

01060



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

4

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CONTINUIDAD DE SERIES CLIMATOLOGICAS A PARTIR DE
LA INSTALACION DE ESTACIONES METEOROLOGICAS
AUTOMATICAS EN LOS OBSERVATORIOS SINOPTICOS
DE LA REPUBLICA MEXICANA

T E S I S

PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN GEOGRAFIA

PRESENTA:

LETICIA GOMEZ MENDOZA



MEXICO D. F.
2000



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.

A Néstor:
Por estar conmigo desde tu principio

Agradezco al Dr. Victor L. Barradas por la dirección y revisión de este trabajo, así como las observaciones del Dr. Juan Carlos Gómez Rojas, la Dra. Teresa Ayllón la Dra. Martha Cervantes y la Dra Laura E. Maderey y, muy especialmente, al Servicio Meteorológico Nacional por las facilidades para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN, 1

CAPÍTULO 1

FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE ESTACIONES CONVENCIONALES Y AUTOMÁTICAS EN MÉXICO

1.1 LA RED DE OBSERVATORIOS CONVENCIONALES Y LOS MÉTODOS DE OBSERVACIÓN EMPLEADOS, 4

- 1.1.1 La red sinóptica básica, 4
- 1.1.2 Métodos de observación utilizados, 7
- 1.1.3 Envío y manejo de la información, 9

1.2 GENERALIDADES SOBRE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

- 1.2.1 La modernización de las redes de observación, 9
- 1.2.2 Propiedades y características de los sensores de las estaciones automáticas, 10
 - Tipos de estaciones automáticas, 10
 - Elementos de una estación meteorológica automática, 11
 - A) Sensores, 11
 - B) Unidad central de proceso de los datos, 18

1.3 REQUISITOS DE PRECISIÓN PARA LAS MEDIDAS EN SUPERFICIE, .20

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS INSTALADAS EN MÉXICO, 21

- 1.4.1 Sensores, 22
- 1.4.2 Módulo interior principal, 28

1.5 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS GENERADOS POR LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS A NIVEL CENTRAL, 35

CAPÍTULO 2

DIFERENCIAS ENTRE ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES A NIVEL MUNDIAL

2.1 LA IMPORTANCIA DE LAS COMPARACIONES, 38

- 2.1.1 El control de calidad espacial y temporal, 39
- 2.1.2 Repercusiones en las actividades meteorológicas nacionales, 39

2.2 LA EXPERIENCIA DE LAS COMPARACIONES EN LOS SERVICIOS METEOROLÓGICOS DEL MUNDO, 40

- 2.2.1 Década de los setentas, 41
- 2.2.2 Década de los ochentas., 42
- 2.2.3 Década de los noventas, .50

2.3 METODOLOGÍAS COMUNMENTE UTILIZADAS PARA LAS COMPARACIONES, 56

**CAPÍTULO 3
COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES CONVENCIONALES Y
AUTOMÁTICAS DE LA RED DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL**

3.1 ESTACIONES SELECCIONADAS, 61

3.2 METODOLOGÍA UTILIZADA EN LAS COMPARACIONES, 62

3.3 RESULTADOS, 63

3.3.1 El observatorio de Tacubaya como estación piloto, 63

3.3.2 Diferencias de temperatura, 65

3.3.3 Diferencias de humedad relativa, 65

3.3.4 Diferencias de presión atmosférica, 65

3.3.5 Diferencias estacionales, 68

3.3.6 Diferencias diurnas, 70

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO, 73

3.4.1 Resultados del análisis de regresión, 74

3.4.1.1 Temperatura, 74

3.4.1.2 Humedad relativa, 78

3.4.1.3 Presión, 80

3.4.2 Resultados de las pruebas de t de Student., 82

3.4.2.1 Temperatura, 83

3.4.2.2 Humedad relativa, 83

3.4.2.3 Presión, 84

**CAPÍTULO 4
FACTORES QUE INFLUYEN EN EL REGISTRO DE LOS PARÁMETROS
METEOROLÓGICOS AUTOMÁTICOS Y CONVENCIONALES**

4.1 FACTORES FÍSICOS DE OPERACIÓN, 86

4.2 PARÁMETROS METEOROLÓGICOS QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS
SENSORES AUTOMÁTICOS, 87

4.3 DIFERENCIAS DE EMPLAZAMIENTO DE LOS SENSORES, 94

4.4 INFLUENCIA DE LOS MÉTODOS DE OBSERVACIÓN UTILIZADOS, 101

4.4 INFLUENCIA DE LA CALIBRAACIÓN DEL EQUIPO CONVENCIONAL, 101

**CAPÍTULO 5
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, 103**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, 106

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA, 111

ANEXO A GLOSARIO DE TÉRMINOS, 116

ANEXO B EJEMPLOS DE DIFERENCIAS ENCONTRADAS ENTRE EQUIPO CONVENCIONAL Y AUTOMÁTICO, 118

ANEXO C ANEXO FOTOGRÁFICO. EMPLAZAMIENTO DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS, 124

La Organización Meteorológica Mundial recomienda que cuando los servicios meteorológicos instalan equipos nuevos en sus redes, deben realizar pruebas de compatibilidad de los equipos en el terreno. Como las comparaciones en el terreno de los instrumentos existentes con los nuevos duran por lo general las cuatro estaciones del año, la duración de la prueba mínima es de un año. Después de haber evaluado la serie de datos obtenidos, los resultados de las pruebas pueden exigir el nuevo diseño del producto. Puede requerir años el lograr una creación con éxito, antes de que pueda instalarse la red. Mientras que las pruebas de funcionamiento, se alargan de seis meses a un año, que es el tiempo que el personal a cargo se familiariza con estos sistemas.

El Sistema Mundial de Observación recalca que si se tienen estaciones convencionales paralelas a las automáticas, y si las series de datos previos datan de algunas décadas, éstas han de prolongarse en el tiempo con los datos facilitados por las estaciones sinópticas automáticas. Es indispensable realizar mediciones paralelas con las estaciones convencionales y por los métodos automáticos de observación, a fin de conseguir la continuidad de los registros. Un año de medidas paralelas no es suficiente; se necesita tres años como mínimo y de preferencia se debe llegar a los cinco años. (OMM, 1991).

Después de la automatización parcial o completa de las estaciones, resulta frecuentemente difícil estimular a los observadores a que hagan observaciones paralelas. También ocurre que las limitaciones financieras exigen una reducción del número de estaciones en funcionamiento. En este caso se deben realizar observaciones paralelas durante un periodo suficientemente largo, cuando menos en un número seleccionado de estaciones automáticas.

En el SMN, estas recomendaciones se han llevado a cabo y hasta el momento se tienen instaladas 65 estaciones de las cuales aproximadamente 15 llevan a cabo un proceso de validación de sus datos. La oficialización de los datos de estas estaciones (la consideración de estos datos como válidos) depende de la verificación y validación tanto de los valores en si, como de las características de transmisión y del buen estado de los sensores.

El propósito de esta trabajo se encamina a la evaluación de las diferencias de los valores de las variables meteorológicas encontradas entre las estaciones meteorológicas automáticas y convencionales a lo largo de casi cuatro años, así como proponer la metodología para ajustar y corregir estas diferencias. Todo ello con la finalidad de dar una recomendación para disminuir los efectos de la transición entre los métodos de observación meteorológica tradicionales y modernos en nuestro país.

CAPÍTULO 1

FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE ESTACIONES CONVENCIONALES Y AUTOMATICAS EN MEXICO

1.1 LA RED DE OBSERVATORIOS CONVENCIONALES Y LOS MÉTODOS DE OBSERVACIÓN EMPLEADOS

1.1.1 La red sinóptica básica

Como ya se mencionó, según el Sistema Mundial de Observación Meteorológica de la Organización Meteorológica Mundial las redes de observación se dividen en el subsistema de superficie y el subsistema espacial. En el primero se encuentran las redes de observatorios y estaciones climatológicas, ya sea manuales o automáticas y los radiosondeos, estaciones en aeronaves, radares y estaciones marítimas. El subsistema espacial comprende a los satélites meteorológicos, que recaban información desde fuera de la superficie terrestre. En su conjunto estos dos subsistemas recaban información básica para fines climatológicos y meteorológicos en primera instancia y para estudios aplicados a la mayoría de las ciencias.

El diseño de las redes de observación en superficie depende de los países en donde se encuentren, pero en términos generales deben cumplir al menos con los siguientes requisitos:

- El emplazamiento de cada estación debe ser representativo de las condiciones geográficas existentes en el espacio y en el tiempo.
- La separación entre estaciones debe ser de acuerdo a la resolución de los parámetros que se van a determinar.
- El número de las estaciones debe ser, por razones de economía, tan pequeño como sea posible, pero tan grande como las necesidades lo requieran.
- La separación entre las estaciones debe ser tal que se puedan obtener valores suficientemente precisos de los parámetros meteorológicos en cualquier punto situado entre dos estaciones mediante una interpolación visual o numérica. Esta separación entre estaciones dependerá también de la topografía de los lugares.

En términos generales el Sistema Mundial de Observación recomienda que para los parámetros de temperatura, viento, humedad relativa, presión atmosférica, y precipitación pluvial la resolución espacial sea de 100 km.

Sin embargo, para fines de previsión es necesario para la determinación de la temperatura del aire y precipitación pluvial una separación de 10 Km y para la presión de 100 Km

Las estaciones de superficie que tienen como finalidad enviar información en tiempo real a los centros recolectores de datos a nivel mundial, se llaman estaciones sinópticas de superficie y su información es de vital importancia para la elaboración de pronóstico del tiempo. Por esta razón el emplazamiento de estas estaciones debe ser tal que sean representativas de una zona amplia que puede variar de 2,000 a 10,000 Km²

En la actualidad, en México el Servicio Meteorológico Nacional(SMN), único órgano reconocido internacionalmente para la realización de observaciones y su vigilancia, tiene instalados 78 observatorios sinópticos de superficie distribuidos en el país. Estos se encuentran en las capitales de los estados y en poblaciones importantes. En este momento se tiene un observatorio por cada 26 000 km² por lo que la cobertura actual de la red sinóptica aún no alcanza la recomendada por la OMM de 100 km. Sin embargo, esta cobertura es la utilizada para la determinación de fenómenos sinópticos de mesoescala en nuestro país.

Los observatorios tienen principalmente la finalidad de realizar observaciones horarias y sinópticas (cada 3 horas) y transmitir la información en tiempo real a todo el mundo a través del Sistema Internacional de Telecomunicaciones. Esta red base de observatorios sinópticos soporta una red de 3500 estaciones climatológicas que se encargan de las mediciones diarias del tiempo sólo una vez al día (a las 8:00 h) y no transmiten información en tiempo real.

La información obtenida en los observatorios debe ser transmitida al Centro Meteorológico Mundial de Washington en un lapso no mayor de 20 minutos después de efectuarse la observación para dar cumplimiento a los convenios internacionales de intercambio de información meteorológica suscritos por nuestro país como miembro de la Organización Meteorológica Mundial.

Los observatorios sinópticos deben contar con instrumentos de medición directa y de registro para realizar las observaciones meteorológicas. Cada observador deberá registrar también información de carácter sensorial (sin la ayuda de aparatos) tales como la nubosidad, la visibilidad horizontal y los fenómenos diversos como son trombas, halos, tormentas eléctricas, etc.

La información meteorológica deberá registrarse cada hora diariamente sin interrupción. Además de transmitir en tiempo real las observaciones efectuadas a las 00, 03, 06, 09 12, 15, y 18 horas Z (hora del meridiano de Greenwich) .

Las actividades básicas de los observatorios pueden resumirse como sigue:

- Efectuar y registrar una observación sinóptica cada tres horas.
- Codificar y transmitir en los horarios y con los medios establecidos por el SMN a los subcentros de recepción de información.
- Elaborar el resumen estadístico mensual y remitirlo en los primeros cinco días del mes siguiente para su captura, revisión y archivo en el Banco Nacional de Datos Climatológicos.
- Elaborar los resúmenes mensuales codificados CLIMAT y CLIMEX y transmitirlos al SMN durante los primeros tres días del mes
- Llevar a cabo los trabajos de mantenimiento preventivo del instrumental meteorológico .
- Reportar las fallas en el instrumental
- Mantener limpia el área de trabajo
- Realizar los trabajos de desmonte y desyerbado del área del instrumental
- Auxiliar en los trabajos de mantenimiento correctivo y de instalación del instrumental y equipo dentro del observatorio cuando sea necesario.
- Proporcionar la información a los usuarios que los soliciten

Para realizar esta tarea de observación, cada observatorio meteorológico en México debe contar con el siguiente instrumental:

Termómetro de máxima

Termómetro de mínima

Psicrómetro

Higrógrafo o Higrómetro

Pluviómetro

Pluviógrafo

Evaporímetro

Heliógrafo

Barómetro

Barógrafo

Anemocinómetro

Piranógrafo

1.1.2 Métodos de observación utilizados

Estos métodos de observación utilizados están de acuerdo a las normas internacionales de observación meteorológica que establece la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Estos métodos se basan en la lectura de los instrumentos meteorológicos por parte del observador (tabla 1.1).

TABLA 1.1 Métodos de observación meteorológica e instrumental

VARIABLE	INSTRUMENTO	MÉTODO DE OBSERVACION
<i>VARIABLES MEDIDAS</i>		
Temperatura Ambiente Temperatura de punto de rocío Humedad Relativa	Psicrómetro	Mojar el bulbo húmedo del psicrómetro y ventilarlo hasta alcanzan la lectura mínima del bulbo húmedo y leer ambos termómetros simultáneamente La lectura del bulbo seco corresponde a la temperatura ambiente. Proceder a los cálculos psicrométricos para obtener la humedad relativa y el punto de rocío.
Temperatura máxima	Termómetro de máxima	Lectura directa del termómetro
Temperatura mínima	Termómetro de mínima	Lectura directa del termómetro
Presión atmosférica de la estación	Barómetro de mercurio (Tipo Fortín o tipo Kew)	Ajustar el nóbio del barómetro hasta alcanzar la altura de la columna de mercurio y leer la escala. Leer el termómetro adjunto del barómetro. Proceder a calcular las correcciones por gravedad, por temperatura y la del instrumento y restarlas o sumarlas a la lectura de la altura de la columna de mercurio. Transformar la lectura a hectopascales.
Presión reducida al nivel medio del mar	Barómetro de mercurio	Realizar los cálculos hipsométricos que involucran la temperatura ambiente, la de 6, 12 y 18 horas anteriores, la tensión de vapor y la presión al nivel de la estación., para obtener el valor de la presión reducida al nivel del mar.

VARIABLE	INSTRUMENTO	MÉTODO DE OBSERVACIÓN
Presión Aneroide	Barómetro aneroides	Lectura directa del barómetro aneroides
Insolación	Heliógrafo	Lectura de la gráfica del heliógrafo. Las partes carbonizadas corresponden a la cantidad de tiempo con presencia de sol.
Velocidad y dirección del viento	Anemocinémografo	Lectura directa de la gráfica del anemocinémografo para dirección y velocidad en periodos de cada 15 minutos para posteriormente determinar el viento medio, el viento máximo y el viento dominante horario.
Precipitación	Pluviómetro y Pluviógrafo	Se introduce la regla de madera del pluviómetro dentro de él hasta que el nivel de la precipitación indique la altura sobre la regla. Para el pluviógrafo, leer la altura de la lluvia registrada en la gráfica.
Radiación Solar	Piranógrafo	Integración del área bajo la curva de la radiación en la banda de registro para obtener la radiación total diaria.
Evaporación	Evaporímetro	Introducir el tornillo milimétrico en el tanque del evaporímetro para medir la altura del agua dentro de él. Restar la lectura del día de anterior a la lectura del día actual para obtener el valor de la evaporación. En caso de lluvia, se resta la precipitación leída en el pluviómetro.
VARIABLES ESTIMADAS		
Cobertura del cielo	Sin instrumento	El observador determina el número de octas de cielo cubierto sobre la bóveda que esta sobre de él.
Tipo de Nubes	Sin instrumento	El observador determina el tipo y genero de nubes de acuerdo al atlas mundial de nubes de la OMM, con base en su forma y su altura
Altura de las nubes	Sin instrumento	Determinada de acuerdo al tipo de nube y a referencias visuales de las cuales se conoce su altura, por ejemplo montañas o edificios cercanos.
Visibilidad	Sin instrumento	De acuerdo con puntos de referencia preestablecidos se determina la visibilidad mínima y el cuadrante en el que se presenta.
Presencia de fenómenos diversos	Sin instrumento	De acuerdo a la visibilidad presente se determina la presencia de lluvia, lloviznas, tormentas eléctricas, chubascos, nieve, granizo, niebla, halos solares y lunares, humo, bruma, polvo, tolveneras, trombas, relámpagos y truenos a la distancia o en la estación

Elaboró: Leticia Gómez

1.1.3 Envío y manejo de la información

La información obtenida en los observatorios debe ser asentada en formatos especiales. La información horaria se asienta en la forma SMN82. La información sinóptica se codifica en los mensajes sinópticos para ese fin. La información climatológica que contiene los valores promedio y extremos de cada variable durante todo el mes se anotan en un formato especial denominado "forma 5" que junto con las gráficas de los instrumentos registradores, deben ser enviados al Banco de Datos Climatológicos cada mes.

La información sinóptica se transmite vía radio o modem al centro recolector de datos en el Servicio Meteorológico Nacional. Este reporte debe ser transmitido en un lapso no mayor a 20 minutos después de la hora sinóptica tal como se mencionó antes.

1.2 GENERALIDADES SOBRE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS AUTOMATICAS

1.2.1 La modernización de las redes de observación

A partir de 1980 se ha iniciado en el mundo un proceso de modernización en las redes de observación de superficie que consiste en la instalación de estaciones meteorológicas automáticas. Una estación automática es, según el Manual del Sistema Mundial de Observación "una estación en la que los instrumentos efectúan y transmiten o registran automáticamente las observaciones, realizándose la conversión a la forma cifrada, si así se requiere, bien directamente o en una estación revisor. Los datos también pueden ser insertados de manera manual" (OMM, 1995).

Estas estaciones automáticas generalmente se instauran para incrementar la red básica dotadas con personal. Con ello se pretende garantizar la adquisición de un conjunto de datos de observación de calidad y precisión comparables a los obtenidos con la red de estaciones dotadas de personal.

Por motivos de compatibilidad y homogeneidad de los datos generados por las estaciones automáticas con respecto a los datos similares proporcionados por estaciones convencionales dotadas de personal, se deberá realizar un sistema compuesto de observaciones de calidad uniforme a nivel mundial, regional y nacional (OMM, 1995).

Las estaciones automáticas se utilizan para muchos fines:

- facilitar la toma de datos en lugares de difícil acceso o inhóspitos,
- facilitar las observaciones de estaciones dotadas de personal pero fuera del horario normal de trabajo de ese personal, por ejemplo en la noche o los fines de semana,
- incrementar la seguridad de los datos y normalizar los métodos y horarios de observación en todas las estaciones de la red,
- reducir los gastos disminuyendo el número de estaciones dotadas de personal,
- instalar sensores en emplazamientos meteorológicamente favorables, independientemente de los lugares de residencia y trabajo del observador.

1.2.2 Propiedades y características de los sensores de las estaciones automáticas

Las estaciones automáticas que se utilizan en diversos países se ubican en lugares inhóspitos o para complementar información en estaciones con personal.

Tipos de estaciones automáticas

De acuerdo a la información que remiten, la OMM clasifica a las estaciones automáticas en:

- 1) Estaciones que proveen datos en tiempo real
- 2) Estaciones que almacenan información para posteriormente analizarla

Sin embargo puede suceder que una sola estación cumpla estas dos características. Las aplicaciones pueden ser en tiempo real o en tiempo diferido. Las estaciones cuyos datos son utilizados en tiempo real suelen enviar información sinóptica a nivel internacional y nacional y dichos datos son utilizados en el pronóstico del tiempo o bajo emergencias meteorológicas.

Las estaciones cuyos datos son utilizados en tiempo diferido suelen utilizarse para el seguimiento del comportamiento del tiempo en un lugar para aplicaciones como la incidencia de plagas, enfermedades en la población, conservación del ambiente, etc.

Elementos de una estación meteorológica automática

Estructura general

Las estaciones meteorológicas automáticas están dotadas de un conjunto de sensores conectados a un sistema de interrogación, a un sistema de acondicionamiento de señales y a un sistema de transmisión o registro. El sistema de acondicionamiento de señal depende si la estación va a procesar los datos en sitio o lo va a hacer en una central. En el primer caso se limita a un menor volumen de información, si los datos se transmiten a una central, se necesita mayor amplitud en la banda de comunicaciones de la estación al satélite que retransmitirá su información a una central

A) Sensores

Un **sensor** es un dispositivo que proporciona una señal eléctrica de salida como respuesta a un estímulo determinado de entrada. Un estímulo de entrada se entiende como la magnitud de la cual se desea una réplica por señal eléctrica. Esta consistirá en un voltaje, corriente, impedancia o frecuencia. (SEAC, 1993).

Los sensores de una estación automática deben ser:

- Robustos
- No tener ninguna desviación intrínseca o ambigüedad en el modo de hacer el muestreo de la variable
- Tratar de conseguir cierto grado de homogeneidad entre los sensores empleados en las estaciones automáticas y las tradicionales con cuyos datos se van a combinar los procedentes de las estaciones automáticas (OMM, 1991)

Los sensores basan su funcionamiento en fenómenos físicos en los que se encuentran relacionadas las magnitudes eléctricas.

Un ejemplo es el fenómeno de la conducción eléctrica en los metales. Que depende de la temperatura como sigue:

$$R(T) = R_0 (1 + aT + bT^2 + \dots)$$

donde:

R: Resistencia

T: Temperatura

R_0 es la resistencia a 0°C

a y b son constantes que dependen del metal.

Cuando se trata de platino puede tomarse

$$a = 0.0003850$$

$$b = 0$$

Y la expresión queda:

$$R(T) = R_0 (1 + 0.0003850 \times T)$$

A continuación se describen las características más importantes de los sensores automáticos de las variables de presión, humedad, viento, temperatura y precipitación que se utilizan hoy en día como parte de una estación meteorológica automática.

Sensores de presión atmosférica

La mayoría de estos sensores se basan en las cápsulas aneróides y proporcionan una señal de salida en forma eléctrica, ya sea analógica o digital. La mayoría de los barómetros modernos utilizan transductores que transforman la reacción del sensor en magnitudes eléctricas relacionadas con la presión, tales como la resistencia, voltaje o frecuencia de impulsos. La deriva de estos sensores a largo plazo es peor que los de mercurio y requieren corrección y de calibración al menos una vez cada seis meses (OMM, 1991)

Problemas principales:

- Efectos adversos de la temperatura. Los efectos de la temperatura no son fáciles de superar. Un coeficiente de temperatura equivalente a un cambio de 0.9 hPa en el intervalo de temperaturas de 5 a 35°C se considera satisfactorio en los climas templados. A estos transductores primarios se les pueden unir circuitos que corrijan los resultados primarios del sensor con respecto a los efectos de su no linealidad y de la temperatura y que conviertan los resultados de las lecturas en unidades normalizadas.
- Desviaciones de largo plazo
- La exposición del instrumento
- Histéresis y receptividad.
- Efectos de las vibraciones y los golpes en las señales de los transductores

Es recomendable colocar el sensor de presión dentro de un recipiente fijo y ventilar el sensor desde el exterior mediante un tubo, para ello se necesita de un dispositivo conocido como de toma de presión estática que evita el efecto de Venturi (OMM, 1991).

La medida de la presión debe ser del orden de un minuto durante periodos del orden de 10 minutos que eliminarán la dispersión y las lecturas serán aceptables en general (OMM, 1991).

Sensores de temperatura

Los termómetros actuales pueden ser de tipo resistivo, termistores, de diodos, termopares o circuitos integrados. A continuación se detalla cada uno de ellos.

Los termómetros de tipo resistivo: Se basan en la medición de la temperatura de acuerdo al cambio de la resistencia eléctrica de un material. La resistencia de los metales R se incrementa con la temperatura de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R(T) = R_0 [1 + a (T - T_0)]$$

Donde:

- T: es la temperatura en un instante dado.
- R_0 : es la resistencia a una temperatura de referencia T_0 .
- a: depende del material y es una constante

La resistencia es una función lineal de la temperatura. Se utiliza la medida de la resistencia eléctrica de un material ya que la resistencia varía con la temperatura de una manera conocida.

Por otra parte un buen termómetro de este tipo debe satisfacer los siguientes requisitos:

- Sus propiedades físicas y químicas deben permanecer inalterables en toda la gama de medida de la temperatura
- Que su resistencia aumente al aumentar la temperatura
- La humedad, corrosión o deformaciones no deben alterar su resistencia
- Su resistividad debe permanecer constante durante un periodo de dos años o más

El platino puro es el que mejor cumple con estos requisitos.

Normalmente los termómetros eléctricos de estos tipos tienen una constante de tiempo pequeña (aproximadamente de 100 a 500 milisegundos) y cuando son acoplados a sistemas de lectura rápida o muestreados mediante circuitos electrónicos, los datos resultantes reflejan las fluctuaciones de alta frecuencia y baja amplitud de la temperatura atmosférica local. Las lecturas instantáneas de estos sistemas pueden diferir hasta 0.5°C de una lectura hecha por un observador con termómetros de alcohol o mercurio. Para evitarlo, se puede añadir una masa térmica al propio sensor para incrementar la constante de tiempo. También es posible amortiguar artificialmente el termómetro eléctrico mediante un circuito apropiado, de modo que se reduzca el tiempo de respuesta de la señal de salida; o bien se pueden tomar lecturas del termómetro con rapidez y promediar los resultados. Generalmente se toma un periodo de lectura del orden de segundos y periodos de promedio del orden de minutos (OMM, 1991).

Los termómetros de diodos: Los diodos son elementos semiconductores que cambian su resistividad eléctrica linealmente en función de la temperatura bajo un rango. Pero si se cambia de rango el diodo puede cambiar su linealidad.

Los termistores: Son semiconductores en los cuales la relación de la temperatura con la resistencia está dada por:

$$R(T) = AT \exp(B/T)$$

Donde A y B son las constantes del termistor. Estos tienen la desventaja que se linealizan con sistemas electrónicos y la temperatura T del termistor se puede dar en °K

Ventajas:

- El gran coeficiente de temperatura de la resistencia permite que el voltaje aplicado a través de un puente de resistencia sea muy reducido, manteniendo la misma sensibilidad y no se toma en cuenta la resistencia de los cables y sus cambios.
- Los elementos pueden ser de tamaño pequeño de modo que sus muy bajas capacidades térmicas pueden producir pequeñas constantes de tiempo. No obstante, los termistores muy pequeños de baja capacidad térmica tienen la desventaja de que para determinada disipación, el efecto de autocalentamiento es mayor que en los grandes termómetros. Así pues, se debe cuidar de mantener baja la capacidad de disipación.
- Si se introduce una temperatura de referencia T_0 en la ecuación anterior con sus correspondiente resistencia R_0 se obtiene la ecuación:

$$R(T) = R_0 \exp [b/T - b/T_0]$$

Un termistor típico tiene una resistencia que varía de cien a doscientas veces en una gama de temperatura de -40 a +40 °C

Los termopares: Son juntas de diferentes metales que generan un voltaje proporcional a la temperatura. El voltaje entre las dos juntas es proporcional a la diferencia de dos temperaturas. Los termopares se conectan a un potenciómetro o voltímetro.

Se puede utilizar voltímetros digitales (DVM) conjuntamente con una fuente constante de corriente para medir el descenso de voltaje dependiente de la temperatura a través del elemento termométrico. El resultado puede ser directamente dado en temperatura.

Este tipo de termómetros se utiliza cuando se necesita una medición con una constante de tiempo muy pequeña, capaz de realizar lecturas y registros a distancia. Como los voltajes termoeléctricos están incluidos por las deformaciones mecánicas, el material componente debe estar suficientemente envejecido por temple eléctrico. Se pueden realizar juntas termoeléctricas muy eficaces mediante soldadura ordinaria con latón o soldadura autógena o cuando se trate de lograr capas muy finas de metal, por galvanoplastia (OMM, 1991).

Con la medida eléctrica de la temperatura las señales de salida de los sensores son corrientes continuas, voltajes continuos o resistencias. Cuando funciona este equipo en los sistemas digitales de medida, es necesario llevar a cabo la cuantificación y conversión a una forma digital codificada. Debido a su mayor inmunidad al ruido eléctrico, para pasar de sistemas analógicos a digitales habitualmente se utilizan convertidores integrados (OMM, 1991).

Los circuitos integrados: Son termómetros que vienen en un circuito integrado y su respuesta es lineal a los cambios térmicos como por ejemplo el LM3911 con respuesta de 10mV/°K (Barradas, 1994).

Medición de la temperatura del aire:

Para realizar la medición de la temperatura del aire se deben de tomar ciertas precauciones al instalar un termómetro de cualquier tipo ya que la exposición directa a los rayos solares, al viento o a la precipitación pluvial puede causar errores en las mediciones.

Las dos fuentes principales de error en la medición de la temperatura son los efectos de la radiación incidente, viento o precipitación y la respuesta del sensor al acoplarse al medio. Se tienen que "intemperizar" los termómetros, usando abrigo termométrico para minimizar efectos por viento, radiación directa o precipitación (Barradas, 1994).

