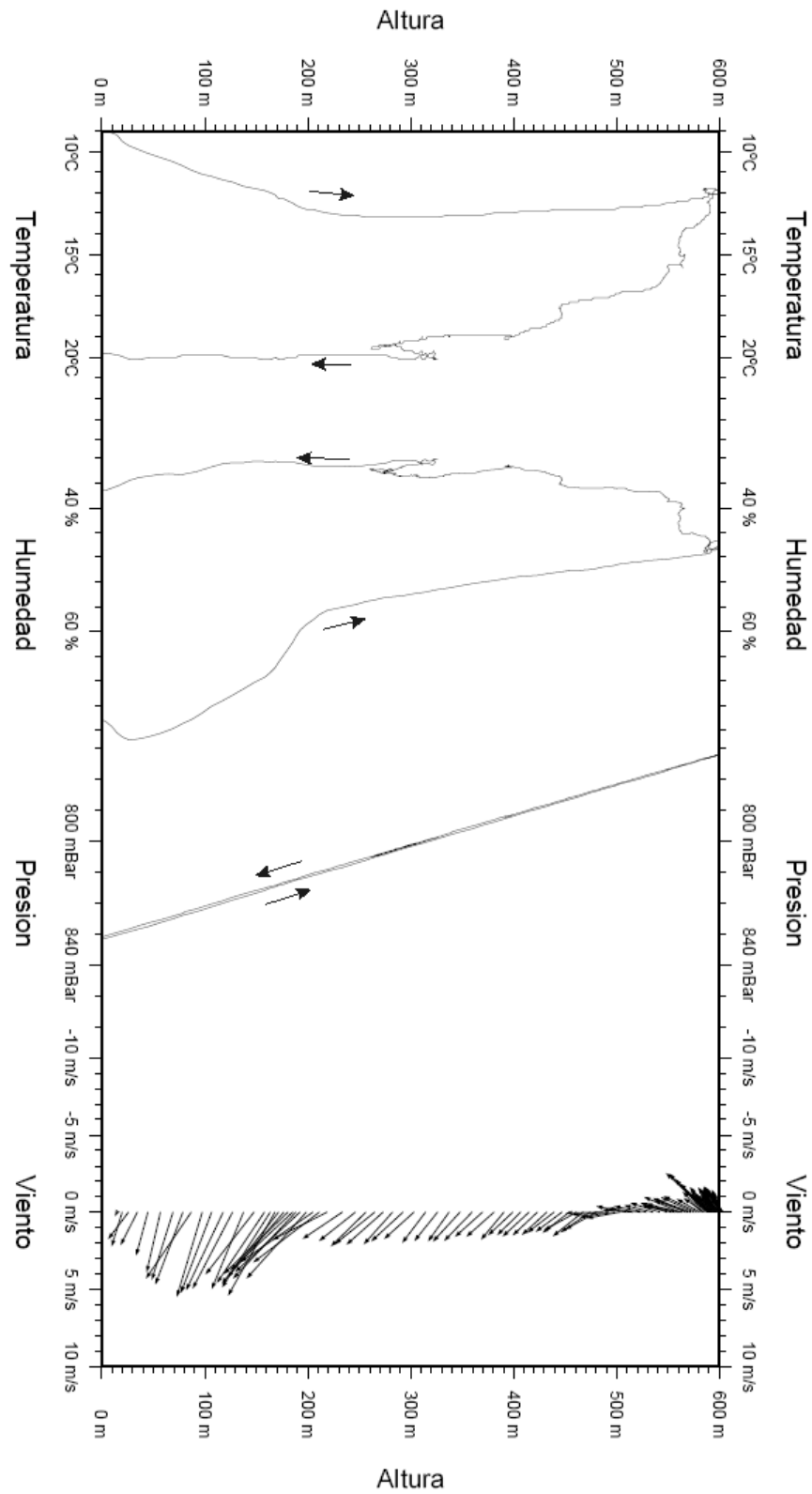


Figura 4.4.: Gráficas de los datos obtenidos en pruebas en Salamanca (Guanajuato)