Sensores de humedad relativa

Se utilizan actualmente sensores de arpa de cabellos, higrístores o humicap. Sin embargo la humedad es una de las variables más difíciles de medir con sistemas automáticos.

Los higrómetros de cabello que son un símil de los higrógrafos convencionales presentan histéresis, dan malos resultados para humedades bajas y sufren corrimientos importantes del cero con bajas temperaturas.

Actualmente los sensores de humedad automáticos no funcionan muy bien en lugares no vigilados. Casi todos estos están propensos al deterioro de sus características en presencia de sales halóides

El higristor es un dispositivo cuyo cambio de tamaño determina un cambio en su resistencia eléctrica ya que el dispositivo cambia de tamaño con la humedad relativa. La resistencia es una función lineal de la humedad relativa (HR). El higristor funciona bien cerca de los 100% de HR. Es un sensor de respuesta rápida (Barradas, 1994).

Existe también el humicap, que es un sensor basado en la capacitancia eléctrica. Es un condensador o capacitor cuyas placas conductoras se encuentran embebidas en un polímero que hace las veces de dieléctrico. El polímero cambia de tamaño conforme cambia la humedad relativa (HR). Al cambiar el dieléctrico del capacitor hay un cambio inversamente proporcional a su capacidad. Este cambio es linealizado por un circuito electrónico y puede ser calibrado de 0 al 100%. Su precisión es de $\pm 2\%$ y su tiempo de respuesta es de 1 segundo hasta 90% de HR. Muy cerca de 100% su respuesta es errónea, sin embargo es uno de los mejores sensores que se usan para medir la HR (Barradas, 1994).

Sensores de precipitación

El equipo más común para medir la lluvia en estos equipos es *el pluviómetro de depósito basculante*. Cada vez que se llena de lluvia un depósito, el mismo se vuelca y genera un impulso eléctrico digital. La cantidad de lluvia recogida cada vez está comprendida entre 0.1 y 0.5 mm de lluvia. Un pluviómetro de este tipo se ensucia frecuentemente con depósitos como arena, hojas, insectos etc. por lo que debe estar colocado en lugares con vigilancia.

Sensores de viento

Los anemómetros de cazoletas y de hélice se utilizan habitualmente para la determinación de la velocidad del viento y comprenden dos subsistemas: el rotor y el generador de señal. La velocidad angular del rotor de cazoleta o de hélice, prácticamente es directamente proporcional a la velocidad del viento.

La clase de respuesta ante el cambio de velocidad del viento que tienen los sensores de cazoleta y de hélice se puede caracterizar por una constante de distancia, magnitud que es directamente proporcional al momento de inercia del rotor y es inversamente proporcional a la densidad del aire, por otra parte depende además de cierto número de factores geométricos.

Se han utilizado generadores de corriente alterna y continua, generadores de impulsos ópticos y magnéticos y contadores y registradores de vueltas. La elección del generador de señales o transductor depende en gran medida del tipo de procesador y lector de datos que se han de utilizar (Barradas, 1994).

B) Unidad central de proceso de datos (CPU)

Estas unidades dentro de las estaciones meteorológicas automáticas realizan la gestión y el proceso de los datos la complejidad de las mismas depende de la función de cada estación. Mientras más compleja sea la tarea del CPU más complicada será su programación. Se debe tener cuidado en el proceso de codificación. El CPU puede instalarse en la misma estación automática, allí, las operaciones de proceso local determinan el volumen de los datos que deben transmitirse, permitiendo que dichos datos se presenten en forma adecuada para la transmisión directa por los canales de comunicación meteorológica normales. Si el CPU está a la intemperie se pueden presentar fallas o interferencias electromagnéticas y los daños causados por los rayos (OMM, 1991).

Las funciones de un CPU son:

- a) Filtrado de los datos originales de los sensores
- b) Linealización y graduación
- c) Medidas de control de la calidad
- d) Conversión de las unidades técnicas a unidades meteorológicas
- e) Selección de valores extremos
- f) Cálculo de promedios, totales y otras valoraciones estadísticas
- g) Cifrado de datos según un modelo normalizado de comunicaciones.

Manipulación de datos

El control de calidad de datos es vital, cualquier dispositivo que está recogiendo muestras de un flujo de datos puede ser afectado por ruidos eléctricos y esto es particularmente cierto cuando se trata de sistemas electrónicos. A este respecto es aconsejable que las señales estén protegidas de interferencias electromagnéticas.

Transmisión de datos

Los datos generalmente se transmiten a un centro recolector de datos para su distribución y su introducción en cartas sinópticas. Esta transmisión puede enviarse por línea exclusiva, por radio o por banda HF, VHF, UHF o por satélite. Esta transmisión se tiene que proteger empleando dispositivos como claves de comprobación y comprobaciones de paridad.

Suministro de energía eléctrica

Las estaciones que se encuentran en lugares alejados o no se encuentran conectadas a una red de energía eléctrica, utilizan generalmente baterías de 12 V en corriente continua. Cuando se dispone de la energía eléctrica, los acumuladores pueden ser cargados en régimen lento y continuo con la energía de la red. Este sistema puede proveer automáticamente la energía de emergencia en el caso de avería de la red general. En lugares remotos conviene tener baterías recargables por una fuente de energía auxiliar como por ejemplo los paneles solares (OMM, 1991).

Esquema general de mantenimiento

La OMM hace las siguientes recomendaciones para el mantenimiento de una red de estaciones automáticas:

1. El mantenimiento sobre el terreno puede efectuarlo el personal del lugar que puede realizar cambio de sensores y módulos para volver a poner en servicio a la estación en caso de falla.
2. En un centro regional se debe disponer de personal técnico para cambiar o reparar módulos con defectos simples. Estos centros deben de contar con suficientes refacciones, así como medios de transporte para trabajos en campo.
3. En el centro nacional se necesita personal técnico más especializado para solucionar fallas más complicadas, todas las reparaciones deben ser hechas en el centro. Si hay fallas mayores deberán comunicarse a los proveedores.

Un programa de mantenimiento aceptable es el que va de un 80 a un 100 % de eficiencia (OMM, 1991).

Sustitución de estaciones dotadas de personal

La OMM menciona que la automatización puede ser de ayuda al observador en estaciones dotadas de personal, complementar información de periodos nocturnos o de fines de semana y sustituir al personal en lugares de difícil acceso. La automatización supone el aumento en el número y calidad de las observaciones.

Cada servicio meteorológico debe considerar alternativas técnicas y humanas para poder integrar las observaciones automáticas con las manuales en un único sistema de datos.

1.3 REQUISITOS DE PRECISIÓN PARA LAS MEDIDAS EN SUPERFICIE

Estos requisitos se encuentran normados por la Organización Meteorológica Mundial como se muestra en la tabla siguiente (Tabla 1.2).

TABLA 1.2 PRECISIÓN DE MEDIDAS EN SUPERFICIE (según OMM, 1980)

ELEMENTO	CLIMATOLOGIA	METEOROLOGIA-SINOPTICA	
		CONVENCIONAL	AUTOMATICA
Presión atmosférica	± 0.3 hPa (§)	± 0.1 hPa	± 1.0 hPa
Temperatura ambiente	± 0.1 °C	± 0.1 °C	± 1.0 °C
Temperaturas extrEMAs	± 0.5 °C	± 0.5 °C	
Humedad relativa	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$ hasta 50% y $\pm 2\%$ por encima de 50%	
Punto de rocío	± 0.5 °C	-	± 1 °C para descensos por debajo de 4°C ± 2 °C para descensos por encima de 4°C
Dirección del viento	$\pm 10^\circ$	$\pm 5^\circ$	$\pm 20^\circ$
Velocidad del viento	± 0.5 m/s	± 0.5 m/s hasta 5 m/s y $\pm 10\%$ por encima de 5 m/s (*)	± 2 m/s por debajo de 20 m/s $\pm 10\%$ por encima de 20 m/s
Precipitación	± 0.1 mm hasta 10 mm y 2% para cantidades mayores	± 0.2 mm hasta 10 mm y $\pm 2\%$ por encima de 10 mm	± 0.5 mm menos de 5 mm $\pm 10\%$ más de 5 mm
Intensidad de precipitación	± 0.5 mm/h hasta 25 mm/h 2% para intensidades mayores (◇)	± 0.02 mm/hr por debajo de 2 mm/h ± 0.2 mm/h entre 2 mm y 10 mm/hr $\pm 2\%$ por encima de 10 mm/h (△)	
Radiación total	± 1 MJ /m ² /día	-	

(◇) Se requiere el valor medio de un minuto

(△) Se requieren valores medios de 10 minutos

(*) Para fines de predicción estos límites podrían bajarse a ± 1 m/s

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS INSTALADAS EN MÉXICO

A partir de 1992 el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) inició un programa de modernización de sus redes de observación de superficie. Esta modernización consistió en la instalación de 65 estaciones meteorológicas automáticas (EMA) en 65 de los 78 observatorios de la red.

Estas estaciones funcionan de manera autónoma enviando los datos generados al satélite meteorológico GOES cada tres horas con bloques de información de 10 minutos correspondientes a los parámetros de dirección e intensidad del viento, temperatura ambiente, temperatura del suelo, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación pluvial y radiación solar. Tienen el propósito de contar con datos de un intervalo de tiempo menor que los datos convencionales, con una mayor precisión, eliminando los errores humanos en la medición de los parámetros determinados y en la transmisión de los datos vía radio de banda lateral. Esto remediaría el problema que viene enfrentando la institución debido a la falta de personal en las estaciones que repercute en las series de datos horarios que frecuentemente quedan incompletos.

A largo plazo se pretende que el instrumental automático sea la base de las mediciones en los observatorios y mantener una plantilla mínima de observadores que supervisen la estación y eventualmente transmitan datos del equipo convencional.

Por lo tanto el sistema de las estaciones meteorológica automáticas que operan en el Servicio Meteorológico Nacional consta de:

- La red de 65 estaciones automáticas instaladas
- Centro de concentración de datos
- Red de transmisión de mensajes

Las EMAs instaladas en los sitios, recolectan la información meteorológica, la almacenan en memoria y en disco y la transmiten vía satélite al centro de concentración de datos en Washington, EUA. La red de transmisión sirve de soporte al intercambio de información entre estaciones, esta red puede ser de línea conmutada y/o vía satélite.

Las estaciones tienen los siguientes módulos (ver figura 1.1):

1. Sensores
2. Módulo interior principal
3. Interfase de campo
4. Periféricos opcionales

1.4.1 Sensores

Higrotermistor

Este sensor utiliza para la medición de la humedad relativa, representado los valores en un dial que forma parte del instrumento a la vez que proporciona una señal eléctrica. Este instrumento utiliza un haz de cabellos, con un tratamiento especial denominado "S-Higrofix" para que su capacidad de reacción sea más rápida.

Cuando el haz de cabellos aumenta de longitud indica un aumento de humedad relativa. Estos cambios de longitud son transferidos al eje de rotación de un potenciómetro, así mismo el instrumento lleva montado sobre el potenciómetro una aguja y una escala de indicación. En la parte posterior de la carcasa lleva un cable conector a la interfase de la estación.

Los datos técnicos del sensor de humedad son los siguientes:

Sensor marca Thies de haz de cabellos tratados con S-higrofix

Sensibilidad: 1% de humedad relativa

Precisión: +/-2%

Rango de la medida 10 a 100%

Salida: Resistencia lineal de 0 a 200 Ohm

Este instrumento también va equipado con una resistencia Pt100 adicional en la caña de inmersión que es capaz de realizar medidas en un campo amplio de temperaturas. El término Pt 100 es la denominación de una resistencia de platino para un valor básico de 100 Ohms a 0°C. Este sensor de resistencia de platino tiene un funcionamiento basado en la variación resistiva lineal de un hilo bobinado de platino alojado en una ampollita de cristal al vacío.

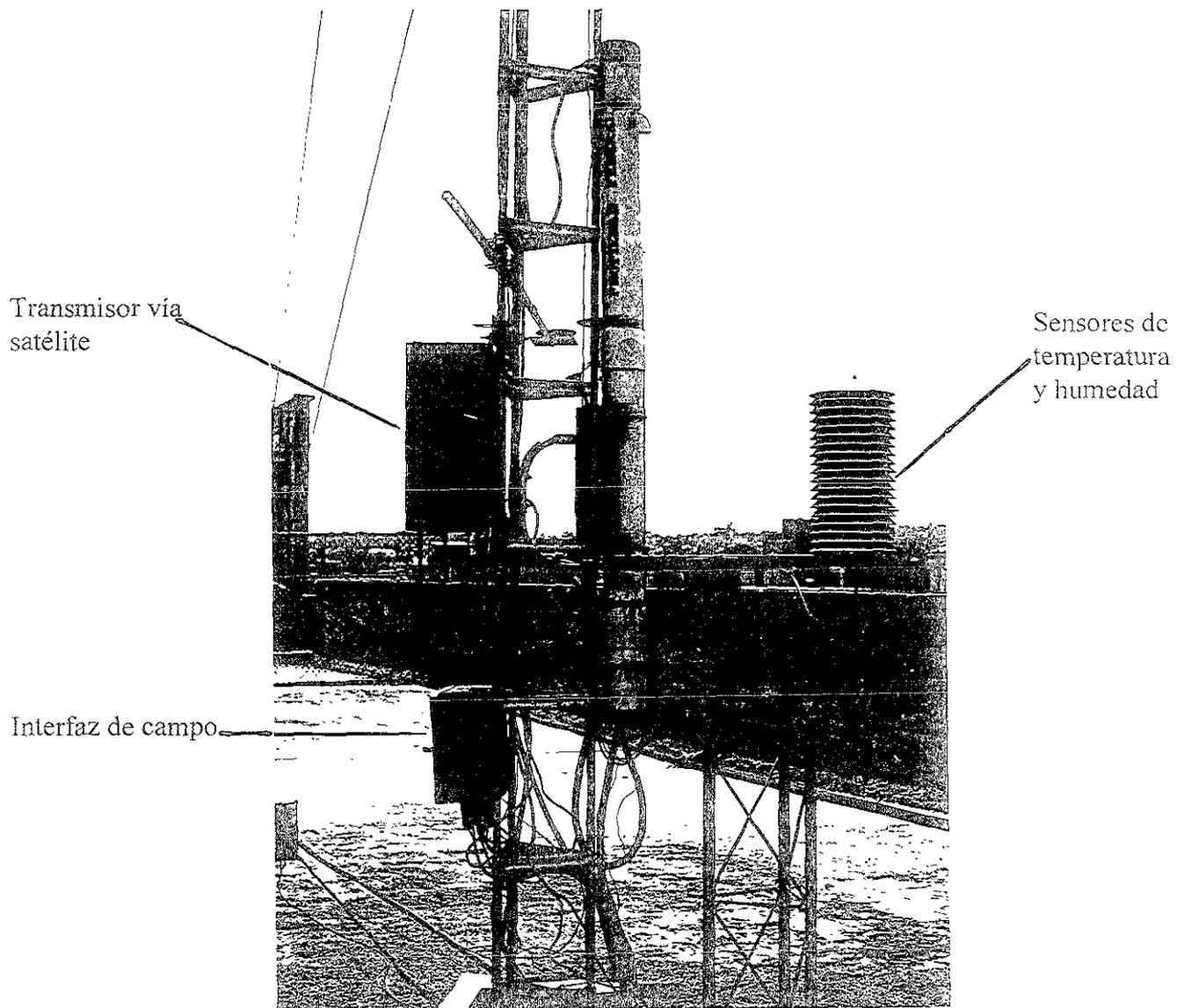


Fig 1 1 Componentes de una estación meteorológica automática

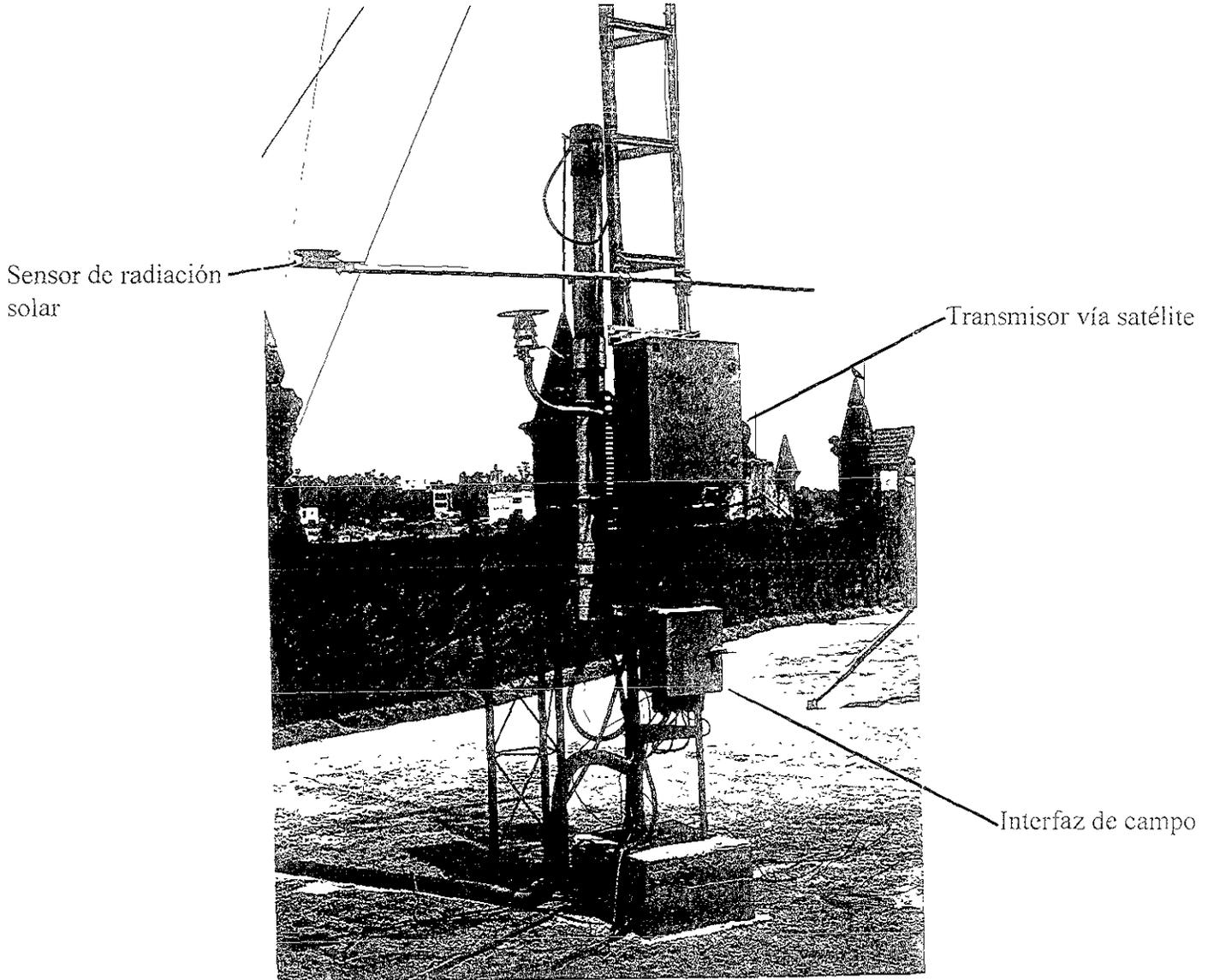
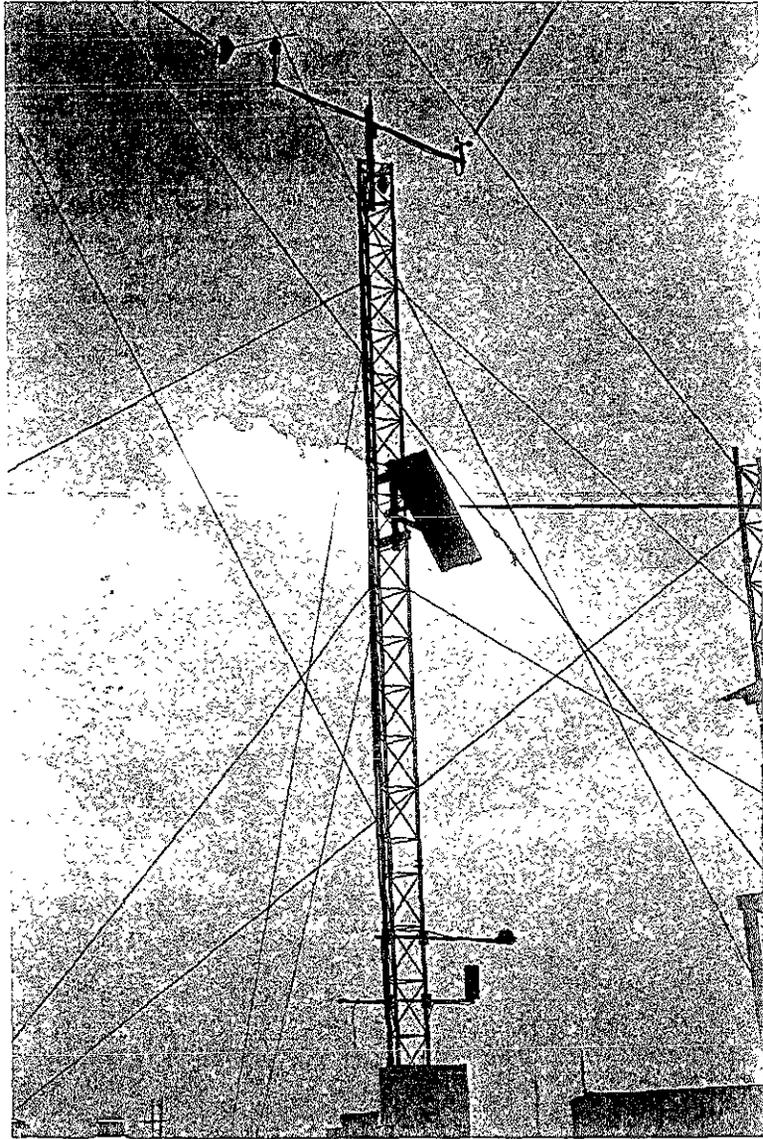


Fig 1.1 Componentes de una estación meteorológica automática (cont)

Sensor de dirección
del viento

Sensor de velocidad
del viento



Panel solar

Fig. 1.1 Componentes de una estación meteorológica automática (cont.)

Los datos técnicos del sensor de temperatura son los siguientes:

Rango de temperatura:	-30 a +70°C
Elemento de medición:	Pt 100
Precisión:	Tolerancia DIN 0.3 °C a 0 °C
Error por autocalentamiento:	0.11 °C/mV
Constante de tiempo:	28 s (90% del cambio)
Marca:	Thies

La estación obtiene la temperatura de punto de rocío a partir de tablas residentes en la memoria del programa, obteniéndose así el punto de rocío a partir de la temperatura y la humedad relativa.

Sensor de precipitación

El sensor de precipitación es un pluviómetro de balancín donde la precipitación es captada por un colector con una superficie de 400 cm² y luego llega a una balanza. Cuando cierta cantidad se almacena, la balanza báscula y se vacía, mientras la otra mitad de la balanza esta lista para recibir el agua colectada. La basculación se detecta por un interruptor y se reconoce por un pulso eléctrico. Cada pulso eléctrico es igual a 0.1 mm de precipitación.

Las características técnicas del sensor de precipitación pluvial son los siguientes:

Intensidad :	máxima de 7.0 mm/min.
Resolución:	0.1 mm/ pulso
Superficie colectora:	400 cm ²
Salida eléctrica:	1 pulso = 0.1mm de precipitación.
Temperatura ambiente:	0 °C a +60°C
Marca:	Thies
Intensidad máxima medida:	nasta 14 mm/min
Precisión:	3% a 0.6 mm/imp
Margen lineal:	0 a 6 mm/min
Opcional:	Calefactor opcional para temperaturas por debajo de 0°C

Sensor de presión atmosférica

El sensor de presión atmosférica es de tipo 140 PC que suministra un voltaje de acuerdo a la presión aplicada. La condición de la señal resulta en comportamientos predecibles en un rango específico de temperaturas. Este sensor opera en un rango de temperaturas de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$. Consta de una celda piezoresistiva la cual es un semiconductor que cambia su resistencia eléctrica causada por una presión en el diafragma. Las celdas piezoresistivas se implantan dentro de una membrana cristalina de silicón. El silicón es un material muy sensible a los cambios de presión y siempre retorna a su forma original. Sin embargo, este tipo de sensores tienen muchas desventajas.

Si se procura utilizar el sensor a la mitad del rango de temperatura asignado ($= 40^{\circ}\text{C}$) el error por temperatura se puede disminuir (ver figura 1.2). El cambio de temperatura puede causar que el sensor se descalibre.

Las características técnicas del sensor de presión son:

Rango de medida:	600-1100 hPa
Precisión estática:	$\pm 0.1\%$
Precisión de operación:	0.3 hPa/-10 a +40°C
Resolución:	0.1 hPa
Rango de temperatura compensada:	-18°C a 63°C
Temperatura de operación:	-40°C a 83°C

Sensor de radiación global

Se utiliza para medir la radiación solar (flujo de radiación en Watt/m²) en una superficie plana, mide la radiación directa y la radiación difusa incidente desde la bóveda celeste. Este es de tipo termopar. Este piranómetro tiene un detector térmico, este responde a la energía total absorbida y no es selectivo dentro del espectro de la radiación, por lo que es sensible a longitudes del infrarrojo del ambiente. La energía se absorbe por un disco pintado de negro. El calor generado, fluye a través de una resistencia térmica o termopar hasta el cuerpo del piranómetro. La diferencia de temperaturas a lo largo de la resistencia térmica se convierte a voltaje.

El aumento de la temperatura se puede ver afectada por el viento, lluvia o pérdidas de radiación por cielo nublado. Por ello el detector se protege por dos domos de vidrio, que permiten igual transmisión de la radiación directa en cualquier posición del sol sobre la bóveda celeste. El rango espectral del piranómetro se limita a la transmisión del vidrio.

Las características técnicas de este sensor son:

Angulo de vista:	2π sr
Irradiancia:	0-1000 W/m ²
Rango espectral:	305-2800 nm
Sensibilidad:	entre 4 y 6 μ V/Wm ²
Impedancia:	700 a 1500 Ohm
Tiempo de respuesta:	24 s para el 99% del valor final
Resolución:	1 w/m ²
Inestabilidad:	menos de 0.5% de cambio de sensibilidad por año.
Respuesta cosenoidal:	máximo de 1% del ideal a 60° de ángulo zenital del sol

	máximo de 3% del ideal de 80° de ángulo zenital del sol
Respuesta azimutal:	máximo de 3% del ideal a una media de 80° de ángulo zenital del Sol.
Temperatura de respuesta:	1% de desviación máxima de -10 a +40°C
Tipo:	CM11
Marca:	Kipp and Zonnen

Sensores de dirección del viento

El sensor de dirección del viento consta de una veleta. Esta va dotada de un sensor de posición angular montado sobre el eje que indica de forma analógica o codificada la dirección del viento. Los sensores de posición angular se construyen sobre distintos principios físicos. Uno de los sensores más utilizados es el potenciómetro, resistivo o inductivo.

El potenciómetro inductivo es una resistencia, devanada sobre un núcleo aislante en forma de superficie cilíndrica. El devanado no va dispuesto en forma de hélice sino con espiras paralelas a las generatrices del cilindro. Un cursor se desliza sobre las espiras de la bobina, de modo que si circula una corriente por ella, se obtendrá un voltaje, entre el cursor y uno cualquiera de sus extremos, proporcional al número de espiras comprendidas.

Otro tipo de sensor de posición utilizando conjuntamente en las veletas es el codificador digital óptico. Está construido por un disco de material ligero con perforaciones dispuestas. Los codificadores de este tipo constituyen los ceros y unos con ayuda de generadores y detectores luminosos dispuestos a uno y otro lado del disco. Los orificios se disponen para obtener una codificación binaria simple, decimal codificada en binario o Gray. La resolución obtenida depende del número de bits empleados. En el caso de 8 bits la resolución es de 1° 24' 25''. La salida del codificador digital puede ser utilizada directamente en un sistema en forma de datos o bien transformada en una señal analógica. Para ser utilizada en un sistema de presentación continuo.

Con viento en calma la veleta indica la dirección exacta de éste. Con viento arrachado y de dirección cambiante, la respuesta de la veleta depende de su diseño dinámico, respondiendo sin oscilaciones si su amortiguamiento es igual o superior al crítico. Este tipo de sensor es el utilizado por la EMAs del SMN.

El sensor de dirección SD4 / SD5 es una veleta de fabricación española y recalibrada en un túnel de viento con las siguientes características:

Sensibilidad:	0.1 m/s
Factor de amortiguamiento:	0.6
Precisión:	1.41 °
Rango:	de 1 a 360°
Salida:	8 canales lógicos, código Gray con niveles de 0 a 8 V
Distancia máxima entre sensores e interfase:	10m

Sensor de intensidad del viento

El anemómetro de cazoletas está constituido por tres cazoletas semiesféricas o cónicas montadas en los extremos de tres brazos separados 120° entre sí y giran de acuerdo a la presión del viento. Se ha demostrado que la relación entre la intensidad del viento y la de las cazoletas es lineal cuando la longitud del brazo, distancia del centro de la cazoleta al eje, es igual al diámetro de ésta.

Como transductores de velocidad angular se usan generadores tacométricos de distintos tipos, magnéticos y ópticos. Los anemómetros más sensibles usan un sistema óptico constituido por un disco ligero horadado en su superficie de forma que interrumpe o no un haz de luz (LED). Como detector se utiliza un transistor óptico. La señal de salida del anemómetro es un tren de impulsos de frecuencia proporcional a la velocidad del viento.

Las características técnicas de este sensor son las siguientes:

Dispositivo optoelectrónico por corte de haz de luz

Sensibilidad:	0.3 m/s
Resolución:	0.05 m/s
Precisión:	± 2%
Salida:	Pulsos electrónicos de anchura fija y frecuencia dependiente de la velocidad del viento, con 20 impulsos por vuelta.
1 vuelta:	= 1m de recorrido
Rango de medida:	hasta 65 m/s
Distancia máxima entre el sensor e interfase:	1000 m.

1.4.2 Módulo interior principal

Este está integrado por:

- Alimentación del sistema
- Módulo de entrada/salida paralelo
- Módulo CPU
- Módulo de comunicaciones
- Sistema de almacenamiento en disco
- Sistema de visualización de datos
- Unidad de operación

La unidad central ejecuta continuamente un programa que tiene almacenado en su memoria RAM, de acuerdo a un reloj interno que registra los valores obtenidos por cada sensor cada 10 minutos y esta misma información se graba en un disco del módulo cada 8 h.

Alimentación del sistema

La alimentación del sistema se obtiene a partir de la tensión de la energía de la red. Así como la de los sensores vía interfase de campo. Tiene también una batería para funcionar en caso de cortes de energía, esta batería puede suministrar energía hasta por 8 h desde que se produce el corte de la batería.

Módulo de entrada y salida

Es una tarjeta que soporta el puerto paralelo del sistema en donde se puede conectar una impresora. También controla la señal de sincronismo que se envía a la interfase de campo para realizar la medida de los sensores y controla las señales generadas por la unidad de operación, y el teclado

Módulo C.P.U.

Tiene un procesador 65C02 inmune al ruido, vibraciones y altas temperaturas. Tiene dos canales paralelos para expansión del sistema y dos canales serie. Gestiona todo el software del sistema y el reloj. Controla además el display.

Módulo de comunicaciones

Tiene un canal serie RS232 y puede habilitarse un módem para comunicación por línea telefónica conmutada, pero en el caso de las EMAs instaladas en el SMN no lo poseen, este módem puede ser interno o externo.

Sistema de almacenamiento de disco

Consta de una tarjeta controladora para almacenar en unidad de disco de 3.5 pulgadas. Almacena los datos periódicamente y controla los posibles errores de la operación y los comandos de cambio de fecha, hora y de cambio de disco cuando éste está lleno. El volcado de los datos se realiza a las 7:50, 15:50, 23:50 hr del reloj de la estación. Es por eso que los datos se mantienen en memoria RAM hasta el momento del volcado. Si existe una falla de energía el sistema almacena los datos hasta por 4 horas.

Sistema de visualización de datos

Es una pantalla en la que se pueden observar los datos de los diferentes sensores en tiempo real así como los valores extremos de temperatura, dirección e intensidad del viento, radiación solar acumulada en el día y precipitación pluvial acumulada desde una fecha preestablecida. Esta información se obtiene tecleando las funciones en la parte posterior del módulo.

Unidad de operación.

La unidad de operación está formada por 8 botones y un interruptor con llave de seguridad. La unidad de comunicaciones tiene 3 canales de comunicación, dos de ellos son en serie y uno en paralelo. La transmisión se realiza con caracteres tipo ASCII.

Existen dos alternativas de comunicación con la EMA. El primero permite una conexión a una línea telefónica y mediante un módem, enviar información o informes SYNOP a una central en el SMN. Otra opción es conectar una PC con un software de explotación de los datos y la codificación del informe SYNOP

Interfase de campo

Es una caja a la intemperie que aloja las tarjetas transductoras de los sensores y realiza las conexiones necesarias. Tiene como misión, enlazar los diferentes sensores con el módulo principal. La unión entre la interfase y el módulo principal se realiza con un cable a una distancia máxima de 1000 m y en México es de un promedio de 30 m.

Las partes integrantes son:

- Interfase de viento
- Convertidor analógico/digital de temperatura y humedad
- Convertidor analógico/digital de temperatura del subsuelo y presión atmosférica
- Convertidor analógico /digital de temperatura de superficie y radiación solar global.
- Canalizadora

La función primordial de la interfase es la de adaptar las señales provenientes de los sensores para convertirlas en otras sin perturbaciones que pueden llegar fácilmente al módulo principal.

La información que envía la veleta se encuentra en formato para el puerto paralelo y limita la información a más de 10 m de distancia del sensor. La interfase convierte el código con el que viene la información de viento a código binario y la amplifica.

Convertidor analógico/ digital de temperatura y humedad

Esta tarjeta convierte en frecuencia las variaciones de resistencia producidas por los sensores de temperatura y humedad. Para asegurar su fiabilidad se requiere un voltímetro con precisión de 0.1 mV. Generalmente esta tarjeta viene calibrada de fábrica.

Temperatura ambiente

Se encarga de suministrar una corriente constante hacia el sensor de temperatura. Con los valores que toma del ambiente, se produce una variación de tensión que se amplifica y corrige por medio de unos amplificadores que genera una señal en frecuencia proporcional a la variación física del parámetro.

Humedad relativa

El sensor es un haz de cabellos tratados químicamente (S-higrofix) y unido al eje de un potenciómetro de alta resolución produce una variación resistiva correspondiente a la humedad relativa dependiendo de la dilatación o compresión del haz.

Convertidora de la temperatura de subsuelo y presión

Esta tarjeta convierte en frecuencia las variaciones de resistencia producidas por el sensor de temperatura del subsuelo y amplificar la señal de frecuencia generada por el sensor de presión

Convertidora de la temperatura de superficie y radiación solar global

Esta se encarga de convertir en frecuencia las variaciones de resistencia producidas por el sensor de temperatura de superficie, amplifica la señal en tensión producida por el sensor de radiación solar global y convertir en una señal de frecuencia proporcional a los parámetros físicos.

Canalizadora

Canalizar significa dirigir los datos provenientes de varias fuentes de información a un único canal de salida. La tarjeta canalizadora de la EMA se encarga de dirigir los datos de los diferentes sensores para ser enviados a través del cable de señal que une la interfase de campo al módulo principal.

El control ejercido por el módulo principal se realiza a través de la señal denominada sincronismo. Esta señal se utiliza para la sincronización de todas las medidas referentes al viento y está formada por impulsos positivos de una anchura aproximada de un milisegundo y un periodo de 2 s. Mientras la señal no se modifica por el módulo principal, el contador presente en la placa no avanza y por lo tanto la canalizadora dirige las señales de intensidad y dirección continuamente, así como el de la precipitación.

Quando el módulo envía por la línea de sincronismo un pulso positivo mayor de 20 ms y posteriormente un pulso negativo de 4 ms, avanza el contador y por lo tanto avanza el canal de medida de la canalizadora. Con ello se consigue enviar otras dos señales diferentes hacia el módulo principal. Con una sola canalizadora se puede enviar hasta 8 señales diferentes. También esta tarjeta amplifica la señal de precipitación, y se envía hacia el módulo principal sin canalizar dada la prioridad de esta información.

1.5 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS GENERADOS POR LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS A NIVEL CENTRAL

Adquisición

La información generada en esas estaciones es enviada en forma periódica y automática al satélite GOES, desde donde puede ser bajada en cualquier sitio que tenga capacidad de capturar la señal.

En la actualidad, el SMN obtiene los datos provenientes de las estaciones automáticas mediante dos procedimientos:

- 1) Mediante un sistema maestro de recepción la información es bajada en el SMN directamente desde el satélite hacia un servidor de plataforma VMS (Vax de Sutron)
- 2) Vía módem. Cada hora se hace una conexión vía módem a la ciudad de Washington, que es el centro recolector de información de la región meteorológica IV, para adquirir la información que en aquella localidad ha sido bajada previamente desde el satélite. En ambos casos la información es la misma, pero es almacenada en distintas bases de datos con el fin de tener un sistema redundante de información que brinde mayor seguridad.

La información de las estaciones automáticas adquirida mediante el sistema maestro de recepción es almacenada en una serie de bases de datos localizada en un servidor Novell, bajo un directorio llamado especial llamado SUTRON

Por su parte, la información obtenida vía módem, es almacenada en el mismo servidor pero en una serie de bases de datos localizada en el directorio llamado WALLOPS.

Procesamiento de los datos

El SMN obtiene la información proveniente de las estaciones automáticas mediante dos procesos alternos:

- 1) Un sistema maestro mediante el cual se baja la información directamente desde el satélite, y es almacenada en un servidor tipo VAX. Para hacer operacional y funcional esta alternativa, ha sido necesario desarrollar una serie de programas de cómputo que corren bajo el sistema operativo VMS propio de las plataformas VAX.
- 2) Una computadora PC dedicada que vía módem se conecta en forma automática a la ciudad de Washington para traer la información previamente bajada del satélite en esa localidad. Esta alternativa ha llegado a ser operativa y funcional después de esfuerzos significativos canalizados en el desarrollo de sistemas computacionales que corren en plataformas MS-DOS, y que permiten el enlace automático y periódico vía módem.

Una vez en el SMN, la información es procesada para obtener datos que puedan ser consultados por los meteorólogos en la elaboración de sus boletines, por los administradores que analizan la calidad de la información, y por el público en general que lo solicite.

Para poder decodificar la información cruda, ha sido necesario desarrollar diversos sistemas computacionales que corren tanto en plataforma VAX como en plataforma MS-DOS. Una vez concluido el proceso de decodificación, el siguiente paso consiste en poner la información en la base de datos correspondiente. Esto se hace para el caso de WALLOPS como de SUTRON.

Administración de los datos

La administración de la información tiene como finalidad salvaguardar la integridad de los datos y ponerlos a disposición de los usuarios. Los procesos de administración consisten en lo siguiente:

- Sincronizar los procesos computacionales que procesan los datos crudos provenientes de las estaciones automáticas tanto para WALLOPS como para SUTRON

- Sincronizar los procesos computacionales que llevan la información de la plataforma VAX a la plataforma MS-DOS en el caso de SUTRON, y que llevan la información de Washington a uno de los servidores Novell del SMN, en el caso de WALLOPS.
- Calendarizar los procesos computacionales que llenan las distintas bases de datos.
- Calendarizar el proceso computacional que respalda en forma automática las diversas bases de datos.
- Cuidar que el tamaño de las bases de datos no crezca desmesuradamente, evitando con esto que las consultas sean lentas y que se llene el espacio de los servidores.

Explotación de los datos.

La explotación de la información proveniente de las estaciones automáticas, se da desde dos enfoques distintos:

- 1) *Enfoque del administrador de la información.* Bajo este enfoque se han desarrollado diversos programas de cómputo que en forma automática generan estadísticas sobre el desempeño de las estaciones automáticas. Asimismo ha sido necesario desarrollar aplicaciones que permiten la consulta de tales estadísticas. En la actualidad se trabaja en el desarrollo de software que permita el análisis más completo y detallado no solo sobre el desempeño de las estaciones automáticas, sino también que den luz sobre el flujo de datos desde ellas y la calidad de los mismos.
- 2) *Enfoque del usuario.* Bajo este enfoque se han desarrollado diversos sistemas computacionales que corren en plataforma MS-DOS, y que ofrecen la facilidad de consultar en forma rápida los valores de las distintas variables climáticas almacenadas en las bases de datos. Esta fuente de información constituye una herramienta de gran utilidad para el meteorólogo al momento de elaborar los distintos boletines difundidos por el SMN.

CAPÍTULO 2

DIFERENCIAS ENTRE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES A NIVEL MUNDIAL

2.1 LA IMPORTANCIA DE LAS COMPARACIONES

La Organización Meteorológica Mundial recomienda que cuando los servicios meteorológicos instalan equipos nuevos en sus redes, deben realizar pruebas de compatibilidad de los equipos *in situ*. Como las comparaciones en el terreno de los instrumentos existentes con los nuevos, duran por lo general las cuatro estaciones del año, la duración de la prueba mínima es de un año. Después de haber evaluado la serie de datos obtenidos, los resultados de las pruebas pueden exigir el nuevo diseño del producto. Puede requerir años el lograr una creación con éxito, antes de que pueda instalarse la red. Mientras que las pruebas de funcionamiento, se alargan de seis meses a un año, que es el tiempo que el personal a cargo se familiariza con estos sistemas

El Sistema Mundial de Observación recalca que si se tienen estaciones convencionales paralelas a las automáticas, y si las series de datos previos datan de algunas décadas, éstas han de prolongarse en el tiempo con los datos facilitados por las estaciones sinópticas automáticas, es indispensable realizar mediciones paralelas con las estaciones convencionales y por los métodos automáticos de observación, a fin de conseguir la continuidad de los registros. Un año de medidas paralelas no es suficiente; se necesita tres años como mínimo y de preferencia se debe llegar a los cinco años (OMM, 1991).

Después de la automatización parcial o completa de las estaciones, resulta frecuentemente difícil estimular a los observadores a que hagan observaciones paralelas. También ocurre que las limitaciones financieras exigen una reducción del número de estaciones en funcionamiento. En este caso se deben realizar observaciones paralelas durante un periodo suficientemente largo, cuando menos en un número seleccionado de estaciones automáticas (OMM, 1995).

Para aprovechar plenamente el funcionamiento de las EMAs, éstas deben tener la capacidad de adquirir datos a nivel horario, para ello se recomiendan periodos de muestreos de cada 10 minutos lo que permite hacer interpolaciones en caso de pérdida de información o averías temporales en el sistema. En estaciones parcialmente automáticas el tiempo de medida de 10 minutos permite un pequeño intervalo entre la medida automática y el registro complementario por el observador, sin influir mucho en la integridad del mensaje sinóptico.

En el SMN, estas recomendaciones se han llevado a cabo y hasta el momento se tienen instaladas 65 estaciones de las cuales aproximadamente 15 estaciones realizan un proceso de validación de sus datos. La oficialización de los datos de estas estaciones (la consideración de estos datos como válidos) depende de la verificación y validación tanto de los valores en si, como de las características de transmisión y del buen estado y funcionamiento de los sensores.

2.1.1 El control de calidad espacial y temporal.

El control de calidad de los datos a partir de las comparaciones con instrumental convencional se debe realizar a nivel temporal y espacial. El nivel temporal consta de la determinación de las diferencias entre ambos tipos de instrumental durante condiciones diurnas y nocturnas, así mismo es necesario la comparación de las diferencias encontradas estacionalmente.

De acuerdo a los resultados preliminares de algunas estaciones instaladas en el país con más de 2 años de funcionamiento, se ha observado que las diferencias encontradas con el instrumental convencional dependen de las condiciones climatológicas de los sitios de emplazamiento. Por ejemplo los sensores de temperatura han presentado diferencias menores en climas templados y diferencias muy elevadas bajo condiciones de climas cálidos. Es de esperarse un comportamiento parecido con las otras variables

2.1.2 Repercusiones en las actividades meteorológicas nacionales

Una vez que se lleguen a establecer las diferencias y las series homogéneas de datos. La información de las EMAs podrá ser utilizada sin problema para fines de pronóstico o climatológico. Dentro de los usuarios de esta información, están los investigadores que se dedican a estudiar las tendencias del clima a nivel regional o local.

Por otra parte la Organización Meteorológica Mundial ha establecido que para determinar el tipo de clima de un lugar o bien, para realizar estudios climáticos de una zona, es necesario contar con datos de por lo menos 30 años de observaciones consistentes en el tiempo. Para ello ha establecido la elaboración de las normales climatológicas de los países miembros de esta Organización. El periodo para las últimas normales es de 1950 a 1985, la siguiente emisión será de 1960 a 1990 en donde a nivel mundial se verán incluidos los cambios por instrumental de convencional a automático ya instalados en muchos países del mundo.

Existen instituciones a nivel internacional como es el Centro Nacional de Datos Climatológicos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) que se encarga del control de calidad de los datos a nivel internacional. Dentro de este control de calidad se encuentra la diferenciación de la inconsistencia de los valores debidos a cambio de instrumental o a cambios en los métodos de observación con la finalidad de construir bases de datos confiables disponibles para los investigadores a nivel internacional.

El presente estudio es una contribución a una parte del control de calidad de datos de las observaciones sinópticas para llegar a establecer la confiabilidad de las estaciones automáticas y su integración a las series históricas de la climatología de nuestro país que lleve a comprender más cabalmente las variaciones climatológicas naturales y antrópicas que se dan en nuestro territorio.

2.2 LA EXPERIENCIA DE LAS COMPARACIONES EN LOS SERVICIOS METEOROLÓGICOS DEL MUNDO

Rudei (1995) menciona que la automatización no es una idea de este siglo aunque desde 1960 se instaló el primer sistema automático. Ya en 1870 Olland desarrolló por sugerencia de Buys-Ballot, un instrumento llamado telemeteógrafo con el cual las mediciones meteorológicas se podían transmitir por el telégrafo a los centros meteorológicos. Por los mismos tiempos se desarrolló un instrumento similar en Bélgica, el sistema completo no fue exitoso debido a los altos costos de instalación y servicio.

Por otra parte, Simidchiev (1980), menciona que la historia de la automatización en meteorología comenzó de 1940 a 1945 en algunos países desarrollados para obtener información de zonas deshabitadas como el Artico y las montañas Pamir y la zona costera de Florida visitada por los huracanes. Sin embargo estas ideas no maduraron sino hasta mediados de los sesentas con los esfuerzos de la OMM de automatizar la medición de las variables meteorológicas. Desde entonces, los resultados de la automatización y su evaluación la han realizado los países altamente desarrollados, que incluso fabrican este tipo de sensores.

A continuación se presenta una revisión cronológica de la experiencia de algunos países con la operación de estaciones meteorológicas automáticas.

2.2.1 Década de los setentas

Alemania Oriental

La necesidad de la automatización comienza de manera más generalizada en los países desarrollados en la década de los setentas. De acuerdo a Klemm (1975), la automatización tenía como fines principales:

1. La necesidad de mediciones de más alta calidad
2. La estandarización de las medidas y los métodos de medición.
3. Incrementar la frecuencia de las mediciones
4. La reducción de los costos
5. La reducción del personal observador
6. Incrementar la densidad de las estaciones a 30 o 40 Km de distancia media

Para ello se establecieron estaciones de cuatro categorías:

Estaciones de categoría I. Estaciones automáticas con una plantilla completa para observaciones para propósitos especiales.

Estaciones de categoría II. Las observaciones visuales o sensoriales las realizarían los observadores durante el día y las instrumentales sería medidas por la estación automática. En las noches la estación se mantendría trabajando.

Estaciones de categoría III. Estaciones con equipo automático y sólo un observador durante el día

Estaciones de categoría IV. Sólo operan con una estación automática.

Los problemas de homogeneización de series meteorológicas y climatológicas eran solucionados por medio de dos comparaciones diarias entre instrumentos automáticos y convencionales que eran procesados en sus computadoras.

ANTIGUA URSS

Rozdestvenskii (1975) hizo una comparación de los datos enviados cada tres horas (informes sinópticos) por las estaciones convencionales con los datos de las estaciones automáticas obtuvo las siguientes diferencias:

Temperatura:	$\pm 0.8^{\circ}\text{C}$
Presión atmosférica:	$\pm 1 \text{ hPa}$
Dirección del viento:	$\pm 10^{\circ}$

Velocidad media del viento: $\pm 1\text{m/s}$

Cantidad de precipitación: $\pm 5\%$

En esos años, el autor indica que es difícil que se llegue a una total automatización de las mediciones, ya que las variables de la cobertura nubosa, el tipo de nubes y la presencia de fenómenos diversos como: tormentas, tormentas de nieve, precipitaciones sólidas, etc., no podían ser medidas por una estación automática ya que no existía un instrumento capaz de hacerlo. Se hablaba sobre la necesidad de llevar un control de calidad de estas estaciones que combinaban las observaciones visuales con las automáticas en el llamado: sistema de observación hombre-automático (man-automatic observational system)

2.2.2 Década de los ochentas

Estados Unidos de América

Acheson (1980) señala los problemas que representaba la automatización total de las redes de observación. Hasta los principios de los ochentas aún había problemas para la medición de los elementos de medición sensorial del estado del tiempo. Se contemplaba la posibilidad de integrar un mensaje codificado que contuviera tanto los elementos medidos por una estación automática como los elementos interpretados por el observador y que dicho mensaje fuera transmitido por computadora. Se habían estado probando equipos que medían visibilidad y característica de la precipitación, pero el costo tan elevado hacía suponer que la automatización total se tendría a mediados de los ochentas

Los problemas que se habían presentado hasta ese entonces con las estaciones automáticas eran:

- a) Las observaciones sensoriales o subjetivas eran difíciles de automatizar
- b) El mercado de equipo automático en Estados Unidos no era lo suficientemente fuerte como para mantener a toda una industria
- c) Problemas del costo de cada estación, la instalación y el software de operación.

Canadá

Bourke y Cuawenberghe (1980) mencionan que los problemas en el tratamiento de la información proveniente de las estaciones automáticas se deben a sus características técnicas y sus requerimientos de mantenimiento. Por ejemplo en Canadá, la primera generación de estaciones automáticas data de los sesentas, que no implicaban la transmisión de sus datos, sólo eran almacenados *in situ*. La segunda generación de estaciones surge en los setentas con el desarrollo de las plataformas recolectoras de datos (DCP), que implica el uso de energía solar y de transmisiones vía satélite.

Se planeo la instalación de 64 estaciones de los siguientes tipos:

- MARS-I De la primera generación que comunicaban horariamente sus datos por medio de sistemas de comunicación terrestres. Se localizan 13 estaciones en total en sitios donde existe falta de datos.
- MARS-II De la segunda generación, con datos transmitidos horariamente y que dependen de una computadora central y 39 estaciones en total situadas en donde el personal pueda interrumpir los programas..
- MARS R Cuentan con una DCP para comunicaciones remotas, cuentan con supervisión humana en sitio con 12 estaciones en total.

Para Canadá la experiencia de 20 años con estaciones automáticas ha demostrado una disminución en los costos de operación y en el aumento de cobertura de datos, sobre todo porque en las regiones remotas no se tiene otra posibilidad de la adquisición de datos meteorológicos que con sistemas automáticos. Sin embargo existen limitaciones en la operación e estos sistemas, por ejemplo:

- a) Todas las estaciones dependen de una computadora central
- b) Los distintos tipos de estaciones, requieren de distintos sistemas de procesamiento y operación
- c) El acelerado paso de la tecnología, modifica tanto las estaciones automáticas y las hace obsoletas aún antes de ser instaladas.

URSS

Manuilov (1980) menciona que las estaciones automáticas pueden dividirse en dos grupos:

- a) Aquellas que se utilizan para fines especiales como en la industria, agricultura, construcción transporte, etc.

b) Aquellas que se utilizan para fines climatológicos y meteorológicos

Tras la operación de estaciones automáticas por diez años se observaron los siguientes puntos de comparación entre estaciones automáticas y convencionales:

Tabla 2.1 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES EN LA URSS

(Manuilov, 1980)

<i>Convencional</i>	<i>Automática</i>
Se pueden hacer observaciones sensoriales de fenómenos meteorológicos de acuerdo a las claves y manuales existentes	Se mide un número restringido de variables y no miden los fenómenos meteorológicos
El equipo es simple y de fácil operación y lectura	El equipo es complejo y caro y requiere mantenimiento constante.
No se realizan observaciones continuas en el tiempo, las cuales están supeditadas a horarios específicos	Observaciones más continuas
Un observador poco cuidadoso puede falsificar las mediciones	Completa objetividad en las mediciones.

Se contempló la posibilidad de seleccionar algunas estaciones manuales donde el personal fuera mínimo y completar el programa de observación en horarios nocturnos con una estación automática.

Bulgaria

Smidchiev (1980), pregunta ¿Cómo puede un usuario potencial de la automatización, sin producción de datos y sin experiencia en este campo, decidir sus propias líneas de desarrollo?

Primero se tiene que determinar las características de cada sensor: su precisión, su respuesta, su durabilidad, la relación sensor - algoritmo (parámetro medido - señal) su capacidad de intercambio, su costo y requerimientos de energía. Smidchiev (*op. cit*) revisó varios tipos de sensores y caracterizó su prioridad de uso, es decir cual cuenta con las características mencionadas en el capítulo 1 mismos que se mencionan en las siguiente tabla:

TABLA 2.2 PRIORIDAD DE USO DE LOS SENSORES AUTOMÁTICOS

(Smidchiev, 1980)

Parámetro medido	Tipo de sensor	Prioridad de uso
Temperatura	De resistencia de platino	1
	Termistor (respuesta exponencial)	3
	Termistor (resistencia lineal)	2
	Bimetálico	4
Humedad	Higrometro de cabellos	3
	Pernix	4
	LICI de calda húmeda	1
	Óptico	6
	Psicrómetro	2
	Humicap	5
Presión	Barómetro de mercurio	2
	Cápsula aneróide	1
Intensidad del viento	De copas	1
	Propela	2
Dirección del viento	Veleta	1
Precipitación	De balancín	1
	De balanza de peso	3
	Volumétrico	2
Techo de nubes (altura de la base)	Cielómetro de rayo rotativo	1
	Lidar	2
Insolación	Termopila	1

La mejor estación será la que sea de fácil mantenimiento y operación y a bajo costo. Sin embargo no hay mejor categorización que la que se basa en el uso y manejo de sus datos.

Los costos deben caracterizarse en los siguientes rubros:

- a) Capital invertido (equipo accesorios, importación y transportación)
- b) Costo de la automatización (condiciones de sitio, condiciones técnicas, energía, etc)
- c) Instalación
- d) Operación
- e) Mantenimiento
- f) Capacidad de adquisición de datos

- g) Numero de canales
- h) Programación
- i) Procesamiento de datos
- j) Memoria y capacidad de expansión
- k) Protección al medio ambiente
- l) Sensores fuera de contrato de mantenimiento
- m) Programas contra fallas más comunes.

Alemania del Este

Klemm (1980) obtuvo resultados de una comparación de estaciones de categoría III (con un observador) y dos estación automática la M106M y la AFMS. Estas pruebas fueron llevadas a cabo de manera simultánea con la Unión Soviética de 1976 a 1977. Esta estación estaba instalada en Berlín. Las comparaciones se realizaban dos veces al día. La estación M106M funcionó el 99.7% del tiempo de pruebas, mientras que la AFMS funcionó en un 98.7%. El resultado mostró una alta consistencia en ambas estaciones.

Al comparar las dos estaciones automáticas se tuvieron los siguientes resultados:

Temperatura del aire:	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Temperatura de punto de rocío:	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
Intensidad del viento:	$\pm 2\%$
Dirección del viento:	$\pm 45\%$
Presión atmosférica:	$\pm 1\text{hPa}$

El 35% de los valores de las diferencias de temperatura fueron entre 0 y 5°C, 10% de 0.5 a 1.0°C y 1% arriba de la tolerancia de 1°C. Debe mencionarse que estas tolerancias se utilizaban en la década de los 80. Con relación al punto de rocío el 59.4% con diferencias entre 0-1°C, 40.2% de 1 a 2°C y 0.4% con más de 2°C sin embargo los parámetros de viento estuvieron por arriba de las diferencias permisibles de $\pm 3\text{m/s}$, esto se debió a que la sensibilidad del sensor de la AFMS fue reducida intencionalmente. Los valores de las diferencias de la presión fueron por arriba de 1.0 hPa en un 76.8% debido a imperfecciones en el sensor, el cual fue eliminado al finalizar este estudio.

Los resultados durante los dos años de comparación entre las dos estaciones automáticas y la convencional que obtuvo Klemm (1980) son los siguientes:

**TABLA 2.3 COMPARACIONES ENTRE ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES
EN ALEMANIA
(Klemm , 1980)**

DIFERENCIA	AÑO	TEMPERATURA	PUNTO DE ROCIO	VELOCIDAD DEL VIENTO	PRESION	PRECIPITACION
M106M-CONV	1976	-0.32	-0.07	0.39	0.18	-0.09
	1977	-0.11	-0.11	-0.23	0.41	-0.05
AFMS-CONV	1976	0.04	0.05	-	0.04	-
	1977	0.03	0.04	1.56	0.20	0.17

Estados Unidos de América

Short (1980) menciona que en el Servicio Meteorológico de los Estados Unidos de América existen alrededor de 1,200 empleados en las observaciones del tiempo en 260 estaciones, con métodos de observación que datan desde los tiempos de Thomas Jefferson. Todas las tareas que un observador lleva a cabo le toman el 25% de su tiempo, este puede llegar al 50% en día con estado del tiempo cambiante o en época de emergencias meteorológicas. Hoy en día la automatización puede llegar desde los instrumentos meteorológicos hasta la transmisión y procesamiento de la información. Short (*op. cit*) menciona que la época de la total automatización de las estaciones meteorológicas estaba prácticamente a la vuelta de la esquina ya que se habían estado probando desde 1978 nuevos instrumentos para medir visibilidad, techo de nubes, tipo de precipitación y que sólo faltaría el desarrollo de los sensores de niebla, tormentas eléctricas, fenómenos de obstrucción a la visibilidad, lluvia engelante, y cobertura de nieve.