#### 4. Funcionamiento del sistema

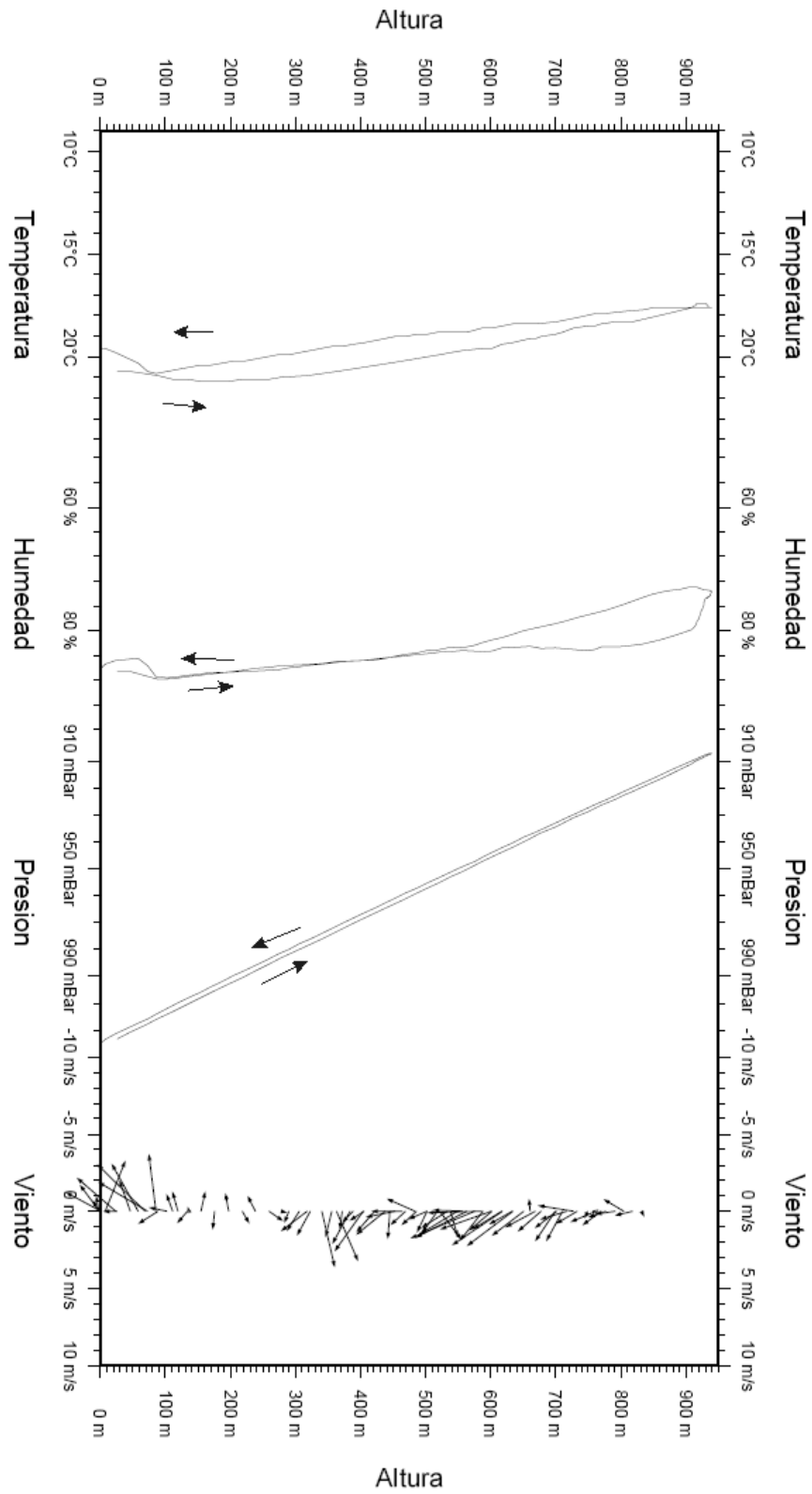


Figura 4.5.: Gráficas de los datos obtenidos en pruebas en Tuxpan (Veracruz)