Reino Unido

Pettifer (1981) realizó una reflexión respecto a la introducción de estaciones automáticas y los métodos nuevos que implica su procesamiento. También mencionó que la mayoría de los fabricantes se desvían del principio tradicional de los instrumentos y de sus métodos de medición, por lo que el tratamiento de la información genera nuevos problemas. Un ejemplo de esto son las radiosondas automáticas, en donde muchos han tratado de implementar una serie de análisis semi-subjetivos que generalmente se hacen en los sistemas manuales, lo que en muchas ocasiones requiere software muy sofisticado, o simplemente no se puede realizar. Por ello, en la automatización, es mejor preguntarse: "¿Cómo puedo hacer esta observación automáticamente?" que "¿Cómo puedo automatizar esta observación?" (Pettifer, 1981).

El problema de los meteorólogos, no es la precisión o la resolución de los nuevos sistemas automáticos, sino su consistencia. Al introducir o cambiar un sensor ¿qué modificaciones se introducirán en los registros de largo periodo?. O ¿si se utiliza el mismo instrumento pero los periodos de muestra son diferentes, como se pueden manejar los datos para tener el mismo tipo de mediciones que se tenían antes?.

Pettifer (1984) hace patente que muchos sistemas llamados "automáticos" tienen componentes que requieren la intervención humana. Los sistemas que no requieren intervención humana son los sistemas a los que se aplica en término "automáticos". El autor menciona una serie de conclusiones en la implementación, monitoreo y funcionamiento de los sistemas automáticos.

Pettifer (*op. cit*) también hace una reflexión sobre la fidelidad de los datos que los usuarios reciben de estos sistemas. La realidad es que no se pueden tener sistemas alternativos o paralelos a los automáticos, sobre todo si se encuentran en lugares alejados, cercanos al polo norte, y que son básicos para los modelos de pronóstico numérico de primera aproximación del Centro Meteorológico Europeo.

Acerca de la disponibilidad de los datos se determinó que la red británica de estaciones es de un 90%, y es tan importante porque de ella dependen los pronósticos para el norte de Europa y su transferencias a los centros meteorológicos mundiales. Es esencial que la red sea atendida en caso de falla con prontitud y eficiencia para lo cual se necesita: personal técnico preparado con suficientes refacciones probadas. En el Reino Unido los costos de mantenimiento y refacciones se calcularon del 30 al 50% más del costo total del equipo comprado para la red. Pettifer (*op. cit*) dice que "es más importante gastar recursos en infraestructura necesaria para mantener una pequeña red automática que ampliar la red sin una estructura de soporte técnico". Este mismo autor menciona como alternativa, la posibilidad de integrar un sistema de corrección de fallas de los sensores mediante sistemas de comunicaciones y software desde una estación central. Es necesario también que se instale un sistema de monitoreo de la información en tiempo real con un control de calidad de los datos.

Yugoslavia

Koracin (1984), reporta la construcción de una estación yugoslava con la posibilidad de promediar los valores obtenidos cada 20 minutos, desplegarlos y almacenarlos en una cinta magnética. Esta estación se instaló en la localidad de Krsko en las costas del Adriático de 1980 a 1982. Durante estos dos años de operación la estación funcionó sin mayores problemas. Cada mañana se cargaba la batería se tomaban adicionalmente los datos de los instrumentos convencionales para fines de comparación. Una vez llena, la cinta con los datos se transferían a las oficinas del Servicio Meteorológico donde se copiaban en una computadora central. Cada seis meses, el sensor de cabellos se remplazaba para fines de calibración y limpieza. Los sensores de viento fueron remplazados cada año ya que se acumulaban sales en su interior. Los conectores también se reemplazaron cada año, debido al mismo problema.

Francia

Treussart (1984) dice que todo parece indicar que en el futuro, la mayoría de los datos meteorológicos de superficie provendrán de equipos automáticos y los meteorólogos tendrán que adaptarse a los nuevos métodos de observación a su despliegue y a su procesamiento.

Los sistemas meteorológicos automatizados se ha influenciado por el progreso en los microprocesadores y sistemas de telecomunicación satelitales. Se han simplificado los circuitos de las estaciones, se ha disminuido la complejidad de su software y se ha reducido el consumo de energía. Ahora existen más estaciones con datos a intervalos de tiempo mas cerrados que antes y por lo tanto aumenta el número de datos a procesar. Este problema se puede solucionar con una computadora a nivel central que interrogará a cada estación periódicamente, procesan su información y transmiten sus mensajes codificados de acuerdo a las normas establecidas. Intencionalmente.

Las estaciones climatológicas tendrán un dispositivo de grabado de datos en un disco que será reemplazado periódicamente. Estas estaciones pueden estar conectadas a un sistema central, mediante el cual se les puede interrogar en caso de algún fenómeno meteorológico especial.

Las estaciones automáticas vienen a aliviar las dificultades de reclutar personal observador y el gran costo de las observaciones convencionales continuas. Los cálculos de costo/beneficio de las observaciones convencionales son difíciles de calcular, sin embargo la OMM ha declarado que los costos de observación son limitados y fragmentados. Esto varía dependiendo de las condiciones económicas de cada país. Sin embargo se puede ver que para muchos países, mantener una red con observadores las 24 horas, representa dificultades económicas. La mayoría de los países con estaciones automáticas, están reemplazando sus observaciones nocturnas con estaciones automáticas.

Egipto

Entre los principales problemas que enfrenta un país en desarrollo al instalar una red de estaciones automáticas está el de la preparación de las especificaciones técnicas, ya que al realizarlas se debe considerar, el ambiente en el que se instalarán, las condiciones de suministro de energía, las líneas de comunicación: teléfono, radio, etc. El equipo de mantenimiento debe ser del país y debe saber operar, mantener y reparar el equipo. Debe existir un programa de ajuste y calibración periódica así como de mantenimiento en estaciones remotas (Abd-elhamid ,1988).

2.2.3 Década de los noventa

Francia

Según De Bosschere (1995), el centro meteorológico Météo-France realiza un control de calidad de su red automática de observación y se basa en la inspección cercana de su funcionamiento y han desarrollado un sistema de instrumentos automáticos auto-inspeccionados. Este sistema llamado CIBUS permite:

- Supervisar el estado del sensor (operando o no operando)
- La selección o no selección de los instrumentos
- Defectos de configuración, deficiencia en el suministro de energía.

Esta evaluación es importante para revisar la deriva de algunos instrumentos como por ejemplo el barómetro automático que presenta una mayor deriva con respecto a los antiguos barómetros de mercurio. En algunos casos el uso del "equipo de control de la presión" integrada en algunos sensores los algoritmos de coherencia y es capaz de mostrar ajustes y realizar medidas más reales.

La supervisión debe ir más allá del mantenimiento correctivo debe prevenir posibles fallas futuras. Se lleva a cabo una revisión de los datos de cada estación comparándolos con los datos de las estaciones cercanas para verificar su homogeneidad.

Leroy (1995) indica que con las estaciones automáticas los observadores ya no dedican el 100% de su tiempo a la observación, esto lo realiza cada vez con mayor eficiencia una estación automática. Ahora están más ocupados en la climatología, el pronóstico y estudios específicos. Sin embargo, muchos de ellos tienen poco cuidado en el instrumental ya que no hay motivación para su manejo ya que son "automáticos" En la actualidad en todo el país todas las estaciones tienen una estación automática y cuentan con uno o dos observadores en las horas del día. Existe una red nacional y varias redes regionales. La red nacional es de intercambio internacional y las regionales para pronósticos y estudios locales.

Los barómetros y los higrómetros tienen que reemplazarse sistemáticamente cada año. Los pluviómetros en lugares con polvo o arena se tapan fácilmente. Así mismo se tuvieron problemas en la instalación de las estaciones, principalmente con los sensores de viento en donde no fue posible seguir la regla de dejar un espacio de 10 veces la altura del obstáculo más cercano. Sin embargo se buscó que la estación fuera protegida y que existiera supervisión humana la mayor parte del tiempo.

Las estaciones climatológicas (3000) cuentan con una estación automática y un observador voluntario que realiza medias con instrumental convencional. Para 1996 se esperaba la completa automatización de estas estaciones y considerarlas como estaciones sinópticas para fines de pronóstico.

Finlandia

Elomma y Valkovuori (1995), mencionan que las estaciones automáticas fueron instaladas en 1973 inicialmente en áreas de los archipiélagos y en zonas árticas. Al principio se utilizaron sólo para complementar información, hoy en día estas estaciones están sustituyendo a las estaciones climatológicas manuales. Las estaciones utilizan un sistema de transmisión de datos vía módem a una computadora VAX/VMS que recibe hasta 16 llamadas simultáneas. Este sistema realiza el control de calidad de los datos y codifica los mensajes sinópticos y se transmiten a todo el mundo por el sistema internacional de telecomunicaciones.

En Finlandia el intervalo de mantenimiento y calibración es de 12 meses, esto quiere decir que cada sensor debe trabajar y estar libre de fallas y de mantenimiento y mantener su calibración durante un año para que sea aceptado.

Al realizar calibraciones con sensores de humedad, temperatura (PT100) y presión atmosférica para un año las diferencias obtenidas fueron de 1%, $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ y ± 0.1 hPa respectivamente. Se ha descubierto que dentro de las series de datos de estaciones que han sufrido cambios de instrumental convencional a automático no es fácil ver las diferencias cuando se trabaja con datos medios mensuales es necesario hacerlo con periodos de diez días. Sin embargo, se tienen problemas cuando en esas serie se quiere estudiar variables como la visibilidad y otras variables sensoriales que antes eran obtenidas por observadores

Se concluye que la automatización total de las estaciones es inevitable y se propone que en cada estación exista un observador que realice un "control sinóptico" de los datos de la estación una vez al día. En algunas estaciones se envían tanto los datos de la estación automática como los de la convencional para demostrarle al usuario el nivel de precisión de las medidas.

Eslovaquia

La automatización comenzó más tarde que en todo el centro y este de Europa ya que en 1991 se inició la instalación una red automática de estaciones. El principio era la creación del llamado "Lugar de trabajo automático del observador" (Automate Workplace of the observer) en esta primera etapa se automatizaron las mediciones instrumentales y la transmisión de informes METAR y SYNOP. La siguiente etapa fue el llamado "lugar de trabajo integrado del observador" (Integrated Workplace of the observer IPP) En esta etapa el observador se puso en posición de controlar el sistema gradualmente cada vez menos y menos en el proceso de mediciones, procesamiento y transmisión de los datos (Gajar y Ondras, 1995).

En 1991 se instalaron las nuevas estaciones con instrumentos de temperatura, dirección y velocidad del viento, temperaturas del suelo, duración de la insolación y evaporación. Los sensores miden cada 2 o 3 segundos. Se instalaron estaciones MILOS 500 con un régimen de operación completamente automático con la posibilidad de la codificación de informes SYNOP y METAR. En el caso de que la estación tenga fallas se pueden almacenar los datos de cada minuto por aproximadamente una semana. Estas estaciones también pueden codificar mensajes CLIMAT y el observador puede supervisar los datos y puede corregirlos en caso de encontrarse errores o si existen diferencias con otros instrumentos convencionales de la estación.

Los datos de estas estaciones son utilizados para fines climatológicos considerando los valores de las 7, 14 y 21 horas locales y son transmitidos tras la revisión del observador, esto quiere decir que las observaciones manuales tienen absoluta prioridad con respecto a los datos automáticos.

Suiza

Kiene (1995) hace una descripción del procesamiento de los datos de las estaciones meteorológicas (125) los datos y que se recolectan vía módem. Este sistema recibe información de cada 10 minutos en una computadora central que realiza un control de calidad estos datos y se mandan a una base de datos con programas de control de calidad de datos más específicos, si se detecta algún valor sospechoso se puede corregir manualmente y posteriormente se mandan a otra base de datos para que realice la homogeneización de estos. Otro sistema paralelo detecta problemas físicos de los sensores y se manda al equipo de especialistas en reparación de instrumental.

Cada encargado de las estaciones puede enviar de manera codificada un mensaje con la revisión que se ha hecho de la estación mientras que la computadora central realiza las siguientes pruebas:

- a) que los datos estén completos
- b) pruebas de los límites de intervalos de medición de cada parámetro y de cada estación.
- c) consistencia de los datos. Por ejemplo: existe lluvia y no existe insolación.
- d) variabilidad. La secuencia de aumento o descenso de los valores a lo largo del día.

La inconsistencia de los datos y la homogeneidad consiste en revisar las serie de los parámetros de 1961 a 1990 se prueban las inconsistencias de los datos en parte automática y en parte manualmente. Para detectar éstas se toman por ejemplo, las diferencias de 3 días específicos de temperatura convencional de este periodo y se restan las diferencias con los datos automáticos dentro de la serie de la estación a partir de su cambio a automática en algunos casos van de -1.0°C a -1.8°C . Para notar más fácilmente los contrastes se suman las diferencias de todo el año con respecto a la serie de datos automáticos

Estados Unidos de América

Nadolski (1995) indica que en 1994-1995 se instalaron 500 de los 800 sistemas automáticos de observación en los aeropuertos de los Estado Unidos. Los datos se despliegan en la torre de control donde se tiene la capacidad de transmitir vía radio a las aeronaves que los soliciten, también existe una salida de voz vía telefónica de la estación a quien los solicite y se realiza la codificación de los informes METAR. Estas estaciones miden también la altura de las nubes hasta 12000 pies, visibilidad a 10 millas, tiempo presente, intensidad de lluvia y nieve, niebla. velocidad y dirección del viento, temperatura, punto de rocío, presión reducida, presión y precipitación.

Dentro de la experiencia con estas estaciones destaca el entendimiento del sistema por parte del usuario. Una estación automática no provee exactamente la misma información que la generada por una estación manual. Mientras las observaciones automáticas ofrecen grandes beneficios a cualquier servicio nacional, incluyendo los económicos, su valor y aceptación dependen de los usuarios. Algunos de estos usuarios incluyen a los previsores, pilotos, controladores de tráfico aéreo, climatólogos, investigadores y los medios televisivos.

Una de las mayores ventajas es la consistencia de la observación. La experiencia muestra que hay variabilidad entre observadores humanos que pueden ser diferentes entre dos observadores entre sí, particularmente con los datos de condiciones del cielo y visibilidad. También se reconoce que el observador tiene dificultades para realizar observaciones nocturnas. Un sistema automático presenta consistencia de sitio a sitio y de día o de noche. El éxito en la instalación de una red de este tipo consiste en la aceptación de estas diferencias.

Los sensores de visibilidad y del techo de nubes han sido los más difíciles de automatizar y de comprender por parte de los usuarios. Sin embargo en los últimos 4 años los usuarios se han familiarizado con su funcionamiento.

De los 500 sistemas, sólo se han comisionado 50, en parte por la falta de aceptación de un nuevo tipo de observación, y esto se debe a la falta de educación o preparación de los mismos operadores en materia de automatización. Es importante que antes de la instalación misma se lleve a cabo un programa de capacitación en los sitios donde se van a instalar los sistemas. La educación y el entrenamiento son tan importantes como la propia instalación de este tipo de redes.

Austria

Rudel (1995), menciona que con la llegada de los microprocesadores en los setentas hubo un desarrollo de sistemas a bajo costo y un aumento en el desarrollo del software. En Austria se inició la automatización en los setentas y en 1981 se reemplazaron las estaciones climatológicas convencionales con estaciones parcialmente automáticas. Estas almacenan información de manera local y se envían cada mes a las oficinas centrales.

En 1981 se realizó la primera prueba de las estaciones meteorológicas con datos de cada diez minutos y se envían a los centros meteorológicos regionales. La mayoría de las estaciones climatológicas y sinópticas en Austria son operadas por una persona voluntaria. Hoy en día es imposible encontrar personal que se hagan cargo de todos los instrumentos. Ahora, con las estaciones automáticas, los observadores sólo observan el estado del cielo, visibilidad y fenómenos atmosféricos.

Dentro de los diez años de operación de las estaciones automáticas se concluyó que la mayoría de las fallas se debía a las interrupciones de la energía eléctrica. La otra falla se deba a problemas con los sistemas de comunicación. Se realizaron también estudios de inhomogeneidades de las serie de datos climatológicas. Como resultado se tiene que en el caso de las temperaturas no hay diferencias sistemáticas en las medias mensuales. En el caso de la humedad se observó que solo en áreas por debajo de los 1500 m de altitud, los nuevos sensores muestran buenos resultados si se les da buen mantenimiento. En cuanto a la presión del aire tiene buenos resultados con sensores caros y malos con sensores baratos. En el caso de la precipitación, en lugares montañosos dieron un rendimiento muy pobre.

Hungría

En Hungría se instalaron cinco estaciones MILOS 500 en 1993 y siete más en 1994, y según el servicio meteorológico se debe estudiar los siguientes aspectos de la modernización de las redes de observación (Németh, 1995).

- a) Aspectos financieros, como costos de inversión y costos de operación.
- b) Sistemas técnicos de operación, como frecuencia de fallas, mantenimiento, calibración, etc.
- c) Métodos de operación (asistencia supervisada de un observador en el día y la lectura)
- d) La homogeneidad de las series de datos después del cambio de instrumental

Para realizar este último objetivo se decidió realizar intercomparaciones en campo una vez instaladas las estaciones. Se compararon cuatro estaciones. Se realizaron las comparaciones con los siguientes instrumentos (Tabla 2.4).

TABLA 2.4 TIPOS DE SENSORES TRADICIONALES Y AUTOMÁTICOS EN HUNGRIA
(Németh, 1995)

PARÁMETRO	SENSOR DE MILOS 500	SENSORES TRADICIONALES
VIENTO	WAA15A	ANEMÓMETRO
PRESIÓN	DPA21(CAPSULAS ANEROIDES)	BARÓMETRO DE MERCURIO
HUMEDAD	HUMICAP	PSICRÓMETRO
TEMPERATURA	PT100	TERMÓMETRO DE MERCURIO

Se calcularon las medias mensuales y las desviaciones estándar de cada mes de las comparaciones y se muestreó casi un año.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

- a) Para el viento horario se encontraron ligeras diferencias sistemáticas alcanzando 10% en alguna estación como valor máximo.
- b) Las diferencias en las rachas del viento fueron menores de 1m/s
- c) Las diferencias de presión fueron de 0.5 hPa, las diferencias se mantienen estables con el tiempo.
- d) Existió inconsistencia en los datos de humedad.
- e) La temperatura no presentó diferencias significativas (0.2°C)

2.3 METODOLOGÍAS COMUNMENTE UTILIZADAS PARA LAS COMPARACIONES

A continuación se detallan las metodologías empleadas actualmente para comparar datos provenientes de una EMA con los de instrumental convencional.

Cornick (1993) comparó visibilidad y techo de nubes, que son observaciones sensoriales para 16 estaciones de la región central de los Estados Unidos, con observaciones simultáneas de aproximadamente un año en cada estación. Su técnica consistió en construir diagramas de apertura en donde se localizaban las regiones en donde las observaciones sensoriales y las de la EMA coincidían en un 92% o más. También discriminó entre los resultados obtenidos bajo condiciones de precipitación y niebla que constituyen una obstrucción a la visión del observador. Se obtuvo como resultado que las mediciones coincidieron en un 86% pero bajaba a un 60% bajo condiciones de niebla.

Crosby (1993) comparó la identificación de precipitación, la temperatura ambiente y la visibilidad con la finalidad de mejorar los instrumentos automáticos al encontrar en ellos algunas deficiencias. Para la identificación de la precipitación se utilizó un Identificador de Tiempo de Diodo de Emisión de Luz (LEDWI). Este se basa en el reconocimiento de patrones de oscilación causados por la caída de la precipitación en un volumen de muestra. Este sensor puede tener falsas alarmas cuando existen insectos en la muestra de aire del sensor. Esto se solucionó colocando pintura repelente a los insectos al área de muestreo del sensor. En el caso de la temperatura se reportaron temperaturas máximas más altas bajo condiciones de alta insolación.

Millier (1993) de la NOAA, realizó un control de calidad horario para los datos proveniente de estaciones automáticas. Este procedimiento se realizó a nivel espacial comparando los datos de cada estación con sus 5 estaciones vecinas. Para determinar si una estación es errónea se basa en un modelo de malla anidada.

Easterling (1993), realizó un estudio comparativo de las temperaturas extremas en estaciones de primer orden (sinópticas internacionales) desde el periodo de 1980 a 1992. En la década de los ochentas se realizaron cambios de instrumentos higrotermométricos en estas estaciones y en 1992 se instalaron las EMA. Se encontraron discontinuidades artificiales en los registros de temperatura ya que se observaron temperaturas mínimas más bajas y máximas más altas que las de la serie climatológica histórica de dichas estaciones.

Para este estudio se manejaron promedios mensuales de las temperaturas extremas del periodo 1951-1990 como referencia. Se compararon los valores año con año de cada estación contra una serie homogénea de las cinco estaciones más cercanas a cada estación. Se procedió a analizar el cambio para 40 meses antes y 40 meses después del cambio de instrumental.

Con las series de referencia (de cinco estaciones) y las series de cada estación muestreada se originaron las series con las diferencias de temperaturas extremas. Los resultados arrojaron un aumento de 0.15 °C en las temperaturas máximas y una disminución de 0.2 °C en las mínimas. Estas diferencias se explicaron por el exceso de calentamiento que sufrían los nuevos sensores en el día y el cambio brusco de radiación al anochecer. Los sensores convencionales al permanecer en un abrigo se exponen a una variación menos brusca en la temperatura del aire muestreado.

Blackburn (1993) atribuye al cambio de instrumental los llamados cambios climáticos de 400 estaciones de los Estados Unidos de Norteamérica. En este estudio se procedió a comparar las temperaturas máximas y mínimas obtenidas con instrumental convencional y automático. Sin embargo, a diferencia del estudio de Easterling (1993), Blackburn determinó las posibles causas de estas diferencias. Una de las posibles causas de error es la separación de las columnas de mercurio y alcohol en los termómetros de máxima y mínima respectivamente. El alcohol en los días de verano tiende a evaporarse dentro del termómetro y se condensa después en las paredes del mismo, esto ocasiona una separación de la columna a veces imperceptible que ocasiona errores en la lectura. En el caso de los termómetros de máxima el mercurio tiende a separarse y es más difícil de volver a unir la columna, en ocasiones la lectura puede ser mayor a la real.

Otro de los errores se debe a la existencia de vegetación alta a los alrededores de la estación. En el caso de las estaciones estudiadas se encontró que las temperaturas máximas son menores en 0.4 °F, y las temperaturas mínimas son menores en 0.2 °F. El efecto de la insolación parece ser el más importante, para días soleados o parcialmente nublados, la máxima fue más alta y la mínima fue más baja. Las diferencias se reducen con días nublados.

Los resultados se mostraron en gráficas para cada estación para todo un año de comparaciones. Adicionalmente se observó que aproximadamente a los 6 meses de la instalación de los nuevos equipos, fue necesaria la re-calibración ya que algunos derivaban en sus valores tras los cambios de estación. Este autor propone que para los estudios de cambio climático sean excluidas aquellas estaciones a las que las alcanzó la urbanización y aquellas en donde los errores antes mencionados se hayan detectado (Blackburn, 1993).

Croft (1993) realizó comparaciones sobre el impacto de la instalación de equipos automáticos de temperaturas extremas en la estación de New Brunswick en New Jersey. De esta estación se compararon 8 años de temperaturas máximas y mínimas. Se realizaron las series un análisis estadístico paramétrico estándar. Como resultado se obtuvo una disminución en las máximas de 0.6°C y un aumento en las mínimas de 0.3 °C, lo contrario que los autores anteriores. En general la estación presentó una disminución de 0.8 °C en su temperatura media. Aplicando las pruebas de t de student se obtuvo que las lecturas convencionales y automáticas difieren en un 1%. Obviamente, a lo largo de los ocho años, las diferencias fueron cambiando

En el caso de estudios de comparaciones entre instrumental automático y convencional la OMM recomienda tener en cuenta que los datos suministrados por los sistemas automáticos no son idénticos a los que obtiene un observador, sobre todo si se trata de datos sensoriales como la nubosidad y la visibilidad, ya que hay algunas estaciones automáticas que cuentan con sensores electrónicos para la determinación de estos parámetros. La observación de variables sensoriales, dependen de una diversidad de factores fisiológicos y psicológicos del observador, su habituación a los objetos y su desplazamiento, y por la noche la adaptación de los ojos a las condiciones del entorno.

Uno de los problemas que se presentan es la falta de energía, el autor menciona que este problema debe solucionarse, ya que se ha encontrado que cada estación debe verificar su batería cuando menos cada seis meses. Debe además tenerse en mente la capacidad de servicio con las que deben contar estas estaciones y la prontitud con la que se atienda cualquier desperfecto.

Como se puede observar, es inminente la necesidad de automatizar las redes de observación tanto en países desarrollados como en los subdesarrollados, en aquellos; para aumentar sus ya de por sí densas redes, y por ir a la vanguardia de la tecnología y alimentar sus modelos de pronóstico del tiempo y cambio climático; y en los últimos para ahorrar costos de operación de las decayentes estaciones convencionales y para expandir sus redes en aquellas áreas de interés y poco accesibles.

Cada país y cada autor divide a las estaciones dependiendo de las necesidades que se tengan Algunos las dividen por su forma de operación (semiautomática o automática) otros por el uso que se les dará. Esto nos muestra que la adopción de una red automática dependerá de la visión propia de cada país de lo que significa el avance en las ciencias meteorológicas con la finalidad de mejorar los pronósticos del tiempo, más que la idea de estar a la moda en tecnologías de instrumental meteorológico.

Los países que entrados los noventas iniciaron apenas su automatización pueden sufrir una obsolescencia de sus equipos, toda vez que se han instalado muy tardíamente y el avance tecnológico es cada vez mayor. Sin embargo el punto principal es el de aprovechar este avance tecnológico que depende de la habilidad de cada país para armar programas de mantenimiento a sus estaciones automáticas, así como el de los procedimientos del control de calidad y manejo de los datos que ellas generan.

A medida que los países cuentan con mayor experiencia con estos equipos, más autónomas se vuelven las estaciones, es decir, se vuelve menos indispensable la participación de un observador meteorólogo. Así, en países con apenas cinco o diez años de experiencia, se requiere aún la supervisión constante de la estación o por lo menos en horarios diurnos, mientras que en países desarrollados han comenzado a oficializar estaciones que se encuentran lejos de una supervisión humana.

En el futuro la mayoría de los servicios meteorológicos del mundo se tendrá que aceptar el funcionamiento de estaciones automáticas en sus redes de observación. Obviamente, con un trabajo de control de calidad de la información previo a la instalación y continuo una vez que se encuentren en operación.

Por otro lado la aceptación de las estaciones automáticas ha tomado más tiempo que otro tipo de procesos automáticos en meteorología como por ejemplo los radiosondeos automáticos o las imágenes de satélite, básicamente porque:

- a) Son mediciones que desde hace dos siglos se habían hecho manualmente. No sucede lo mismo con los radiosondeos que siempre se han realizado de manera remota y se confía en los valores que la radiosonda manda a tierra.
- b) Hay una gran fuerza de trabajo actualmente operando en estaciones convencionales que no pueden ser reubicados fácilmente
- c) Existen parámetros que aún no pueden ser medidos por una estación automática y requieren de un observador.
- d) Porque el problema de transición de un tipo de instrumental en otro y los cambios en los registros climatológicos de largo periodo, aún no ha sido estudiado con profundidad.
- e) Porque el cambio de instrumental supone un cambio en la recepción y proceso de la información que implica a su vez el cambio de equipo de cómputo que se suma a los costos de modernización de las redes.

Tal como menciona Nadolsky (1995) el éxito de una red automática depende de la aceptación de las diferencias tanto en el funcionamiento como en los valores con respecto a las estaciones convencionales. Esforzarse en hacer equivalentes las observaciones convencionales con las automáticas sería un esfuerzo infructuoso, la única solución lógica consiste en aplicar sensores que tengan la particularidad de adaptarse al proceso de los datos de modo automático y determinar entonces, las eventuales diferencias significativas entre ambas observaciones.

CAPÍTULO 3

COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES CONVENCIONALES Y AUTOMÁTICAS DE LA RED DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

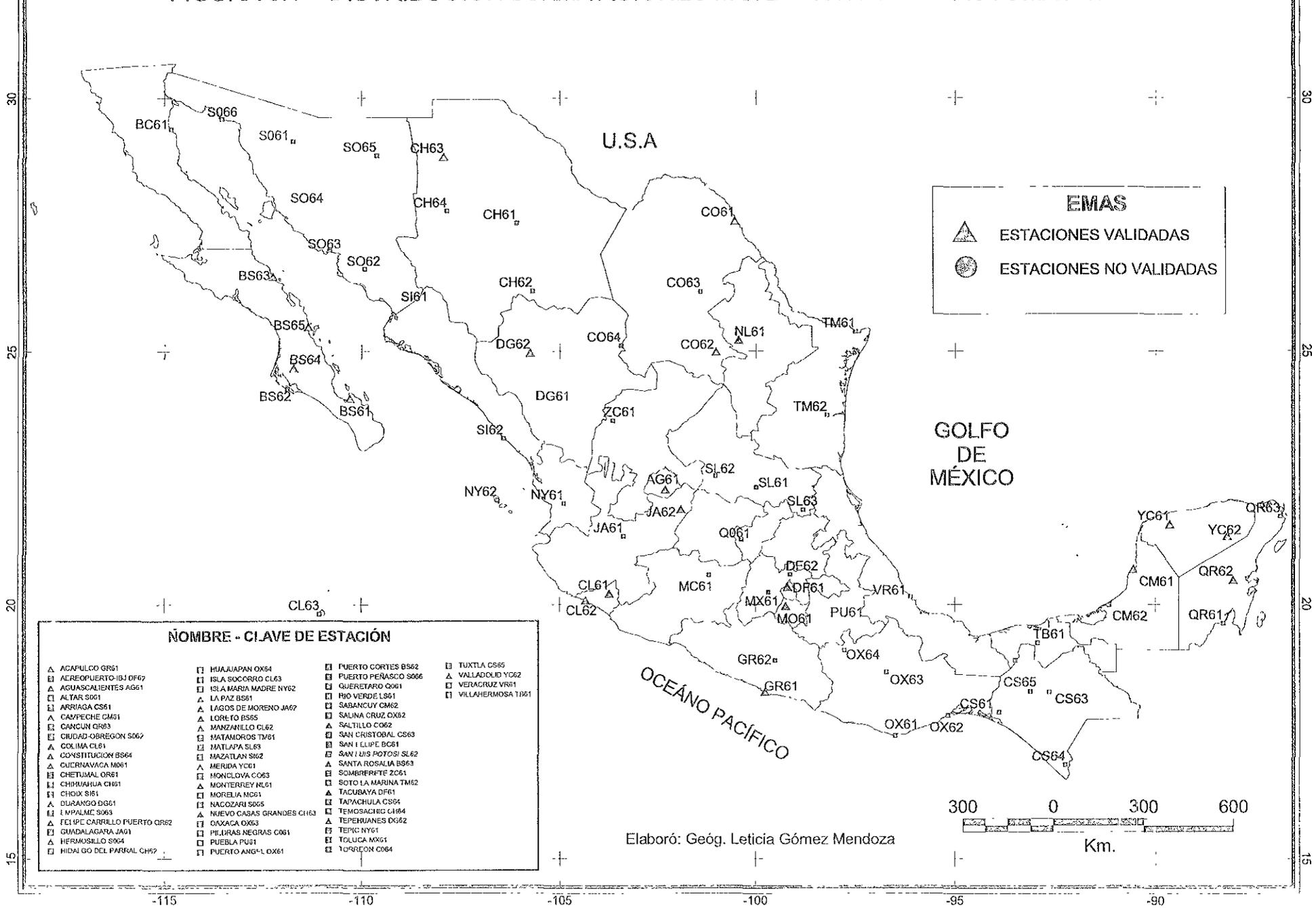
3.1. ESTACIONES SELECCIONADAS

Tal como menciona Nadolsky (1995) el éxito de una red automática depende de la aceptación de las diferencias tanto en el funcionamiento como en los valores de las variables meteorológicas que miden y sus diferencias con respecto a las estaciones convencionales. Para lograr dicha aceptación la Organización Meteorológica Mundial recomienda que cuando los servicios meteorológicos instalan equipos nuevos en sus redes, deben realizar pruebas de compatibilidad de los equipos en el terreno. Las pruebas deben realizarse durante un periodo suficientemente largo, cuando menos en un número seleccionado de estaciones automáticas (OMM, 1995).

A partir de 1992 el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) inició un programa de modernización de sus redes de observación de superficie. Esta modernización consistió en la instalación de 65 estaciones meteorológicas automáticas (EMA) marca Ericsson en 65 de los 78 observatorios de la red. Siguiendo las recomendaciones de la OMM, el SMN en 1995 inició un proceso de validación de 22 EMAs (Figura 3.1). La oficialización de los datos de éstas, depende de la verificación y validación tanto de los valores en sí, como de las características de transmisión y del buen estado y funcionamiento de los sensores.

Las estaciones envían los datos generados al satélite meteorológico GOES cada tres horas con bloques de información de cada diez minutos correspondientes a las variables de dirección e intensidad del viento, temperatura ambiente, temperatura del suelo, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación pluvial y radiación solar. Las EMAs instaladas en los sitios, recolectan la información meteorológica, la almacenan en memoria y en disco. Una vez en el SMN, la información es procesada para obtener datos que puedan ser consultados por los meteorólogos como auxiliar en la elaboración de sus boletines. A mediano plazo se pretende que el instrumental automático sea la base de las mediciones en los observatorios y mantener una plantilla mínima de observadores que supervisen la estación y eventualmente transmitan datos del equipo convencional y complementar los informes sinópicos con las observaciones sensoriales.

FIGURA 3.1 DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS



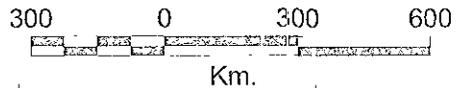
EMAS

ESTACIONES VALIDADAS
 ESTACIONES NO VALIDADAS

NOMBRE - CLAVE DE ESTACIÓN

▲ ACAPULCO QR51	□ HUAJAPAN OX64	□ PUERTO CORTES BS62	□ TUXTLA CS66
□ AEROPUERTO-IBJ DF67	□ ISLA SOCORRO CL63	□ PUERTO PERASCO S066	▲ VALLADOLID YC62
▲ AGUASCALIENTES AG61	□ ISLA MARIA MADRE NY02	□ QUERETARO QO61	□ VERACRUZ VR61
□ ALTAR SO61	□ LA PAZ BS61	□ RIO VERDE L361	□ VILLAHERMOSA T061
▲ ARRIAGA CS61	▲ LAGOS DE MORENO JA67	□ SABANCUY CM62	
▲ CAMPECHE CM51	▲ LORÉTO BS65	□ SALINA CRUZ OX62	
□ CANCUN QR63	▲ MANZANILLO CL62	▲ SALTILLO CO62	
□ CIUDAD-OBREGÓN S067	□ MATAMOROS TM61	□ SAN CRISTOBAL CS63	
▲ COXIMA CL61	□ MATLAPA SL63	□ SAN ILLIPE BC61	
▲ CONSISTENCIA BS64	□ MAZATLÁN SI62	□ SAN LUIS POTOSÍ SL62	
▲ CUERNAVACA MO61	▲ MERIDA YC61	▲ SANTA ROSALIA BS63	
□ CHETUMAL QR61	□ MORELIA CO63	□ SOMBRERETE ZC61	
□ CHIHUAHUA CH61	▲ MONTERREY ML61	□ SOTO LA MARINA TM62	
□ CHIXI SI61	□ MORELIA MO61	▲ TACUBAYA DF61	
▲ DURANGO DG61	□ NACOSARÍ S065	□ TAPACHULA CS64	
□ EMPALME S063	▲ NUEVO CASAS GRANDES CH63	□ TEMOSAGUIC CH64	
▲ FELIPE CARRILLO PUERTO QR62	□ OAXACA OX63	▲ TEPEHUANES DG62	
□ GUADALAJARA JA61	□ PIEDRAS NEGRAS CO61	□ TEPIC NY61	
▲ HERMOSILLO S064	□ PUEBLA PU61	□ TOLUCA MX61	
□ HIDALGO DEL PARRAL CH62	□ PUERTO ANGI-L OX61	□ TORREÓN CO64	

Elaboró: Geóg. Leticia Gómez Mendoza



3.2. METODOLOGÍA UTILIZADA EN LAS COMPARACIONES

A partir de 1994, los observatorios contaban ya con estaciones meteorológicas automáticas, sin embargo, seguían realizando las observaciones en forma convencional, ya que no se contaba con un programa operativo para incorporar los datos automáticos como oficiales. En este sentido, no se pretendía sustituir aún el trabajo de los observadores ni los valores obtenidos de los instrumentos convencionales.

Durante las primeras etapas de operación de las EMA, los observadores comenzaron a notar diferencias significativas entre los datos automáticos y convencionales por lo que no aceptaban dichos datos como válidos. A partir de esto, el SMN decidió llevar a cabo un programa de Validación de Estaciones Automáticas con la finalidad de sistematizar la observación de las diferencias entre los valores de sensores automáticos y convencionales y llegar a determinar las posibles causas de estas diferencias.

Uno de los inconvenientes que se presentaron fue el hecho de que en los observatorios la única forma de obtener información de la EMA era mediante el despliegue de datos de su módulo interior. En la pantalla de dicho módulo, sólo se tiene acceso a los datos instantáneos de todas las variables. En este sentido, las comparaciones tendrían que hacerse de manera simultánea y sólo en las horas en que se contara con observador de turno que realizara dichas mediciones.

Otro inconveniente consistió en que en el SMN se contaba con los datos continuos de las estaciones automáticas en rangos de cada 10 minutos, pero en ocasiones las transmisiones vía satélite eran incompletas y se desconocía la hora exacta en la que se realizaban las observaciones meteorológicas en los observatorios, para de esa manera poder compararlas.

A principios de 1995 los observatorios realizaron este programa de validaciones mediante las intercomparaciones cada dos meses durante los primeros 15 días de cada mes, anotando las diferencias horarias observadas para las variables de temperatura, humedad, presión y precipitación. Las comparaciones garantizaban que las observaciones serían simultáneas y se eliminarían los errores por transmisión a satélite.

3.3. RESULTADOS

3.3.1 El observatorio de Tacubaya como estación piloto

Las comparaciones piloto se realizaron en el Observatorio Central de Tacubaya de 1992 a 1994. En ellas se encontró que las diferencias de temperatura promedio eran de 0.2 a 0.5 °C, las diferencias de humedad oscilaban entre 1 y 5% mientras que las de presión entre 0.3 a 1.9 hPa. No obstante, las máximas diferencias registradas fueron aumentando a medida que pasaba el tiempo. Las diferencias de temperatura máximas pasaron de 0.6°C en 1992 a 1.8°C en 1994. Las diferencias de humedad pasaron de 3.5% a 10% y las de presión se mantuvieron en 1.9 hPa (Tabla 3.1). Para el caso de la precipitación las diferencias encontradas para la temporada de mayo a octubre de 1995 indicaron que para precipitaciones menores a 5 mm en 24 horas las diferencias son de 1 mm como máximo y del 1.7% para precipitaciones mayores a 5 mm en 24 horas.

Comparaciones independientes a las calibraciones nacionales, realizadas en el Observatorio de Tacubaya con relación a las temperaturas máximas y mínimas diarias registradas en el periodo de 1993 a 1995, mostraron que las diferencias más grandes se encontraron en los meses de enero a junio (época de secas) en dicho periodo, con diferencias de -1.0 °C a -2.2 °C. En los tres años, las temperaturas máximas registradas por la estación automática siempre estuvieron por abajo de la convencional (0.4°C). En el caso de las temperaturas mínimas automáticas, éstas fueron más altas que las convencionales de enero a octubre y en los meses de noviembre y diciembre las diferencias fueron de 1.8 °C, más altas que las convencionales.

Por su parte, Rozdestvenskii (1975) en la antigua URSS, obtuvo las siguientes diferencias: temperatura: ± 0.8 °C, presión atmosférica: ± 1 hPa, precipitación: $\pm 5\%$. Debe hacerse notar que se utilizó un sistema automático más antiguo que el utilizado en México. Kiemm (1980) al comparar dos estaciones automáticas se tuvieron los siguientes resultados: temperatura del aire: ± 1 °C y presión atmosférica ± 1 hPa. Németh (1995) en Hungría obtuvo los siguientes resultados: las diferencias de presión fueron de 0.5 hPa, existió inconsistencia en los datos de humedad, la temperatura presentó diferencias de 0.2 °C. Como se puede observar, las diferencias en México fueron mayores a las reportadas por otros autores durante la presente década.

Tabla 3.1 ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE TACUBAYA
DIFERENCIAS ENCONTRADAS (1992-1994)

PERIODO:	TEMPERATURA (°C)			HUMEDAD (%)			PRESIÓN (hPa)			LLUVIA (mm)	
	DIFERENCIA MEDIA	DIFERENCIA MÁXIMA	DIFERENCIA MÍNIMA	DIFERENCIA MEDIA	DIFERENCIA MÁXIMA	DIFERENCIA MÍNIMA	DIFERENCIA MEDIA	DIFERENCIA MÁXIMA	DIFERENCIA MÍNIMA	DIFERENCIA MEDIA	DIFERENCIA MÁXIMA
OCTUBRE 1992	0.3	0.6	0.0	1.2	3.5	0.2	1.9	2.6	1.6	0.6	0.8
MAYO 1993	0.5	1.0	0.0	5.0	9.0	0.0	1.2	1.9	0.0	0.5	0.7
OCTUBRE 1993	0.2	1.0	-3.0	3.9	10.0	-8.0	0.3	1.6	-2.7	0.6	1.7
ENERO 1994	0.3	1.4	4.5	1.0	7.6	-6.3	0.3	1.9	-1.3	-	-
MARZO 1994	0.3	1.8	-2.1	2.6	6.7	-11.0	0.7	1.9	-2.9	-	-

3.3.2 Diferencias de temperatura

El promedio nacional de las diferencias de temperatura para México, fue de 0.5 °C, las diferencias extremas fueron las de Nuevo Casas Grandes con 4.0 °C y la menor en Manzanillo con 0.0 °C. (Tabla 3.2) Se presentó una diferencia máxima extrema de 12.4 °C para la estación de Colima seguido de Aguascalientes con 8.1 °C y la menor diferencia máxima fue de 0.8 °C en Monterrey. Las desviaciones estándar promedio fueron de 0.4, las estaciones con mayor desviación estándar fueron Cuernavaca y Valladolid con 0.7, que indican una mayor diferencias de las diferencias con respecto a la diferencia media de todo el periodo. La menor desviación estándar se presentó en La Paz con 0.1

3.3.3 Diferencias de humedad relativa

Las diferencias promedio de humedad relativa fueron de -1% y las diferencias extremas fueron de -41% como máxima en Felipe Carrillo Puerto y la mínima en Tepehuanes con 0 %, Campeche y Piedras Negras con 1 y -1%. La diferencia máxima fue de 78% en Nuevo Casas Grandes que se debió a un mal funcionamiento del sensor. La desviación estándar promedio de todas las estaciones fue de 3.0. La mayor desviación fue de 8.0 en Tepehuanes y la menor de 1.0 en La Paz, Santa Rosalía y Piedras Negras.

Las diferencias de humedad se mantuvieron constantes durante el primer año, pero para el segundo año fue necesario realizar un ajuste a los sensores ya que las diferencias comenzaban a aumentar. Este sensor ha presentado diferencias muy altas con respecto a las normas establecidas por la OMM.

3.3.4 Diferencias de la presión barométrica

Con respecto a la presión esta mantiene diferencias arriba de 1.0 hPa pero comienzan a aumentar a partir de mediados de 1995, por ello, para finales de 1995 y principios de 1996 se inició una calibración de los sensores de presión, con lo que se obtuvo una disminución notable de estas diferencias.

El promedio de las diferencias fue de 0.9 hPa en donde la mayor diferencia promedio fue de -0.1°C en Cuernavaca y el mayor Santa Rosalía con 3.7 hPa. La diferencia máxima fue de 11.0 hPa en Piedras Negras y la mínima fue de -1.1 hPa en Felipe Carrillo Puerto.

TABLA 3.2 RESUMEN DE VALIDACIONES
ESTACIONES METEOROLOGICAS AUTOMÁTICAS
 1995-1997

ESTACION	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)		PRESION (hPa)	LLUVIA (mm)		
ACAPULCO	PROM	-1.6	PROM	-7	PROM	-1.7		
	MAX	-1.4	MAX	-8	MAX	-0.4		
	MIN	-1.0	MIN	-9	MIN	-1.5		
	D.E	0.4	D.E	2	D.E	0.3		
AGUASCALIENTES	PROM	1.1	PROM	11	PROM	2.1		
	MAX	8.1	MAX	28	MAX	7.4		
	MIN	0.0	MIN	0	MIN	0.0		
	D.E.	0.4	D.E.	4	D.E.	1		
CAMPECHE	PROM	-0.1	PROM	1	PROM	-0.8		
	MAX	5.6	MAX	24	MAX	10.7		
	MIN	-0.6	MIN	0	MIN	-3.5		
	D.E	0.2	D.E	2	D.E	1.0		
CD CONSTITUCION	PROM	1.4	PROM	6	PROM	2.7		
	MAX	5.5	MAX	35	MAX	6.8		
	MIN	-0.3	MIN	-2	MIN	0.0		
	D.E	0.2	D.E	2	D.E	0.3		
COLIMA	PROM	1.4	PROM	4	PROM	0.9		
	MAX	12.4	MAX	38	MAX	5.1		
	MIN	-5.7	MIN	-3	MIN	0.0		
	D.E	0.6	D.E	3	D.E	0.2		
CUERNAVACA	PROM	0.5	PROM	-1	PROM	-0.1		
	MAX	7.4	MAX	27	MAX	5.6		
	MIN	-0.5	MIN	-11	MIN	-2.6		
	D.E	0.7	D.E	3	D.E	0.5		
DURANGO	PROM	0.2	PROM	-2	PROM	0.6		
	MAX	3.7	MAX	52	MAX	5.9		
	MIN	-5.4	MIN	-19	MIN	-9.3		
	D.E	0.3	D.E	4	D.E	0.4		
FPE CARRILLO PTO	PROM	-1.1	PROM	-41	PROM	-1.0		
	MAX	-2.0	MAX	-55	MAX	-1.1		
	MIN	-0.8	MIN	-35	MIN	-0.9		
	D.E	0.3	D.E	3	D.E	0.2		
HERMOSILLO	PROM	-0.4	PROM	-2	PROM	0.9		
	MAX	2.9	MAX	12	MAX	4.1		
	MIN	-2.2	MIN	-10	MIN	-1.5		
	D.E	0.6	D.E	4	D.E	0.4		
LAGOS	PROM	0.2	PROM	0	PROM	-0.2	PROM	-0.5
	MAX	3.6	MAX	17	MAX	2.3	MAX	0.0
	MIN	-3.4	MIN	-14	MIN	-1.6	MIN	0.0
	D.E	0.5	D.E	2	D.E	0.2	D.E	1.3
LAPAZ	PROM	-0.5	PROM	4	PROM	0.7		
	MAX	2.8	MAX	28	MAX	2.8		
	MIN	-0.3	MIN	0	MIN	0.0		
	D.E	0.1	D.E	1	D.E	0.1		
LORETO	PROM	0.9	PROM	6	PROM	2.1		
	MAX	6.9	MAX	35	MAX	5.8		
	MIN	0.0	MIN	0	MIN	0.1		
	D.E	0.2	D.E	2	D.E	0.2		
MANZANILLO	PROM	0.0	PROM	-3	PROM	0.6		
	MAX	2.1	MAX	20	MAX	3.5		
	MIN	-13.0	MIN	-7	MIN	-0.6		
	D.E	0.1	D.E	2	D.E	0.3		

TABLA 3.2 RESUMEN DE VALIDACIONES
ESTACIONES METEOROLOGICAS AUTOMÁTICAS (cont.)
 1995-1997

ESTACION	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD (%)		PRESION (hPa)		LLUVIA (mm)	
MERIDA	PROM	0.3	PROM	-4	PROM	0.7		
	MAX	7.1	MAX	15	MAX	4.6		
	MIN	0.0	MIN	0	MIN	-1.0		
	D.E	1.0	D.E	3	D.E	0.5		
MONTERREY	PROM	-0.2	PROM	8	PROM	1.7		
	MAX	0.8	MAX	30	MAX	3.2		
	MIN	-0.2	MIN	-1	MIN	0.3		
	D.E	0.2	D.E	6	D.E	0.5		
NVO CASAS GRAN	PROM	4.0	PROM	14	PROM	2.3		
	MAX	7.2	MAX	78	MAX	4.6		
	MIN	-2.9	MIN	-25	MIN	-3.5		
	D.E	0.6	D.E	6	D.E	1.9		
P NEGRAS	PROM	0.1	PROM	1	PROM	-0.2		
	MAX	6.9	MAX	40	MAX	11.0		
	MIN	-5.5	MIN	-13	MIN	-4.7		
	D.E	0.6	D.E	1	D.E	2.7		
SALTILLO	PROM	1.6	PROM	7	PROM	1.5		
	MAX	3.9	MAX	52	MAX	3.0		
	MIN	0.0	MIN	0	MIN	0.0		
	D.E	0.2	D.E	2	D.E	0.3		
STA ROSALIA	PROM	1.3	PROM	7	PROM	3.7		
	MAX	1.8	MAX	10	MAX	5.5		
	MIN	0.0	MIN	0	MIN	0.0		
	D.E	0.2	D.E	1	D.E	0.7		
TACUBAYA	PROM	0.3	PROM	3	PROM	0.9	PROM	0.6
	MAX	1.8	MAX	10	MAX	2.6	MAX	1.7
	MIN	-3.0	MIN	-11	MIN	-2.9	MIN	0.0
	D.E	0.1	D.E	2	D.E	0.7	D.E	0.1
TEPEHUANES	PROM	-0.4	PROM	0	PROM	-1.3		
	MAX	3.5	MAX	4	MAX	6.7		
	MIN	-5.5	MIN	-6	MIN	-16.2		
	D.E	0.3	D.E	8	D.E	1.0		
VALLADOLID	PROM	2.4	PROM	-31	PROM	3.1		
	MAX	3.7	MAX	-8	MAX	5.6		
	MIN	-0.4	MIN	-4	MIN	0.0		
	D.E	0.7	D.E	4	D.E	0.3		
GENERAL	PROM	0.5	PROM	-1	PROM	0.9	PROM	0.0
	MAX	12.4	MAX	78	MAX	11.0	MAX	1.7
	MIN	-13.0	MIN	-35	MIN	-16.2	MIN	0.0
	D.E	0.4	D.E	3.0	D.E	0.6	D.E	0.7

PROM: Valor promedio de las diferencias
 MAX: Valor máximo de las diferencias
 MIN: Valor mínimo de las diferencias
 D.E. Desviación estándar de las diferencias

Elaboró: Leticia Gómez

La desviación estándar promedio fue de 0.6, la más alta la presentó Piedras Negras con 2.7 y la menor en La Paz con 0.1.

3.3.5 Diferencias estacionales

No es posible diferenciar cambios estacionales en las diferencias de las variables estudiadas, sin embargo por experiencia en algunas estaciones se ha determinado que las diferencias de temperatura se hacen más grandes conforme se acerca la temporada seca y cálida entre los meses de marzo y abril.

Para la estación de Tacubaya se realizaron comparaciones especiales con los datos de temperaturas máximas y mínima extremas entre los sensores automáticos y convencionales. Esto se pudo realizar gracias a que en esta estación se cuenta con una computadora que almacena los datos generados por la EMA incluyendo los valores extremos. Dichas comparaciones se realizaron para los datos de 1993 a 1995. Los resultados muestran que para el caso de las temperaturas máximas automáticas, los valores son menores que los de las convencionales durante todo el año, mientras que las temperaturas mínimas automáticas fueron mayores que las convencionales (figuras 3.2 y 3.3). Es decir los datos de la estación automática arrojaron valores de temperaturas máximas más bajas y mínimas más altas.

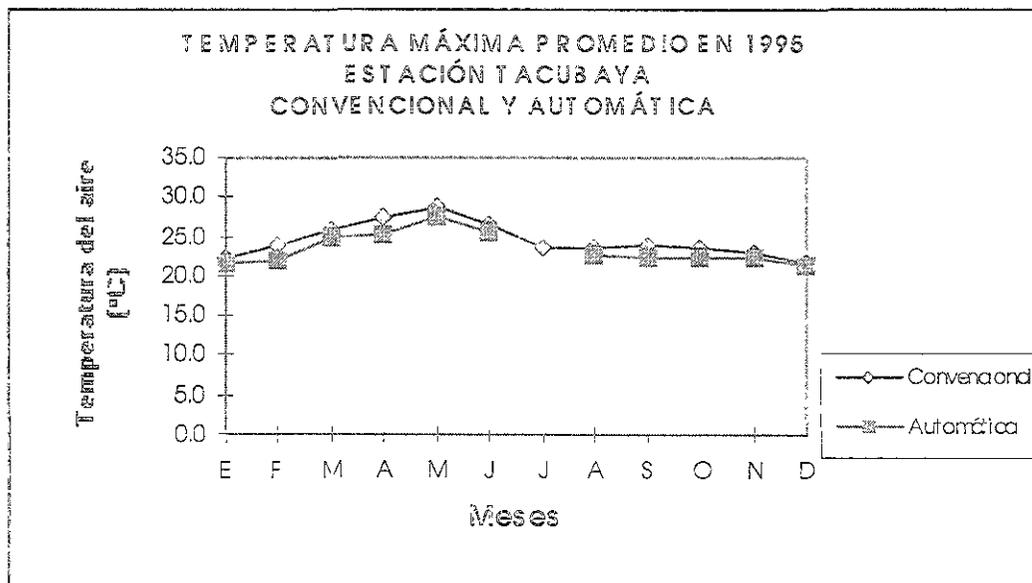


Figura. 3.2 Temperatura máxima promedio para Tacubaya en 1995

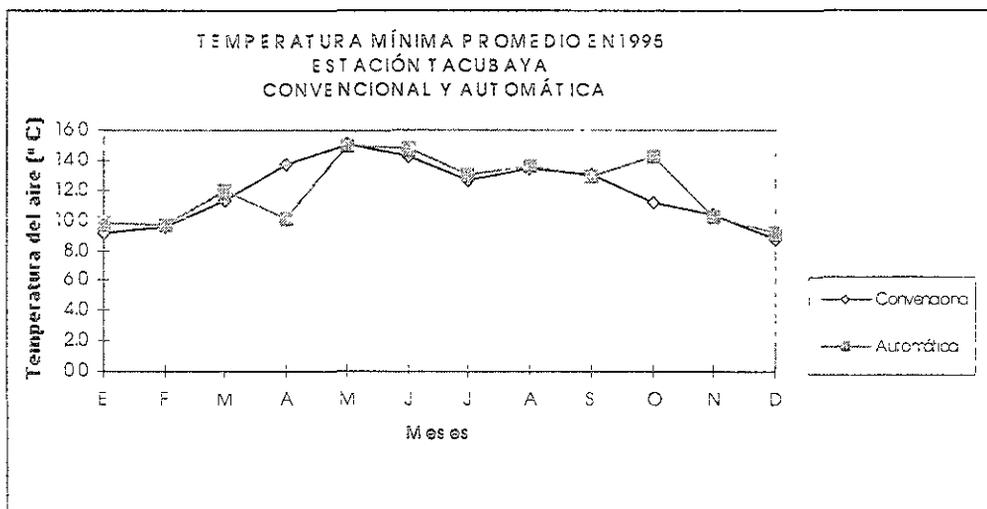


Figura 3.3 Temperatura mínima promedio en Tacubaya en 1995

Por otra parte, los sensores de humedad relativa al estar constituidos de un haz de cabellos que tienen una buena respuesta a humedades bajas presentan grandes diferencias con respecto a los datos convencionales obtenidos por los psicrómetros ventilados. Otra particularidad es que el fabricante de estas estaciones, estableció 12% como humedad mínima extrema aceptable para el software de la EMA. Sin embargo, para el caso de la estación de Tacubaya, se ha observado que durante los días de invierno, cuando la humedad relativa llega a ser menor al 12%, la EMA no lo registra.

Por otra parte, al aumentar la humedad relativa en los meses de verano, el sensor tiene que ser ajustado para obtener humedades mayores al 30%

Las diferencias de humedad se vuelven más marcadas en los sitios secos durante el verano cuando la humedad llega a ser menor del 10% y la mayoría de los sistemas de adquisición no registran datos menores a 12%. Como ejemplo, en la estación automática de Tacubaya (Tabla 3.1) se ha notado, que a lo largo de su funcionamiento durante los meses de transición de invierno a primavera (de enero a abril), las diferencias encontradas son más altas, sobre todos en las humedades mínimas registradas entre las 12:00 y 15:00 h. Una vez iniciada la temporada de lluvia el sensor de haz de cabellos no es capaz de registrar humedades por encima del 70%, aun durante un evento de lluvia o días de lluvias continuas. Una vez que se inicia la temporada seca en otoño e invierno, en donde las humedades llegan a ser menores a 12% los valores automáticos se encuentran 12 o 15% arriba de los valores convencionales, esto se debe a que el software de la EMA no permite registros menores de 12% como ya se mencionó antes. En esta estación, en febrero de 1998, se registraron humedades mínimas históricas de entre 3 y 7% durante 10 días continuos, datos que no pudieron registrarse en la EMA. Por esta razón es un sensor que debe ser ajustado continuamente para evitar aumento en las diferencias con los valores convencionales.

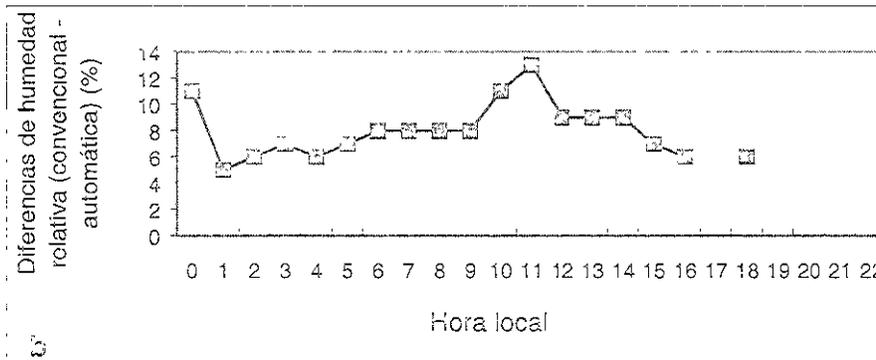
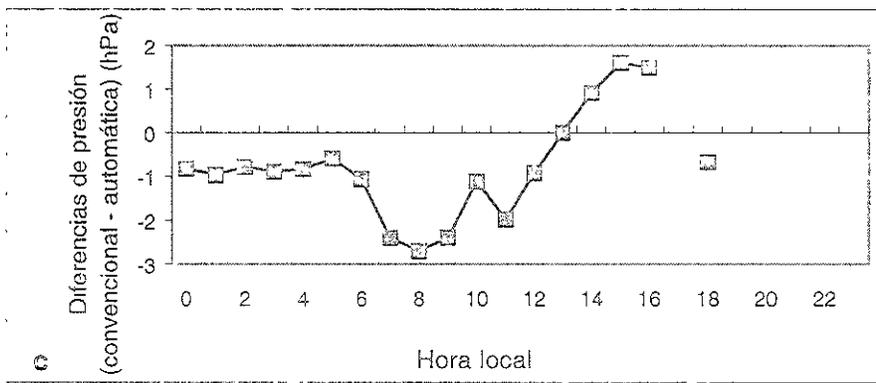
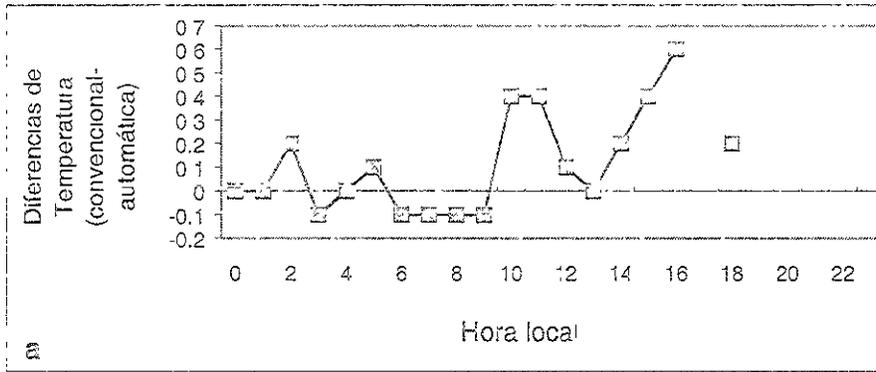
Tabla 3.4 PROBLEMAS DETECTADOS EN EL SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA DE LA EMA DE TACUBAYA, D.F.

FECHA	PROBLEMA
Febrero 1993	Diferencias promedio de 12% con respecto al convencional
Abril 1993	Ajuste al sensor de humedad. Diferencias de $\pm 15\%$
Enero de 1996	El sensor de humedad no responde a los cambios de humedad y se reemplaza por otro.
Febrero de 1998	Diferencias de 12% en las temperaturas mínimas diarias
Marzo de 1998	Se cambia el sensor de humedad (haz de cabellos) por un higristor y las diferencias disminuyen, a las horas que se registra la humedad relativa mínima. El promedio de diferencias fue del 6%
Abril de 1998	Se cambia nuevamente el higristor por un sensor de haz de cabellos ya que el sensor de temperatura, al que viene aparejado, presenta diferencias de hasta 1.5°C.
Julio de 1998	Se ajusta nuevamente el sensor de humedad ya que no registra valores de humedad arriba del 60%, en la época de lluvias.

Elaboró: Leticia Gómez

3.3.6 Diferencias diurnas

Por otra parte, todas las estaciones parecen tener un comportamiento diurno que se caracteriza por presentar menores diferencias de todas las variables estudiadas en las horas nocturnas (de 20:00 a 7:00 horas locales) y las mayores diferencias se presentan durante el día. Por ejemplo la máxima diferencia de temperatura suele presentarse entre las 10:00 y 15:00 h al igual que la mayor diferencia de humedad (Figura 3.4).



Figuras 3.4 Diferencias de temperatura (a) humedad (b) y presión (c) entre la estación automática y convencional en el observatorio de Tacubaya correspondientes al 2 de octubre de 1993.

A mediados de 1996 se logró determinar que algunas de las diferencias que se presentaron se debían a dos factores principales, mismos que se describirán más ampliamente en el capítulo siguiente.

- a) La altura del sensor de temperatura así como su exposición a la intemperie no era la misma que los termómetros convencionales dentro de las garitas meteorológicas. En algunos casos los sensores tenían sombras que originaban las diferencias entre sensores automáticos y convencionales.
- b) Las diferencias en los principios de operación de los sensores de humedad, mientras que el sensor automático es un haz de cabellos, el sensor convencional es un psicrómetro

De acuerdo a los resultados obtenidos se compararon las normas de tolerancia recomendadas por la OMM con las máximas precisiones observadas en las estaciones Ericsson a lo largo de las comparaciones. La precisión encontrada en los equipos Ericsson está dentro de las normas de OMM, sin embargo son pocos los casos en los que se obtiene en la práctica con las estaciones instaladas. Por ello, para fines prácticos y considerando el equipo que se utiliza para comparar, se ha determinado que cada estación no sobrepase los límites de la tabla 3.5.

Tabla 3.5 NORMAS DE TOLERANCIA Y PRECISIÓN RECOMENDADAS POR LA OMM Y ACEPTADAS EN MÉXICO

VARIABLE	PRECISION REQUERIDA (OMM)	PRECISION REQUERIDA EN MEXICO
Temperatura del aire	$\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperaturas extremas (máxima y mínima)	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$
Presión Atmosférica	$\pm 0.1 \text{ hPa}$	$\pm 1.0 \text{ hPa}$
Precipitación	$\pm 0.1 \text{ mm para } \leq 5 \text{ mm}$ $\pm 2\% \text{ para } \geq 5 \text{ mm}$	$\pm 0.1 \text{ mm para } \leq 5 \text{ mm}$ $\pm 1.7\% \text{ para } \geq 5 \text{ mm}$
Humedad Relativa	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez obtenidas las diferencias promedio, máximas y mínimas así como las desviaciones estándar de las estaciones con validaciones, se procedió a determinar cuales de ellas estaban dentro del rango de aceptación para México de acuerdo a la Tabla 3.5. Así, las estaciones que presentaron las tres variables (temperatura, humedad y presión) dentro del rango de aceptación fueron:

Campeche	Manzanillo
Cuernavaca	Mérida
Durango	Piedras Negras
Hermosillo	Tacubaya
Lagos de Moreno	Tepehuanes
La Paz	

Se debe considerar, que los periodos de observación para las validaciones difieren de observatorio a observatorio, lo que puede influir en los resultados de las diferencias entre la convencional y la automática.

Las siguientes estaciones presentaron uno o dos parámetros fuera de rango de aceptación:

ESTACIÓN	VARIABLE FUERA DE RANGO DE ACEPTACIÓN
COLIMA	TEMPERATURA
FELIPE CARRILLO PUERTO	TEMPERATURA
MONTERREY	TEMPERATURA PRESIÓN BAROMÉTRICA

Por otro lado, las estaciones en donde las tres variables estuvieron fuera de rango fueron:

Acapulco
Aguascalientes
Cd. Constitución
Loreio
Nuevo Casas Grandes
Saltillo
Sta. Rosalva
Valladolid

Los valores de las diferencias entre estas estaciones pueden oscilar mucho tal como se aprecia en la Tabla 3.2. Por ejemplo: Nuevo Casas Grandes, presenta una diferencia promedio de temperatura de 4.0 °C, mientras que Aguascalientes presenta 1.1°C.

Con el propósito de identificar el comportamiento de las series de datos convencionales y automáticos se procedió a realizar pruebas de regresión lineal y de distribución de t de Student a seis estaciones seleccionadas. Tres de ellas con diferencias dentro del rango de aceptación en los tres parámetros estudiados y con las diferencias muy bajas: Campeche, Lagos de Moreno y La Paz y tres estaciones extremadamente fuera del rango de aceptación para los tres parámetros en todo el periodo de comparaciones.

Para realizar los análisis de regresión y las pruebas de t de Student se seleccionó para cada estación el periodo de comparación más representativo de intercomparaciones entre el equipo convencional y automático. Como se puede observar en la tabla 3.6, el horario de las comparaciones sólo abarca las 24 horas del día en los observatorios de La Paz, y Campeche, mientras que en Nuevo Casas Grandes, Aguascalientes, Valladolid y Lagos de Moreno, no se realizaron observaciones durante las 24 horas. Esto último se debe a la falta de personal en los observatorios sobre todo en horarios nocturnos.

3.4.1 Resultados de las análisis de regresión

3.4.1.1 Temperatura

Estaciones dentro del rango de tolerancia

Los coeficientes de correlación estuvieron por arriba de 0.97 para las estaciones de La Paz, Lagos de Moreno y Campeche, la variabilidad entre los datos convencionales y automáticos es muy aceptable en estas estaciones. Los coeficientes de determinación fueron mayores al 95%. Con lo cual se determina que los valores automáticos se pueden corregir con estas regresiones. Es decir, sustituyendo en las rectas de regresión de las tres estaciones dentro del rango de tolerancia se puede determinar el valor esperado para la estación automática conociendo el de la estación convencional:

TABLA 3.6 RESUMEN DEL ANALISIS ESTADISTICO DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS AUTOMATICAS SELECCIONADAS

ESTACION	PERIODO	HORARIO	PARAMETRO	REGRESION				ESTADISTICO t	VARIANZA	Prueba t student	
				COEF DE CORRELACION	r ²	a	b			GRADOS DE LIBERTAD	P(T<=t) DOS COLAS (ALFA=0.05)
LA PAZ, BCS	1 AL 15 NOV 1995	1 00 A 24 00 h	TEMPERATURA	0.977310907	0.955	2.6482	0.87983	-1.239324139	10.78156657	648	0.215452269
			HUMEDAD RELATIVA	0.950455828	0.90307	4.005	0.77244	-10.97437989	143.668433	648	8.09294E-26
			PRESION	0.93858776	0.88058	-9.5176	1.00868	-4.892808757	3.981645394	648	1.25572E-06
NVO CASAS GRANDES, CHIH	23 AL 30 SEP 1995	6 00 a 24 00 h	TEMPERATURA	0.919916454	0.84508	6.6329	0.88448	5.687685876	33.13258445	266	3.38704E-08
			HUMEDAD RELATIVA	0.794277974	0.62795	11.958	1.02687	3.276350723	1023.399945	254	0.001198124
			PRESION	0.655607245	0.4253	216.98	0.743	-12.28429988	3.143021039	254	1.55159E-27
AGUASCALIENTES, AGS	6 AL 20 DE MAR 1995	6 00 a 21 00	TEMPERATURA	0.953354488	0.90861	0.3824	0.96836	-0.294002579	46.97792871	666	0.768847534
			HUMEDAD RELATIVA	0.911561017	0.82878	14.832	0.89189	4.525038534	243.4626582	158	1.18115E-05
			PRESION	0.621294118	0.37813	47.83	0.94009	-2.043552669	13.3331076	158	0.042658679
VALLADOLID, YUC	20 DIC 1995 AL 6 DE MAR 1996	6 00 a 18 00 h	TEMPERATURA	0.889766939	0.79039	4.3991	0.81509	-2.142586593	7.62166856	324	0.032891104
			HUMEDAD RELATIVA	0.553886857	0.30249	86.356	0.14411	16.02872978	9.79088086	324	5.53672E-43
			PRESION	0.958736586	0.91867	26.243	0.97285	-2.757490966	10.92640642	324	0.006155059
LAGOS DE MORENO, JAL	16 AL 30 DE ABRIL 1995	6 00 a 18 00 h	TEMPERATURA	0.984395078	0.96887	1.6033	0.93041	-0.099440101	30.69473434	388	0.920840201
			HUMEDAD RELATIVA	0.957601387	0.91696	7.3661	0.87812	-0.099440101	30.69473434	388	0.920840201
			PRESION	0.989461575	0.97893	51.84	0.93583	-0.694563831	3.233110229	388	0.48774437
CAMPECHE, CAMP	18 DIC 1995 AL 1 DE ENO 1996	1 00 a 24 00 h	TEMPERATURA	0.992985331	0.98597	1.3649	0.93725	-0.495480706	10.40253945	528	0.620466987
			HUMEDAD RELATIVA	0.976543193	0.95346	-20.974	1.2651	0.235022723	253.8190966	528	0.814282215
			PRESION	0.834863834	0.69585	117.51	0.88476	1.815753934	18.33535485	528	0.069975182

Elaboro: Leticia Gomez

Ejemplo:

Para la estación de La Paz, la recta de regresión se aplicaría como sigue

$$y = a + bx$$

Donde:

y: valor esperado de la EMA

a: intercepción= 2.6482

b: pendiente= 0.8798

x: valor convencional = 20°C

Sustituyendo:

$$y = 2.6482 + 0.8798(20)$$

$$y = 20.2 \text{ °C}$$

(el valor real de EMA= 20.1°C)

Por otro lado las curvas de regresión ajustadas, como por ejemplo la obtenida para Lagos de Moreno (figura 3.7) muestran la poca dispersión de los datos entre las estaciones automáticas y convencionales y el grado de ajuste de los datos pronosticados para la EMA con base en los datos convencionales.

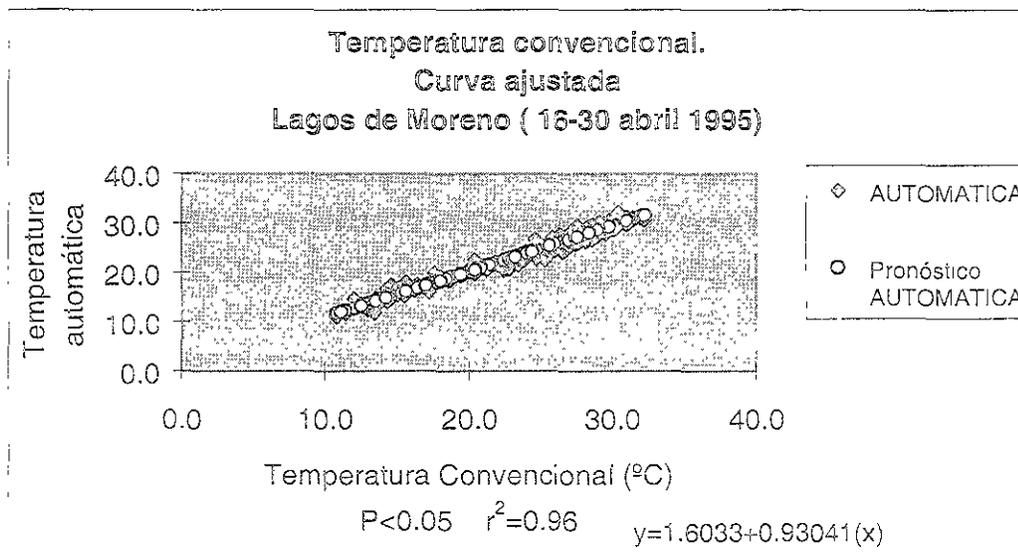


Figura 3 7. Análisis de regresión para temperatura convencional y automática en el Observatorio de Lagos de Moreno

Estaciones fuera del rango de tolerancia

Los coeficientes de correlación se presentaron por arriba de 0.88 para Valladolid, Nuevo Casas Grandes y Aguascalientes (Tabla 3.6). Por otro lado las r^2 están por arriba de 79%, siendo Aguascalientes la estación que presenta mejor ajuste con 90%.

En los casos de las estaciones fuera de rango el ajuste a la recta de los datos automáticos, estos se encuentran alejados de los datos convencionales. Esto se observa, al sustituir los valores en la recta de regresión.

Ejemplo:

Para la estación de Nuevo Casas Grandes, la recta de regresión se aplicaría como sigue

$$y = a+bx$$

Donde:

y: valor esperado de la EMA

a: intercepción= 6.6329

b: pendiente= 0.8844

x: valor convencional = 10.4°C

Sustituyendo:

$$y = 6.6329+0.8844(10.4)$$

$$Y = 15.8 \text{ °C}$$

(el valor real de EMA= 16.3°C)

En este caso se observa una gran diferencia entre el dato real y el dato estimado con la recta de regresión.

En la figura de regresión ajustada de Nuevo Casas Grandes (figura 3.8) se observa la dispersión de los datos automáticos debido a las altas diferencias entre los sensores automáticos y convencionales.

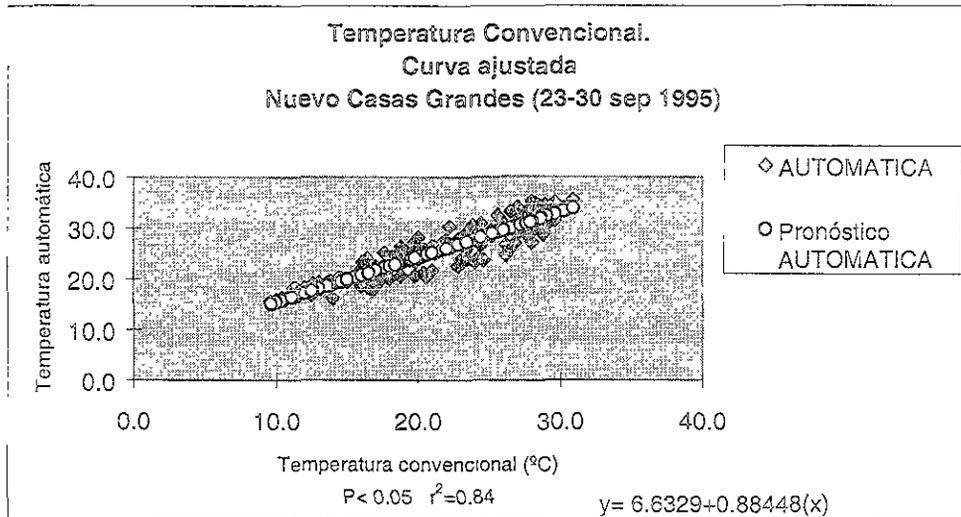


Figura 3.8. Análisis de regresión para la temperatura convencional y automática en el observatorio de Nuevo Casas Grandes.

3.4.1.2 Humedad Relativa

Estaciones dentro del rango de tolerancia

Los coeficientes de determinación fueron mayores de 0.95 para La Paz, Campeche y Lagos de Moreno. Cabe mencionar que para 1995 aún no se llevaba a cabo ningún ajuste a los sensores automáticos de la red. Los coeficientes de determinación fueron mayores del 90% en donde Campeche obtuvo el mejor ajuste de esta variable con 95% (Tabla 3.6).

En el análisis de regresión simple para La Paz en humedad relativa se deduce que, a pesar de ser una estación dentro de rango de tolerancia, este sensor presenta una gran dispersión para valores mayores del 70% (figura 3.9)

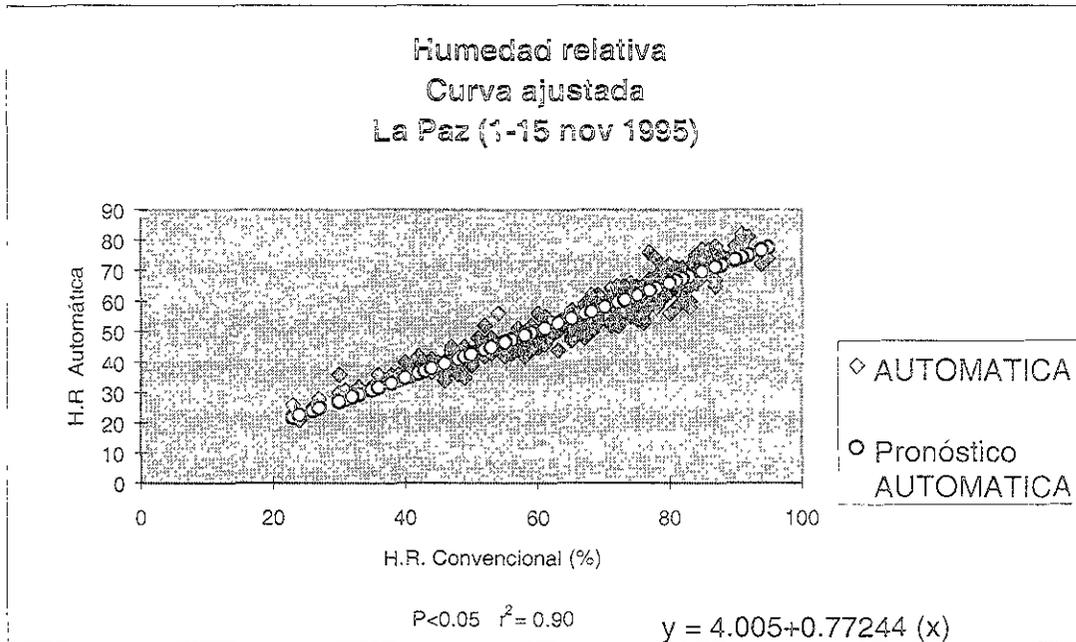


Figura 3.9. Análisis de regresión de la humedad relativa convencional y automática para el observatorio de La Paz

Estaciones fuera del rango de tolerancia

Los coeficientes de correlación son distintos para cada estación: Nuevo Casas Grandes con 0.79, Valladolid con un coeficiente muy bajo de 0.55 y Aguascalientes con 0.91. Los coeficientes de determinación indican un buen ajuste a la recta de regresión en el caso de Aguascalientes con 82%, pero muy poco ajuste para Nuevo Casas Grandes con 62% y Valladolid con 30%. En el caso de Valladolid, la humedad relativa automática durante el periodo de validación presentó valores repetitivos del 99% durante la mayor parte de los periodos diurnos muestreados. Esto, sin duda indicó un desajuste en el sensor de humedad o que este no responde a los cambios ambientales. (Figura 3.10)

ESTACIONES FUERA DEL RANGO DE TOLERANCIA

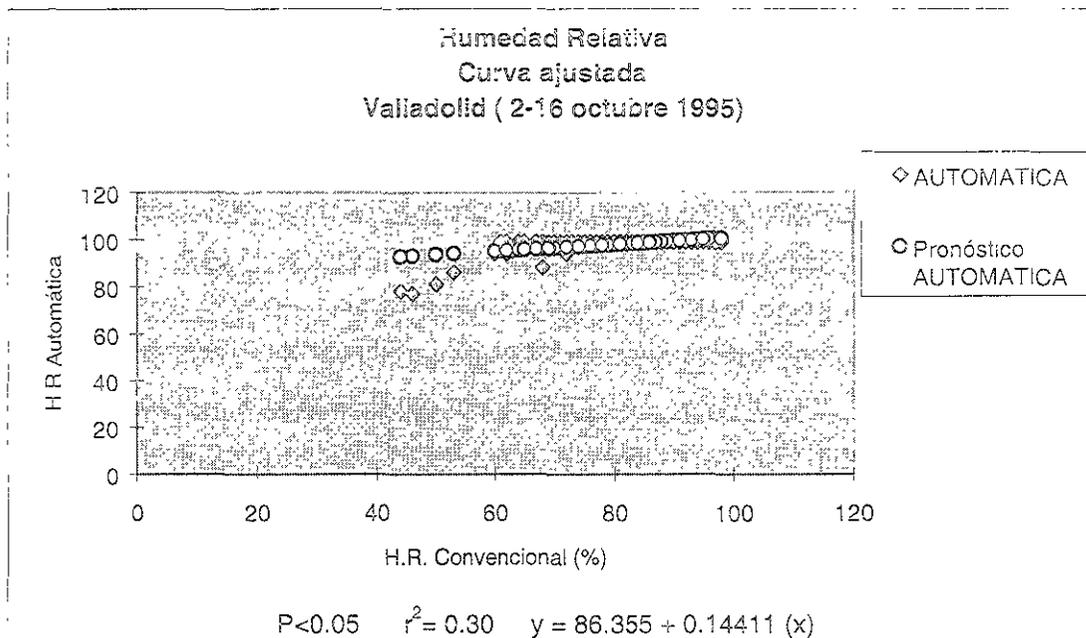


Figura 3.10 Análisis de regresión de la humedad relativa convencional y automática del observatorio de Valladolid.

En el caso de Valladolid se presentaron valores continuos de 26% para los periodos de la mañana y de 99% para los nocturnos, esto también indica desajuste en el rango de respuesta del sensor. Para esta estación, el análisis de regresión simple muestra el poco grado de ajuste de la recta de regresión ya que los datos automáticos se encuentran marcando un desajuste en el sensor, en donde los extremos son 96 y 25% de humedad.

3.4.1.3 Presión

Estaciones dentro del rango de tolerancia

Para el caso de la presión atmosférica, los valores de los coeficientes de determinación son menores que los encontrados para la temperatura, aún para las estaciones dentro del rango de tolerancia. La Paz con un coeficiente de determinación de 0.93, Lagos de Moreno con 0.98 y Campeche con 0.83. Los coeficientes de determinación presentaron un ajuste de 88% para La Paz, 97% para Lagos de Moreno y de sólo 69% para Campeche. El análisis de regresión para Lagos de Moreno presenta un buen ajuste de los datos (figura 3.11)

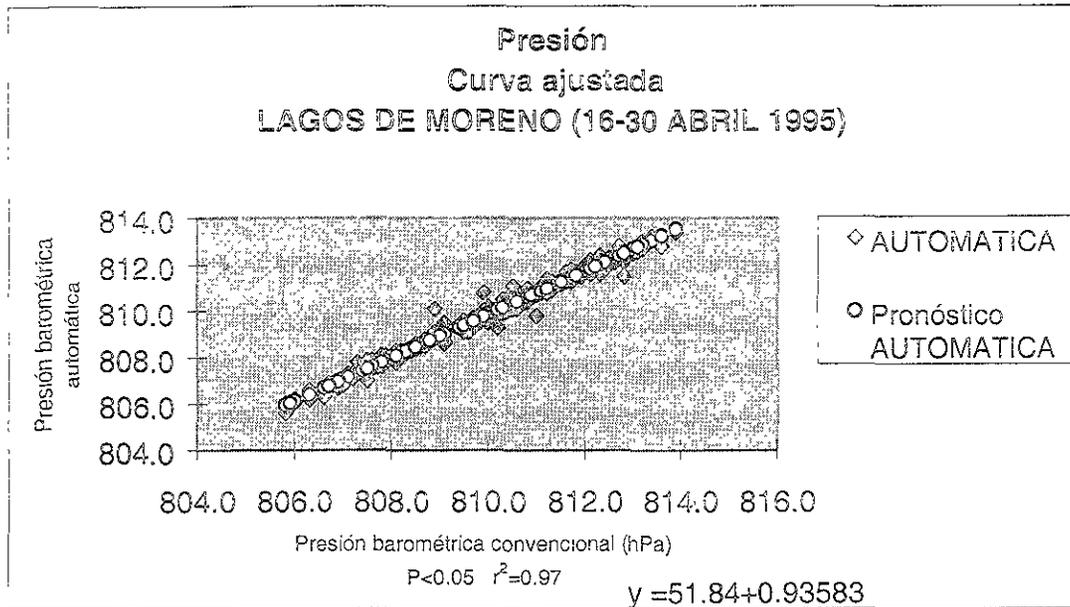


Figura 3.11 Análisis de regresión para la presión convencional y automática en el observatorio de Lagos de Moreno

Estaciones fuera del rango de tolerancia

Los coeficiente de determinación fueron bajos para Nuevo Casas Grandes con 0.65 y para Aguascalientes con 0.62, mientras que para Valladolid fue de 0.95. Se encontró muy poco ajuste para Nuevo Casas Grandes y Aguascalientes y buen ajuste para Valladolid.

Se muestra la figura de regresión de Nuevo Casas Grandes como ejemplo de la dispersión (figura 3.12)

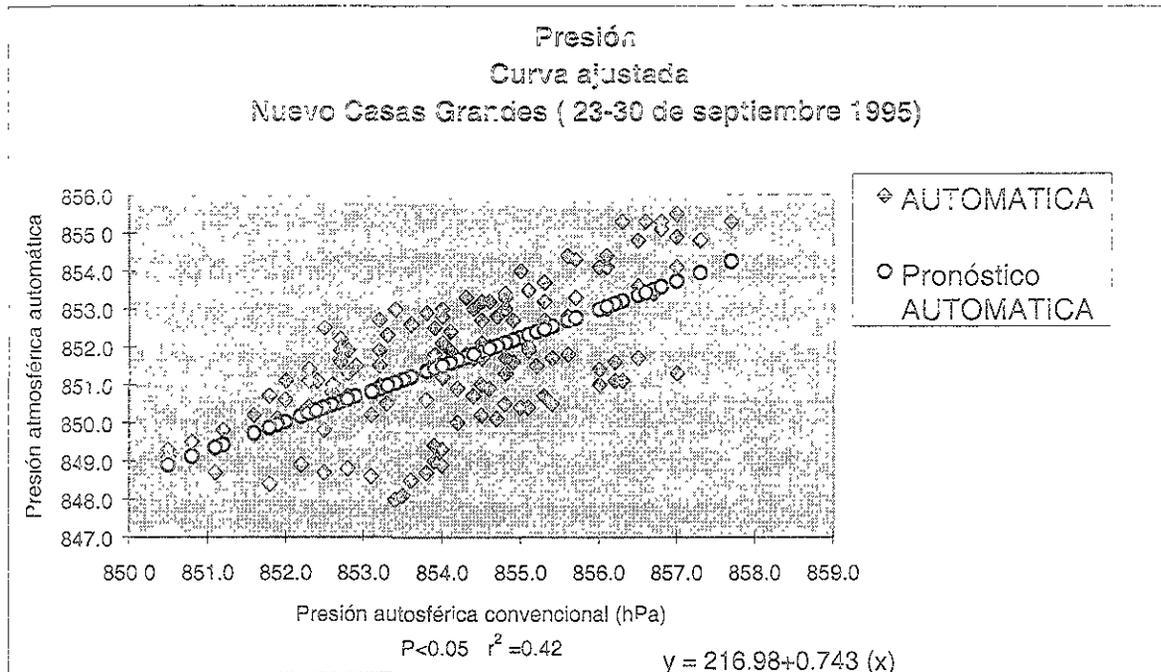


Figura 3.12 Análisis de regresión para la presión automática y convencional en el observatorio de Nuevo Casas Grandes.

3.4.2 Resultados de las pruebas de t de Student

Se aplicó la prueba de t suponiendo las dos muestras de observaciones: la muestra uno es la que corresponde a las observaciones automáticas y la muestra dos a las observaciones convencionales. Para esta prueba se supusieron desviaciones estándar (σ_1 y σ_2) desconocidas y se incluyeron las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula: $H_0 = \mu_1 = \mu_2$ (medias muestrales iguales)

Hipótesis alternativa: $H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$ (medias muestrales diferentes)

Para todas las pruebas se utilizó un probabilidad de 95% ($P \leq 0.05$)

En estas pruebas, los resultados deben observarse tomando en cuenta el número de observaciones de cada validación que influye directamente en los grados de libertad de la prueba. Estos difieren entre cada estación: por ejemplo la estación con mayor número de observaciones simultaneas durante las validaciones fue La Paz, con 648 grados de libertad, mientras que Aguascalientes solo presentó 158 (Tabla 3.6).

3.4.2.1 Temperatura

Para estaciones dentro del rango de tolerancia

Para la estación de La Paz, la varianza es de 10.7 con 648 grados de libertad, para Lagos de Moreno es de 30.6 con 388 grados de libertad y para Campeche de 10.4 con 528 grados de libertad. El valor de t es de -1.2 para La Paz, de -0.09 para Lagos y de -0.49 para Campeche. Las estaciones de La Paz y Campeche presenta una varianza más baja que Lagos de Moreno ya que el número de observaciones en las dos primeras fue mayor y el rango de mediciones fue de 24 horas continuas. Mientras que Lagos de Moreno presentó pocas observaciones simultáneas y estas fueron realizadas cada 3 horas.

Para las tres estaciones el valor crítico para las dos colas fue de 1.96 y las varianzas de las dos muestras son diferentes, por lo que se acepta la hipótesis nula, es decir las muestras son iguales. De esto lo que se deduce que para las estaciones automáticas dentro del rango de tolerancia las diferencias entre estación automática y convencional son muy bajas y pueden ser sustituidos los valores manuales por los obtenidos por la EMA

Para estaciones fuera del rango de tolerancia

Las varianzas fueron muy altas Nuevo Casas Grandes 33.2, con 266 grados de libertad, Aguascalientes con varianza de 46.9 y 666 grados de libertad y Valladolid con 7.62 y 324 grados de libertad. Para el caso de Valladolid las observaciones se realizaron en periodos diurnos de 6:00 a 18:00 h y sus varianzas no son tan significativas como en el caso de Nuevo Casas Grandes y Aguascalientes en donde las diferencias entre estación automática y convencional fueron más altas. En este caso se acepta la hipótesis alternativa en la que las muestras son diferentes.

3.4.2.2 Humedad Relativa

Para estaciones dentro del rango de tolerancia

Las varianzas fueron muy altas para La Paz con 143.6 con 648 grados de libertad, de 30.6 y 388 grados de libertad para Lagos de Moreno, y de 253.8 con 588 grados de libertad para Campeche. Tanto en La Paz como en Campeche, el número de observaciones es mayor y más continuo que para el caso de Lagos de Moreno. En este caso para Campeche y La Paz las medias muestrales son diferentes y para Lagos de Moreno son iguales.

Para estaciones fuera del rango de tolerancia

Las varianzas son muy altas: 1023 para Nuevo Casas Grandes, 243 para Aguascalientes y más baja para Valladolid con 9.7. Esto se explica por las amplias diferencias entre los sensores automáticos y convencionales. En el caso de Nuevo Casas Grandes las diferencias máximas llegaron a ser de 43.3% arriba del convencional en promedio, Para Aguascalientes estas diferencias máximas fueron de 19% arriba del convencional y para Valladolid de -33% (por abajo del valor convencional). En el caso de la humedad relativa las medias muestrales son diferentes por lo que los datos automáticos no son confiables.

3.4.2.3 Presión

Para estaciones dentro del rango de tolerancia

Para La Paz la varianza fue de 3.9 con 648 grados de libertad, para Lagos de Moreno fue de 3.2 con 388 grados de libertad y para Campeche fue de 18.3 con 528 grados de libertad. Esto indica las diferencias máximas registradas en los periodos de validación, para La Paz la diferencia máxima promedio fue de 1.7 para Lagos de Moreno fue de 0.3 y para Campeche de 4.0 hPa.

Para estaciones fuera del rango de tolerancia

Para Nuevo Casas Grandes la varianza es baja con 3.1 con 254 grados de libertad, para Aguascalientes es de 13.3 con 158 grados de libertad y para Valladolid de 10.9 con 324 grados de libertad. La estación de Aguascalientes presenta mayor variabilidad en sus valores porque sólo se tomaron 3 observaciones simultaneas diarias durante el periodo de validación.

En la mayoría de los casos de las pruebas de t de student, las varianzas son diferentes para las muestras de observaciones automáticas y convencionales por lo que se acepta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que explica que las varianzas son distintas. En ninguno de los casos las dos muestras son semejantes ya que presentan medias diferentes.

Por otro lado al observar que las estaciones con varianzas más pequeñas como fueron la presión en Nuevo Casas Grandes con 3.1hPa y de 3.2 hPa en Lagos de Moreno, indican que los valores de los datos de la EMA pueden estar fuera o dentro del rango de tolerancia de las diferencias, pero su comportamiento es homogéneo a lo largo de las comparaciones hora con hora.

Los valores de humedad relativa son muy variables en sus diferencias en todas las estaciones seleccionadas ya que sus varianzas resultaron altas en la mayoría de las estaciones. Las variaciones de las diferencias horarias de la humedad relativa son muy altas.

Las diferencias obtenidas en la red de estaciones automáticas en México se encuentran muy alejadas de las que recomienda la OMM y en comparación con los resultados en otros países. Se ha comprobado en la práctica que ni aún en la estación Tacubaya que, por encontrarse en las oficinas centrales del Servicio Meteorológico Nacional y que cuenta con mantenimiento y calibración constante de sus sensores; alcanza estos valores de precisión. Todos los esfuerzos de calibración de los equipos deber ser realizados en sitio y encaminados a evitar la deriva de los valores en el tiempo, principalmente los relativos a la humedad y a la presión.

CAPÍTULO 4

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL REGISTRO DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS AUTOMÁTICOS Y CONVENCIONALES

4.1 PRINCIPIOS FÍSICOS DE OPERACIÓN

Los resultados obtenidos en el capítulo anterior muestran que, de manera general, cada una de las estaciones automáticas muestra un patrón de comportamiento particular al compararla con el instrumental convencional, lo que está indicando que aún cuando las estaciones automáticas sean del mismo modelo y de la misma marca, existen otros factores que influyen en que los registros en ambos sistemas sean diferentes. En este capítulo se analizan dichos factores y como pueden modificar los valores de los sensores automáticos en sitio.

Uno de los factores que están influyendo fuertemente en las diferencias entre los valores de las estaciones automáticas y convencionales es el principio físico de operación de los instrumentos automáticos que difieren con respecto al de los convencionales.

Como se mencionó en el primer capítulo, los instrumentos convencionales tienen menor tiempo de respuesta a los cambios que los automáticos. Los instrumentos convencionales se basan en principios de cambios mecánicos y los automáticos en cambios eléctricos dados en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1 PRINCIPIOS DE OPERACION DE INSTRUMENTAL CONVENCIONAL Y AUTOMÁTICO

PARÁMETRO	SENSOR AUTOMÁTICO	SENSOR CONVENCIONAL
TEMPERATURA	Elemento de medición pt100, resistencia de platino Precisión: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	Psicrómetro Dilatación del mercurio Precisión: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
HUMEDAD RELATIVA	Haz de cabellos Precisión $\pm 2\%$	Psicrómetro Equivalencia del bulbo húmedo con la humedad del aire Precisión: $\pm 3\%$

4.2 PARÁMETROS METEOROLÓGICOS QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SENSORES AUTOMÁTICOS

Easterling (1995) ha determinado que existen correlaciones muy claras entre las diferencias entre los valores automáticos y convencionales con el comportamiento de otros parámetros meteorológicos como son la presión y el viento. En ciertas estaciones encontró una alta correlación entre las diferencias de temperatura y viento. Durante los periodos matutinos se encontró que la baja intensidad del viento no influía en las diferencias entre las temperaturas medidas con instrumental automático y convencional. Durante los periodos vespertinos y nocturnos, encontró que las diferencias se vuelven más grandes debidas a las intensidades altas del viento. Esto podía deberse a la ventilación que ejerce el viento sobre los sensores automáticos de temperatura que se encuentran más expuestos que los termómetros convencionales dentro de una garita.

Por otro lado Mc Keen (1996) propone tomar en cuenta también los efectos de la radiación solar con la siguiente ecuación:

$$\Delta T = \Delta T_i + \Delta T_l + \Delta T_s$$

donde:

ΔT : es la diferencias de temperatura entre estación automática y convencional

i: es la desviación del instrumento

l: es el efecto local (refendo al efecto de ventilación por viento)

s: es el efecto solar

El efecto es diferente durante el día que durante la noche. De tal forma que $\Delta T_s = 0$ en periodos nocturnos. Durante los días despejados y vientos débiles puede disminuirse el efecto local que menciona McKeen. En estas condiciones en periodos nocturnos, sin nubes y sin vientos fuertes es relativamente fácil obtener la diferencia de temperatura debida sólo al instrumento (ΔT_i)

Con el fin de identificar las posibles relaciones entre las diferencias con el comportamiento de otros parámetros meteorológicos en las estaciones automáticas instaladas en México se procedió a realizar pruebas de correlaciones entre las diferencias horarias de temperatura, humedad y presión con los valores horarios de viento, insolación y nubosidad para las estaciones con menores variaciones en sus diferencias térmicas en un periodo de validación dado analizados en el capítulo anterior. Estas estaciones son Valladolid, Campeche, Nuevo Casas Grandes, Lagos de Moreno y La Paz.

Para este análisis se utilizó una prueba de regresión simple, obteniendo como resultado un coeficiente de determinación que se incluye en la Tabla 4.2. Se observa que los coeficientes de determinación en general son bajos en todas las estaciones seleccionadas. Sin embargo se revisaron de manera especial aquellos que presentaron coeficientes de determinación iguales o mayores a 0.5. con la finalidad de poder encontrar una explicación de las diferencias debidas a parámetros meteorológicos.

El factor viento se eligió por el posible efecto de la ventilación de este sobre los sensores de temperatura y humedad. En estos sensores, al encontrarse más expuestos a la intemperie que los sensores convencionales (psicrómetro) dentro de la garita, las diferencias pueden aumentar, sobre todo en las horas de la tarde en que se presenta mayor intensidad del viento.

La influencia de la insolación se tomó en cuenta para verificar la ecuación de Mc Keen, en donde se asume que la insolación influye sobre los sensores. Para ello se analizó si el valor de insolación (horas sol/día) puede explicar las diferencias en los sensores automáticos de temperatura principalmente.

Por otra parte, también se consideró la nubosidad como factor que puede influir en las diferencias de valores convencionales y automáticos. Los sensores de la estación automática, presentan gran sensibilidad a los cambios de nubosidad, en específico al paso de las nubes que interceptan la radiación directa del sol. Según un experimento realizado en el Observatorio de Tacubaya, al colocar un termómetro de mercurio dentro del abrigo termométrico de la EMA se observaron diferencias en los valores de ambos instrumentos en un día medio nublado con paso frecuente de sombras sobre los sensores como se muestra en la Tabla 4.3

TABLA 4.2 COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN PARA LAS ESTACIONES SELECCIONADAS

ESTACION	VARIABLES	COEFICIENTES DE DETERMINACION
VALLADOLID, YUC	TEMPERATURA-VIENTO	0.08
	TEMPERATURA-INSOLACIÓN	0.03
	TEMPERATURA-NUBOSIDAD	0.21
	HUMEDAD-VIENTO	0.03
	HUMEDAD-INSOLACIÓN	0.61
	HUMEDAD-NUBOSIDAD	0.34
	PRESIÓN-VIENTO	0.01
	PRESIÓN-INSOLACIÓN	0.60
	PRESIÓN-NUBOSIDAD	0.34
CAMPECHE, CAMP	TEMPERATURA-VIENTO	0.17
	TEMPERATURA-INSOLACIÓN	0.44
	TEMPERATURA-NUBOSIDAD	0.04
	HUMEDAD-VIENTO	0.06
	HUMEDAD-INSOLACIÓN	0.28
	HUMEDAD-NUBOSIDAD	0.06
	PRESIÓN-VIENTO	0.46
	PRESIÓN-INSOLACION	0.63
	PRESIÓN-NUBOSIDAD	0.05
NVO CASAS GRANDES, CHIH	TEMPERATURA-VIENTO	0.15
	TEMPERATURA-INSOLACIÓN	0.70
	TEMPERATURA-NUBOSIDAD	0.08
	HUMEDAD-VIENTO	0.56
	HUMEDAD-INSOLACIÓN	0.10
	HUMEDAD-NUBOSIDAD	0.06
	PRESIÓN-VIENTO	0.36
	PRESIÓN-INSOLACIÓN	0.39
	PRESIÓN-NUBOSIDAD	0.07
LAGOS DE MORENO, JAL	TEMPERATURA-INSOLACIÓN	0.27
	TEMPERATURA-NUBOSIDAD	0.16
	HUMEDAD-INSOLACIÓN	0.23
	HUMEDAD-NUBOSIDAD	0.14
	PRESIÓN-INSOLACIÓN	0.03
	PRESIÓN-NUBOSIDAD	0.11
LA PAZ, BCS	TEMPERATURA-VIENTO	0.33
	TEMPERATURA-INSOLACION	0.59
	TEMPERATURA-NUBOSIDAD	0.24
	HUMEDAD-VIENTO	0.20
	HUMEDAD-INSOLACIÓN	0.20
	HUMEDAD-NUBOSIDAD	0.54
	PRESIÓN-VIENTO	0.50
	PRESIÓN-INSOLACIÓN	0.24
	PRESIÓN-NUBOSIDAD	0.44

Elaboró: Leticia Gómez

TABLA 4.3 DIFERENCIAS DE TEMPERATURA CONVENCIONAL Y AUTOMÁTICA EN UN PERIODO DE PASO DE NUBES SOBRE LOS SENSORES

(Tacubaya)

FECHA	HORA	TEMPERATURA TERMÓMETRO DE MERCURIO	TEMPERATURA TERMÓMETRO DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA	DIFERENCIAS	NUBOSIDAD
14 JUL 1993	12:00	22.5	-	-	-
	12:10	22.5	21.6	0.9	DESPEJADO
	12:20	22.8	21.8	1	DESPEJADO
	12:30	22.7	22.4	0.3	DESPEJADO
	12:40	22.0	22.4	-0.4	PASO DE NUBES SOBRE EL SENSOR
	12:50	22.7	21.8	0.9	PASO DE NUBES SOBRE EL SENSOR
	13:00	22.5	22.3	0.2	DESPEJADO
	13:10	23.2	22.1	1.1	PASO DE NUBES SOBRE EL SENSOR
	13:20	23.5	22.8	0.7	DESPEJADO
	13:30	22.9	23.1	0.2	DESPEJADO
	13:40	23.9	22.3	1.6	PASO DE NUBES SOBRE EL SENSOR
	13:50	23.9	23.4	0.5	DESPEJADO
	14:00	23.9	23.6	0.3	PASO DE NUBES SOBRE EL SENSOR

Estos resultados apuntaban a una fuerte influencia de la nubosidad en las diferencias de temperatura en períodos cortos de tiempo aunados a los distintos tiempos de respuesta del instrumental, por lo menos para el caso de la estación de Tacubaya. Sin embargo, de acuerdo con los coeficientes de determinación obtenidos no todos los parámetros influyen en las diferencias de temperatura, humedad y presión, ya que en sólo seis casos los valores de la insolación influyeron sobre las diferencias.

De acuerdo con la tabla 4.2 para la estación de Valladolid, la más alta correlación se presentó entre las diferencias de humedad y de insolación con un coeficiente de 0.61. Para la estación de Campeche los índices más altas fueron las de las diferencias de presión e insolación con 0.63, presión y viento con 0.46. Para la estación Nuevo Casas Grandes, las correlaciones altas fueron de las diferencias de temperatura e insolación con 0.70 y la diferencia de humedad y viento con 0.56.

Para el caso de Lagos de Moreno, el mayor coeficiente de determinación fue el de temperatura e insolación con un coeficiente de determinación de 0.27, seguido de las diferencias de humedad e insolación con coeficiente de 0.23

Para la estación de La Paz las diferencias de temperatura e insolación presentó un coeficiente de 0.59, el de las diferencia de humedad y nubosidad fue de 0.54 y el de la diferencia de presión y viento con 0.50.

Esto indica que las diferencias entre estaciones automática y convencional sólo puede verse influida como máximo en un del 70% del comportamiento de los parámetros viento, nubosidad e insolación.

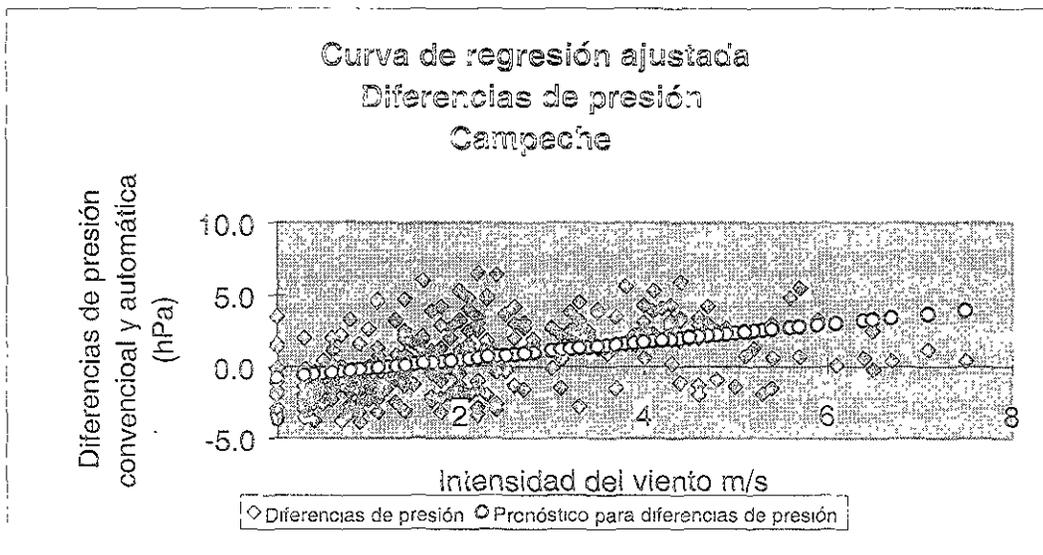


Figura 4.1 Efecto del viento en las diferencias de presión convencional-automática en Campeche, Cam. del 18 de diciembre de 1995 al 1 de enero de 1996

En la figura 4.1 de la curva de regresión para las diferencias de presión con respecto al comportamiento de la intensidad del viento, se observa que a medida que la intensidad del viento aumenta se esperaría una mayor diferencia en las diferencias de presión.

En la figura 4.2 se presenta el comportamiento de las temperaturas con la insolación para la EMA de Casas Grandes con un coeficiente de 0.70. Para esta estación, durante los periodos diurnos de mayor insolación, las diferencias de temperatura son bajas y para los periodos de menor insolación y durante las noches, las diferencias son más altas. Tal como se muestra en la curva de regresión ajustada.

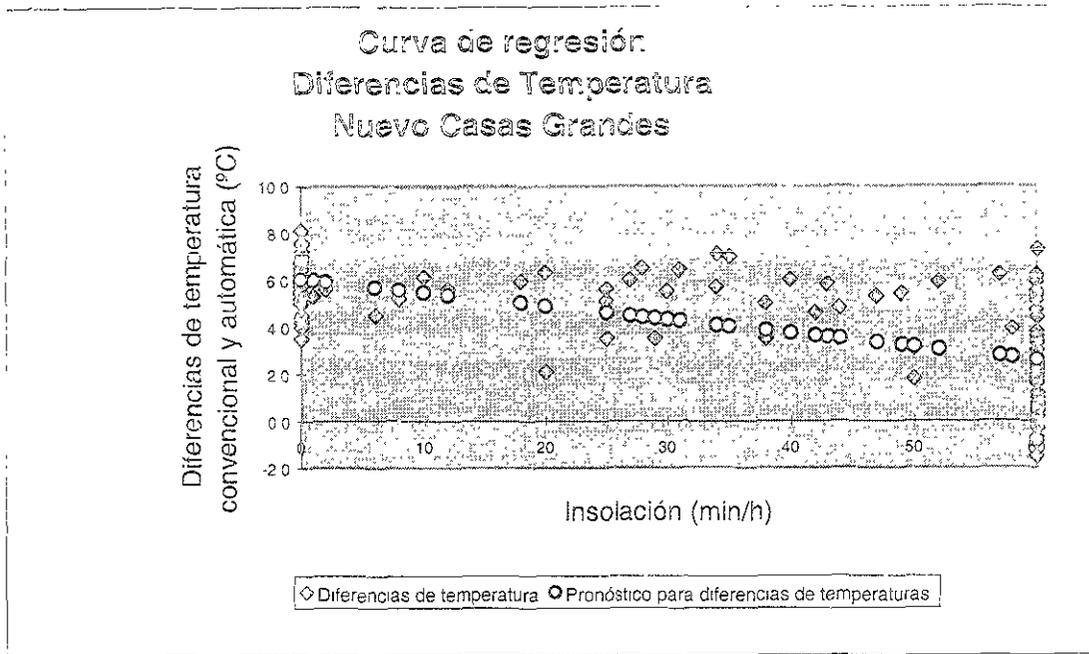


Figura 4.2 Efecto de la insolación en las diferencias de temperatura (convencional-automática) en Nuevo Casas Grandes, Chih. del 23 al 30 de septiembre de 1996

En la figura 4.3 se relacionan, las diferencias de la temperatura y la insolación para la estación de La Paz. En esta estación se observa que las diferencias no son tan variables ni tan altas como en las otras estaciones y que para periodos nocturnos las diferencias son mayores que durante el día. El coeficiente de determinación fue de 0.59.

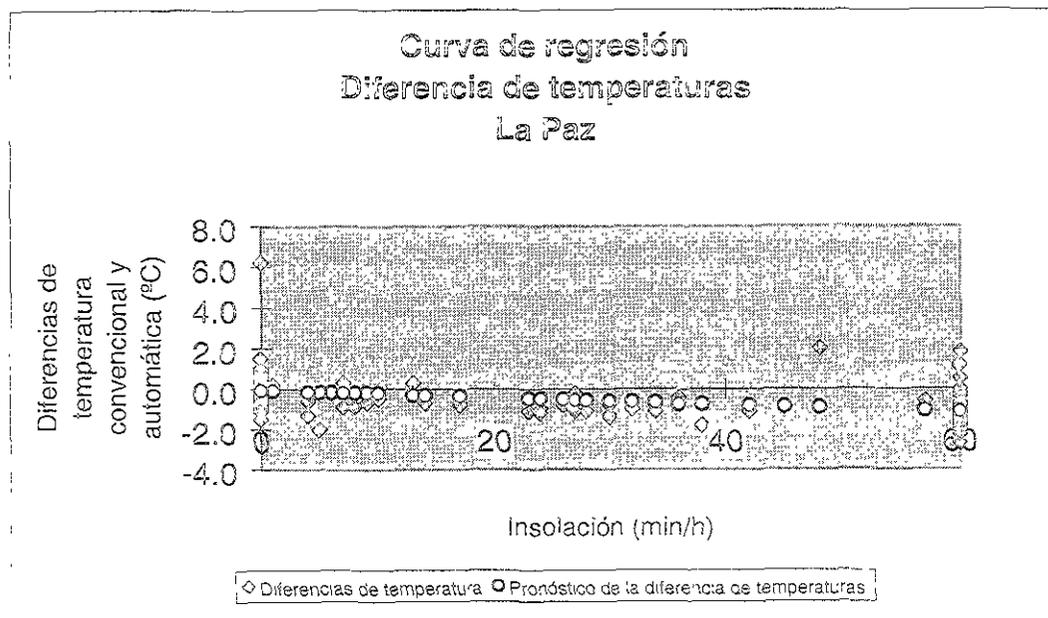


Figura 4.3 Efecto de la insolación en las diferencias de temperatura convencional-automática en La Paz, BCS. del 1 al 15 de noviembre de 1995

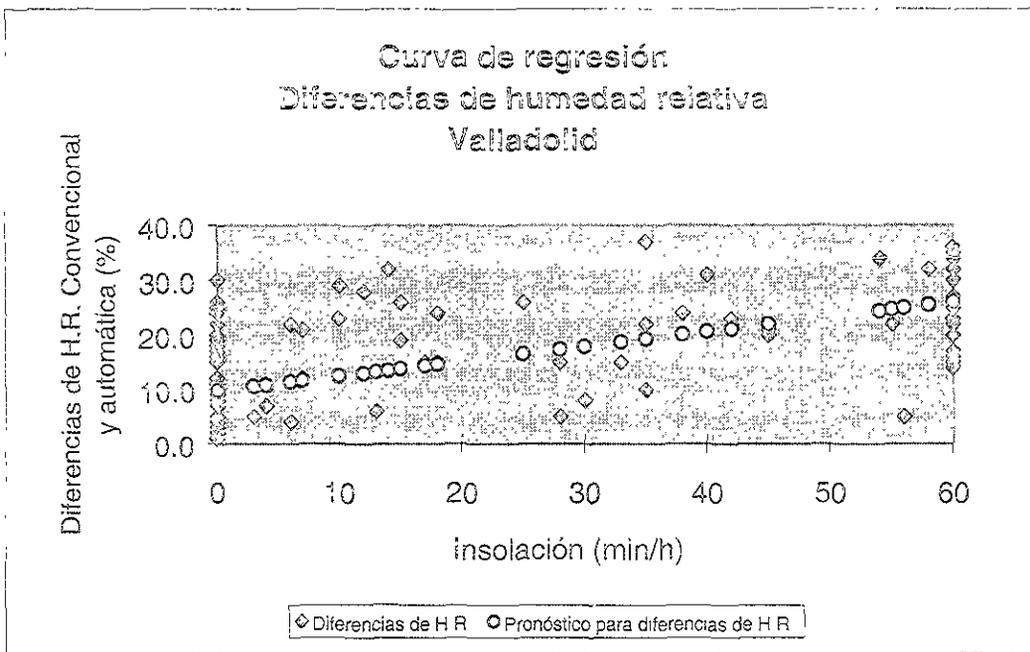


Figura 4.4 Efecto de la insolación en las diferencias de humedad relativa convencional-automática en Valladolid, Yuc. del 2 al 16 de octubre de 1995

En la figura 4.4 de la estación de Valladolid las diferencias de humedad con los valores de insolación con un coeficiente de determinación de 0.61 muestran que a medida que aumenta la insolación se espera una mayor diferencia en las temperaturas.

Los resultados obtenidos de las correlaciones indican que el parámetro de insolación es el que influye en la mayoría de los casos, en las diferencias de temperatura, humedad y presión. Esto, de acuerdo a Mc Keen esta indicando una fuerte variación diurna de las diferencias como ya se indicó en el capítulo anterior. Sin embargo los coeficiente de determinación de las diferencias de los valores automáticos con la insolación no son altamente significativos, en el caso de las EMAs en México. La variación de las diferencias de la temperatura son inversamente proporcionales a la insolación. Durante el día las diferencias de temperatura son mayores que en periodos nocturnos o días con poca insolación (de 0 a 2 h en un día). Sin embargo, con las diferencias de presión y de humedad se observa una relación directa sólo en el caso de La Paz.

4.3 DIFERENCIAS DE EMPLAZAMIENTO DE LOS SENSORES

Dado que las correlaciones no resultaron lo suficientemente claras para las estaciones estudiadas, se procedió a investigar otros factores que pueden afectar las diferencias entre medidas. Uno de estos factores es el emplazamiento de la estación.

De acuerdo con un cuestionario enviado a cada observatorio en donde se solicitó la inclusión de fotografías que mostraran el emplazamiento de cada sensor y las posibles interferencias con las que cuenta, se pudieron obtener las condiciones de ubicación de las EMAS que se muestran en la tabla 4.4. Como se puede apreciar, la mayoría de las estaciones presentan obstáculos importantes a uno o varios sensores a la vez. Estos obstáculos pueden ser árboles, bardas, edificios y otros que, obviamente, no fueron considerados en el momento de la instalación de cada sensor automático.

A continuación se presentan los obstáculos de cada sensor para las estaciones y como pueden influir en los valores de los parámetros obtenidos por las EMAS. Observemos primero los obstáculos reportados para las estaciones cuyas diferencias entre sensores automáticos y convencionales están dentro del rango de tolerancia.

Campeche

Se cuenta con un buen emplazamiento de sus sensores. Sin problemas de sombras sobre de ellos. Sus valores de diferencias se encuentran dentro de los rangos de tolerancia y el parámetro que afecta directamente a los sensores es la insolación sobre la presión durante el día y sobre las diferencias de temperatura de manera directa también.

Lagos de Moreno

Esta estación se encuentra instalada en una azotea del observatorio rodeada de casas habitación de 2 pisos y la superficie es de cemento. Obviamente el problema de emplazamiento no es sólo de la EIMA sino de todo el observatorio en sí. Esto afecta a los sensores de temperatura y humedad, ya que se encuentran a 1.50 m de una superficie de mayor temperatura que una cubierta de pasto. Sin embargo sus diferencias de temperatura, humedad y presión se encuentran dentro de la normal. Obviamente debido a que los instrumentos convencionales se encuentran en las mismas condiciones de emplazamiento que los automáticos, la insolación suele influir sólo en las diferencias de humedad de manera directa, es decir que a mayor insolación mayor diferencia de humedad relativa.

TABLA 4.4 PROBLEMAS DE EMPLAZAMIENTO DE LOS SENSORES

ESTACION	TEMPERATURA	HUMEDAD	PRESION	LLUVIA
ACAPULCO	AL PARECER SE PRESENTA SOMBRAS SOBRE TODOS LOS SENSORES, ESPECIALMENE AL ATARDECER EXISTE UNA COLINA COMO OBSTACULO	AL PARECER SE PRESENTA SOMBRAS SOBRE TODOS LOS SENSORES, ESPECIALMENE AL ATARDECER EXISTE UNA COLINA COMO OBSTACULO	AL PARECER SE PRESENTA SOMBRAS SOBRE TODOS LOS SENSORES, ESPECIALMENE AL ATARDECER EXISTE UNA COLINA COMO OBSTACULO	NO PRESENTA OBSTACULOS
AGUASCALIENTES	PRESENTA SOMBRAS POR ARBOLES DE UN PARQUE COLINDANTE AL OBSERVATORIO EN LOS MESES DE OCTUBRE A NOVIEMBRE	PRESENTA SOMBRAS POR ARBOLES DE UN PARQUE COLINDANTE AL OBSERVATORIO EN LOS MESES DE OCTUBRE A NOVIEMBRE	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO	PRESENTA SOMBRAS POR ARBOLES DE UN PARQUE COLINDANTE AL OBSERVATORIO EN LOS MESES DE OCTUBRE A NOVIEMBRE
CAMPECHE	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO
CD CONSTITUCION	AL PARECER, SIN PROBLEMAS DE EMPLAZAMIENTO	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO
COLIMA	REUBICACION DEL OBSERVATORIO EN 1997			
CUERNAVACA	CERCANO A UNA BARDA DE CEMENTO	CERCANO A UNA BARDA DE CEMENTO	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPOR TA NINGUN OBSTACULO
DURANGO	SE REPOR TA QUE LA CERCA PERIMETRAL PROVOCA SOMBRA DURANTE LA PUESTA DEL SOL ASI COMO ALGUNOS ARBOLES FUERA DEL TERRRENO DEL OBSERVATORIO	SE REPOR TA QUE LA CERCA PERIMETRAL PROVOCA SOMBRA DURANTE LA PUESTA DEL SOL ASI COMO ALGUNOS ARBOLES FUERA DEL TERRRENO DEL OBSERVATORIO	SE REPOR TA QUE LA CERCA PERIMETRAL PROVOCA SOMBRA DURANTE LA PUESTA DEL SOL ASI COMO ALGUNOS ARBOLES FUERA DEL TERRRENO DEL OBSERVATORIO	SE REPOR TA QUE LA CERCA PERIMETRAL PROVOCA SOMBRA DURANTE LA PUESTA DEL SOL ASI COMO ALGUNOS ARBOLES FUERA DEL TERRRENO DEL OBSERVATORIO
FPE CARRILLO PTO	EN GENERAL EL OBSERVATORIO SE ENCUENTRA RODEADO DE VEGETACION	EN GENERAL EL OBSERVATORIO SE ENCUENTRA RODEADO DE VEGETACION	EN GENERAL EL OBSERVATORIO SE ENCUENTRA RODEADO DE VEGETACION	EN GENERAL EL OBSERVATORIO SE ENCUENTRA RODEADO DE VEGETACION
HERMOSILLO	EL ENCARGADO REPOR TA QUE HAY SOMBRAS POR ARBOLES A 15 m DE DISTANCIA DURANTE TODO EL AÑO	EL ENCARGADO REPOR TA QUE HAY SOMBRAS POR ARBOLES A 15 m DE DISTANCIA DURANTE TODO EL AÑO	EL ENCARGADO REPOR TA QUE HAY SOMBRAS POR ARBOLES A 15 m DE DISTANCIA DURANTE TODO EL AÑO	EL ENCARGADO REPOR TA QUE HAY SOMBRAS POR ARBOLES A 15 m DE DISTANCIA DURANTE TODO EL AÑO
LAGOS	LA ESTACION AUTOMATICA SE ENCUENTRA INSTALADA EN UNA AZOTEA RODEADA DE CASAS DE 2 PISOS LA SUPERFICIF ES DE CEMENTO	LA ESTACION AUTOMATICA SE ENCUENTRA INSTALADA EN UNA AZOTEA RODEADA DE CASAS DE 2 PISOS LA SUPERFICIE ES DE CEMENTO	LA ESTACION AUTOMATICA SE ENCUENTRA INSTALADA EN UNA AZOTEA RODEADA DE CASAS DE 2 PISOS LA SUPERFICIF ES DE CEMENTO	LA ESTACION AUTOMATICA SE ENCUENTRA INSTALADA EN UNA AZOTEA RODEADA DE CASAS DE 2 PISOS LA SUPERFICIE ES DE CEMENTO
LAPAZ	UN EDIFICIO AL ESTE A 70 m PROVOCA SOMBRAS Y CASAS SITUADAS A 50 m AL OESTE DURANTE EL VERANO UNOS EUCALIPTOS DE 5 m DE ALTURA A UNOS 10 m DE DISTANCIA AL WNW LA ESTACION DEJO DE FUNCIONAL EN SEPTIEMBRE DE 1996 DEBIDO AL BANDO DEL TURKACAL CAUETO	UN EDIFICIO AL ESTE A 70 METROS PROVOCA SOMBRAS Y CASAS SITUADAS A 50 m AL OESTE DURANTE EL VERANO UNOS EUCALIPTOS DE 5 m DE ALTURA A UNOS 10 m DE DISTANCIA AL WNW	UN EDIFICIO AL ESTE A 70 m PROVOCA SOMBRAS Y CASAS SITUADAS A 50 m AL OESTE DURANTE EL VERANO UNOS EUCALIPTOS DE 5 m DE ALTURA A UNOS 10 m DE DISTANCIA AL WNW	UN EDIFICIO AL ESTE A 70 m PROVOCA SOMBRAS Y CASAS SITUADAS A 50 m AL OESTE DURANTE EL VERANO UNOS EUCALIPTOS DE 5 m DE ALTURA A UNOS 10 m DE DISTANCIA AL WNW

TABLA 4.4 PROBLEMAS DE EMPLAZAMIENTO DE LOS SENSORES (cont.)

ESTACION	TEMPERATURA	HUMEDAD	PRESION	LLUVIA
LORETO	SIN PROBLEMAS DE EMPLAZAMIENTO PERO LA EMA NO FUNCIONA DESDE SEPTIEMBRE DE 1997	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO
MANZANILLO	NO PRESENTA OBSTACULOS LOS SENSORES SE ENCUENTRAN CERCANOS A LA ORILLA DE LA LAGUNA DE CUYUTLAN	NO PRESENTA OBSTACULOS LOS SENSORES SE ENCUENTRAN CERCANOS A LA ORILLA DE LA LAGUNA DE CUYUTLAN	NO PRESENTA OBSTACULOS LOS SENSORES SE ENCUENTRAN CERCANOS A LA ORILLA DE LA LAGUNA DE CUYUTLAN	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO
MERIDA	CORTINA DE ARBOLES AL ESTE DE MAS O MENOS 5 m, ZONA DE SELVA BAJA	CORTINA DE ARBOLES AL ESTE DE MAS O MENOS 5 m, ZONA DE SELVA BAJA	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO	CORTINA DE ARBOLES AL ESTE Y EL EDIFICIO DEL OBSERVATORIO Y RADIOSONDEO AL SUR
MONTERREY	ESTACION FUERA DE SERVICIO SE REPORTA LA ANTENA DE LA EMA COMO UNICO OBSTACULO SIN EMBARGO, EN LAS FOTOGRAFIAS SE OBSERVA OBSTACULOS POR UN EDIFICIO DE 3 PISOS AL ESTE DE LA ESTACION Y UNA SERRANIA A LA MISMA DIRECCION	ESTACION FUERA DE SERVICIO SE REPORTA LA ANTENA DE LA EMA COMO UNICO OBSTACULO SIN EMBARGO, EN LAS FOTOGRAFIAS SE OBSERVA OBSTACULOS POR UN EDIFICIO DE 3 PISOS AL ESTE DE LA ESTACION Y UNA SERRANIA A LA MISMA DIRECCION	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO	ESTACION FUERA DE SERVICIO SE REPORTA LA ANTENA DE LA EMA COMO UNICO OBSTACULO SIN EMBARGO, EN LAS FOTOGRAFIAS SE OBSERVA OBSTACULOS POR UN EDIFICIO DE 3 PISOS AL ESTE DE LA ESTACION Y UNA SERRANIA A LA MISMA DIRECCION
NVO CASAS GRAN	EL SENSOR TIENE CERCA UNA CORTINA DE ARBOLES AL LADO ESTE EN LA SALIDA DEL SOL, LA SUPERFICIE ES DE TIERRA, NO DE PASTO	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO	EL SENSOR TIENE UNA COLUMNA DE ARBOLES AL OESTE Y AL ESTE EL EDIFICIO DEL OBSERVATORIO
P NEGRAS	APARENTEMENTE NO SE PRESENTA NINGUN OBSTACULO	APARENTEMENTE NO SE PRESENTA NINGUN OBSTACULO	APARENTEMENTE NO SE PRESENTA NINGUN OBSTACULO	NO SE REPORTA NINGUN OBSTACULO
SALTILLO	SIN INFORMACION	SIN INFORMACION	SIN INFORMACION	SIN INFORMACION
STA ROSALIA	PROBLEMAS DE SOMBRAS AL ATARDECER POR LA PRESENCIA DE UNA SERRANIA AL OESTE DURANTE TODO EL AÑO	PROBLEMAS DE SOMBRAS AL ATARDECER POR LA PRESENCIA DE UNA SERRANIA AL OESTE DURANTE TODO EL AÑO	PROBLEMAS DE SOMBRAS AL ATARDECER POR LA PRESENCIA DE UNA SERRANIA AL OESTE DURANTE TODO EL AÑO	PROBLEMAS DE SOMBRAS AL ATARDECER POR LA PRESENCIA DE UNA SERRANIA AL OESTE DURANTE TODO EL AÑO
TACUBAYA	SE ENCUENTRA MUY CERCANO AL PISO DE CEMENTO	SE ENCUENTRA MUY CERCANO AL PISO DE CEMENTO	SIN PROBLEMA APARENTE	A 5 m DE UNA BARRA PERIMETRAL DE CEMENTO DE 1.4 m DE ALTO
TEPEHUANES	DURANTE LA PUESTA DEL SOL, UNA MONTAÑA AL PONIENTE PRESENTA SOMBRAS A LOS SENSORES	DURANTE LA PUESTA DEL SOL, UNA MONTAÑA AL PONIENTE PRESENTA SOMBRAS A LOS SENSORES	DURANTE LA PUESTA DEL SOL, UNA MONTAÑA AL PONIENTE PRESENTA SOMBRAS A LOS SENSORES	DURANTE LA PUESTA DEL SOL, UNA MONTAÑA AL PONIENTE PRESENTA SOMBRAS A LOS SENSORES
VALLADOLID	EN SENSOR SE ENCUENTRA MAS BAJO QUE LA BARRA QUE LIMITA EL OBSERVATORIO QUE TIENE DEL LADO ESTE A MENOS DE 5 m	EN SENSOR SE ENCUENTRA MAS BAJO QUE LA BARRA QUE LIMITA EL OBSERVATORIO QUE TIENE DEL LADO ESTE A MENOS DE 5 m	PRESENTA SOMBREADO EN LAS HORAS DE LA MAÑANA	LA BARRA DEL OBSERVATORIO PRESENTA OBSTACULO EN EL LADO ESTE Y NORTE A MENOS DE 10 m DE DISTANCIA

Elaboró: Leticia Gómez Mendoza
 Fuente: Observatorios Meteorológicos Sinópticos

Tacubaya

Presenta también un mayor emplazamiento en la azotea de un edificio, sin una superficie de pasto similar al emplazamiento de Lagos de Moreno. No obstante, presenta mayor atención en su mantenimiento periódico, y las diferencias se vigilan continuamente.

La Paz

Se encuentra a 70 m de un edificio de 3 pisos que provoca sombras en los sensores de temperatura, humedad, presión y lluvia, además de la cercanía de árboles a 10 m de distancia de la estación. Sin embargo, sus valores de diferencias se encuentran cercanos a los rangos de tolerancia.

A continuación se presenta el emplazamiento de las estaciones catalogadas fuera del rango de tolerancia.

Nuevo Casas Grandes

El sensor de temperatura y humedad se encuentra cercano a una cortina de árboles que interfiere con el mismo durante la mañana, especialmente durante la salida del sol. El sensor de precipitación cuenta con obstáculos al este y oeste, en este punto el edificio del observatorio obstaculiza la captación de lluvia. Otro elemento importante, es que tanto el equipo convencional como el automático se encuentra sobre el suelo desnudo, sin vegetación.

Las pruebas de correlación indican que las diferencias de temperatura se relacionan con la insolación (variación diurna de las diferencias), sólo que en este caso la correlación es inversa. Especialmente en periodos nocturnos, a mayor insolación las diferencias son mayores. Durante las primeras horas de la mañana de 7 a 10 hrs, las diferencias de temperatura caen bruscamente debido a las sombras presentes en los sensores de temperatura y humedad.

Valladolid

Los sensores de humedad y temperatura se encuentran a menos de 5 m de la barda perimetral de cemento que rodea la estación, lo que representa una gran pantalla de calor a los sensores. El sensor de presión presenta sombras durante la mañana, debidas a dicha barda. Todos los parámetros están fuera de rango de tolerancia y no se presentaron correlaciones significativas con la insolación, el viento o la nubosidad. Lo que nos indica que las diferencias se pueden deber principalmente al emplazamiento de los sensores.

Aguascalientes

Presenta obstáculos a todos los sensores por los árboles de un parque colindante a las instalaciones del observatorio, principalmente en los meses de otoño. Sus diferencias están fuera de rango en todas las validaciones a lo largo del año. No presenta, tampoco ninguna correlación significativa con insolación, viento y nubosidad. En el mismo caso de Nuevo Casas

Grandes, las diferencias se deben al diferente emplazamiento de los instrumentos. Debe tomarse en cuenta que, en esta estación, sólo se realizan tres observaciones diarias.

Para el caso de las EMAs restantes, como se puede observar en la tabla 4.4, la urbanización de las ciudades ha provocado que muchos observatorios que antes se encontraban en la periferia, ahora están rodeados de edificios que impiden la correcta medición de los parámetros tanto convencionales como automáticos. De acuerdo con lo anterior, todas las estaciones presentan en mismo patrón de diferencias y no se observa una correlación común entre dichas diferencias y la insolación, la nubosidad y el viento. Esto indica que las diferencias encontradas son propias de cada estación, de su emplazamiento y del acoplamiento de los sensores.

Otro factor que influye en las diferencias de los valores automáticos y convencionales, es la distancia horizontal y vertical entre ambos tipos de sensores. En la Tabla 4.5 se observan los datos enviados por algunos observatorios en donde se instalaron estaciones automáticas. En este mismo cuadro se aprecian otros factores relacionados con las técnicas de observación utilizadas como son la hora real de las observaciones, el tiempo que permanece abierta la garita meteorológica, en tanto se encuentre ventilado el psicrómetro para la medición de la temperatura y el cálculo de la humedad relativa, el tiempo de ventilación del psicrómetro, la última calibración del barómetro y por último el instrumento convencional con el que se mide la precipitación.

Analizando primero las condiciones de emplazamiento del instrumental, puede observarse que para el caso de la temperatura, las diferencias en la altura del suelo al sensor automático y convencional son de hasta 60 cm como máximo, y sólo en Chetumal se encuentran a la misma altura. En el caso de los sensores de humedad son las mismas que la de temperatura ya que tanto el instrumental convencional (psicrómetro) como el automático se encuentran en un solo instrumento.

En el caso de la precipitación las diferencias no son muy altas, la mayor es de 35 cm.

Las alturas de todos los instrumentos de temperatura y humedad en los observatorios en donde se encuentra sobre superficie sin pasto o en azotea, como en el caso de temperatura deben estar más alejados del suelo, ya que éste sirve como reflector de la radiación del suelo a la atmósfera y que aumenta considerablemente las diferencias, especialmente en las horas del día. Los sistemas automáticos están más expuestos a la radiación que aquellos que se encuentran dentro de la garita.

La presión automática puede verse influida no por la altura de los sensores, sino porque el barómetro de mercurio se encuentra siempre dentro del edificio del observatorio con menores variaciones de temperatura que en la intemperie.

TABLA 4.5 EMPLAZAMIENTO DE SENSORES AUTOMATICOS Y CONVENCIONALES
(LAS DIFERENCIAS ESTAN DADAS EN METROS)

OBSERVATORIO	TEMPERATURA			HUMEDAD			PRESION		
	CONVENCIONAL	AUTOMÁTICO	DIFERENCIA	CONVENCIONAL	AUTOMÁTICO	DIFERENCIA	CONVENCIONAL	AUTOMÁTICO	DIFERENCIA
SANTA ROSALIA, BCS	1.70	1.35	0.35	1.70	1.35	0.35	1.3	0.85	0.45
HERMOSILLO, SON	-	0.41	-	-	0.41	-	-	0.63	-
LA PAZ, BCS	1.40	1.8	0.40	1.40	1.8	0.40	0.9	1.64	0.74
CD CONSTITUCION BCS	1.40	1.99	0.59	1.40	1.99	0.59	0.74	1.84	1.10
LORETO, BCS	1.30	1.89	59.00	1.30	1.89	59.00	-	-	-
ACAPULCO, GRO	-	1.7	-	-	1.7	-	-	1.7	-
VALLADOLID, YUC	-	1.5	-	-	1.5	-	-	0.7	-
MERIDA, YUC	1.62	1.9	-	1.62	1.7	-	0.8	1.45	-
CHETUMAL, Q ROO	1.60	1.6	0.00	1.60	1.6	0.00	4.2	1.42	2.78
MONTERREY, NL	-	0.45	-	-	0.3	-	-	0.9	-
TACUBAYA, D F	1.70	1.5	0.20	1.70	1.5	-0.20	10	15	5.00

TABLA 4.5 EMPLAZAMIENTO DE SENSORES AUTOMÁTICOS Y CONVENCIONALES (cont.)
(LAS DIFERENCIAS ESTAN DADAS EN METROS)

OBSERVATORIO	PRECIPITACION			HORA DE LA OBSERVACION	TIEMPO GÁRITA ABIERTA	TIEMPO DE VENTILACION	ULTIMA COMPARACION DEL BAROMETRO	LECTURA DE PRECIPITACION
	CONVENCIONAL	AUTOMÁTICO	DIFERENCIA	MIN. ANTES DE LA HORA		MIN		
SANTA ROSALIA, BCS	1	0.65	0.35	10	5	3	PRINCIPIOS DE 1995	PLUVIOMETRO
HERMOSILLO, SON	-	0.7	-	20	4	2.5	04/03/87	PLUVIOMETRO Y PLUVIOGRAFO
LA PAZ, BCS	0.95	1.1	0.15	10	5	5	NO SE CONOCE	PLUVIOMETRO
CD CONSTITUCION BCS	1.3	1.1	0.20	10	3	3	Oct de 1994	PLUVIOMETRO Y PLUVIOGRAFO
LORETO, BCS	-	-	-	-	-	-	-	-
ACAPULCO, GRO	-	1.12	-	15	3	3	1991	PLUVIOMETRO
VALLADOLID, YUC	-	0.2	-	10	10 SEG	45 SEG	-	-
MERIDA, YUC	1.3	1.1	-	10	4	3	-	PLUVIOGRAFO
CHETUMAL, Q ROO	1.3	1.03	0.30	10	2.5	1.6	1978	PLUVIOGRAFO
MONTERREY, NL	-	-	-	10	5	5	19/02/93	PLUVIOMETRO Y PLUVIOGRAFO
TACUBAYA, D F	15	12	-3.00	10	3	3	Oct de 1996	PLUVIOMETRO Y PLUVIOGRAFO

Elaboró Leticia Gómez

Fuente: Observatorios Meteorológicos Sinópticos

En el caso de la precipitación la diferencia de alturas puede ocasionar diferencias (como en el caso de Tacubaya) cuando sobrepasan los 2 m ya que los obstáculos pueden ser distintos dependiendo del emplazamiento.

4.4. INFLUENCIA DE LOS METODOS DE OBSERVACIÓN UTILIZADOS

Con relación a los métodos de observación, la mayoría de los observatorios la realizan dentro de los 10 minutos anteriores a la hora en punto. Esto es de acuerdo a una convención nacional de realizar las observaciones de temperatura y humedad relativa 10 minutos antes de la lectura del barómetro la cual se realiza a la hora en punto. Sin embargo, algunos observatorios la realizan 20 minutos o hasta 30 minutos antes con la finalidad de lograr la transmisión de los datos sinópticos vía radio a tiempo, ya que el tráfico de esta información llega a ser muy grande.

En cuanto al tiempo de ventilación de la garita, éste se incluyó porque se observa una disminución en la temperatura en la garita en cuanto más tiempo se encuentra abierta en tanto el observador espera a que la columna de mercurio baje al máximo para realizar la lectura. En este aspecto, cabe mencionar que el tiempo de ventilación depende del sitio en donde se encuentre, por ejemplo, en lugares húmedos es menor que lugares secos. También depende de las condiciones meteorológicas del momento de la observación, por ejemplo, con viento mayor de 20 km/h la temperatura desciende más rápidamente que cuando el viento es débil.

Esto depende en gran medida del tiempo de respuesta del psicrómetro que es mayor que el del termómetro automático, lo que puede ocasionar diferencias. Otro factor relacionado con el anterior es el tiempo de ventilación del psicrómetro.

4.5. INFLUENCIA DE LA CALIBRACIÓN DEL EQUIPO CONVENCIONAL

Otro factor, y que quizá, sea el más crítico es la falta de calibración del instrumental convencional. Respecto a la presión, en la actualidad sólo se calibran los barómetros de mercurio con un barómetro patrón. No se poseen medios para la calibración de sensores convencionales de temperatura y humedad ni de precipitación. La disminución de recursos ha ocasionado que sólo algunos observatorios calibren sus barómetros. Por ejemplo Chetumal, no ha sido calibrado desde 1978, cuando, de acuerdo a las recomendaciones de la OMM, estos instrumentos deben calibrarse cada 2 años.

En cuanto a la lectura de la precipitación, las comparaciones horarias son más confiables si se realizan con el pluviógrafo (siempre y cuando este ajustado correctamente) que con un pluviómetro porque:

- a) al introducir la regla de madera cada hora origina errores en el cálculo de la lluvia y
- b) el error de la lectura y paralaje por parte del observador en la regla de medición

Finalmente otro factor importante es el cambio de observador de turno en turno. No todos los observadores cuentan con la misma capacidad visual, puntualidad y cuidado en su trabajo, la capacidad para realizar cálculos aritméticos para obtener los valores de humedad, tensión del vapor y presión atmosférica. No obstante que a nivel nacional se ha tratado de homogeneizar las técnicas de observación meteorológica, no todos los observadores las siguen.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los resultados de tres años de validaciones constantes en las estaciones automáticas de la red de observatorios sinópticos del Servicio Meteorológico Nacional se ha podido observar que aún contando con la garantía del fabricante de que los equipos están calibrados bajo los estándares que marca la OMM, las estaciones no funcionan de manera satisfactoria en campo.

Analizando los resultados de las diferencias obtenidas entre los valores de los parámetros meteorológicos provenientes de estaciones convencionales y manuales y, tomando ambos valores de forma simultánea, se puede apreciar que el comportamiento de cada estación es un caso particular. De esta manera se encuentran estaciones cuyos sensores de temperatura, humedad y presión se encuentren funcionando con la precisión deseada, y otras estaciones en donde ninguno de los sensores presentan diferencias aceptables con respecto a los convencionales.

En este trabajo, con la finalidad de sistematizar el análisis de los resultados se ha clasificado a las estaciones como aquellas que se encuentran dentro del rango de tolerancia de precisión de sus diferencias y otras que se encuentran fuera de él, considerando el promedio de sus diferencias por casi tres años de comparaciones. Sin embargo el que una estación esté dentro del rango de aceptación de México o de la OMM, no garantiza que sus valores puntuales hora con hora sean totalmente aceptables. Se ha observado que los valores horarios pueden contener datos extremos que en la mayoría de los casos se deben a un mal funcionamiento del sistema de adquisición de los datos o bien a un mal funcionamiento en el software de explotación de los datos, errores aleatorios que no proceden necesariamente de los sensores en sí.

Sin embargo al observar el comportamiento de los coeficiente de correlación altos de algunas estaciones y la obtención de las ecuaciones de las rectas de regresión, se deduce que es muy viable aplicar estas ecuaciones a los valores obtenidos por estaciones automáticas y obtener así datos corregidos y más cercanos a los valores convencionales.

Otro de los puntos importantes a considerar es la homogeneidad en el comportamiento de las diferencias a lo largo de todo el año. Por ejemplo las diferencias de presión atmosférica en Nuevo Casas Grandes con 3.1 hPa y de 3.2 hPa en Lagos de Moreno indican que los valores de los datos de la EMA están fuera del rango de tolerancia de las diferencias, pero su comportamiento es homogéneo a lo largo de las comparaciones hora con hora. Esto sin duda, está indicando un error

sistemático en el sensor que se debe a un corrimiento, que puede remediarse con un simple ajuste manual.

Otros casos indican un mal funcionamiento de los sensores a partir de un valor umbral. Tal es el caso de la estación de La Paz en donde el análisis de regresión simple para la humedad relativa indica que, a pesar de ser una estación dentro de rango de tolerancia, este sensor presenta una gran dispersión para valores mayores del 70%. El caso opuesto es la estación Tacubaya, cuyo sensor de humedad no registra valores abajo del 12%.

De los análisis de regresión entre los valores de las diferencias de temperatura, humedad y presión con los valores de insolación, viento y nubosidad se puede observar que no existe gran correspondencia entre sí, salvo en los casos de los valores de temperatura y humedad con la incidencia de insolación. En estos casos se puede observar el efecto que tiene el acoplamiento de los sensores a los cambios de temperatura diurnos, que vienen a su vez aparejados con el emplazamiento de los sensores y los eventuales obstáculos físicos con los que cuentan tanto la estación convencional como la automática. Existen estaciones con bardas perimetrales muy cercanas a los sensores, otras con árboles que sombrean los instrumentos y los casos extremos como Lagos de Moreno y Tacubaya que se encuentra instalada en la azotea del observatorio rodeada de construcciones y la superficie es de cemento.

Por otro lado existe otro factor que influye sobre las diferencias observadas con el equipo automático y se relaciona con la falta de calibración del instrumental convencional. Como se mencionó en el capítulo cuatro, existen errores significativos debidos a la falta de calibración de los barómetros de mercurio y los sensores de humedad o la falta de limpieza o cambio de muselina del psicrómetro. Pero también existe falta de limpieza y ajuste a los sensores automáticos. Las cazoletas de la EMA tienden a formar sarro en emplazamientos costeros en menos de seis meses, si este sarro no se limpia puede llegarse a romper toda la estructura o afectar el sistema de rodamiento del mismo. El pluviómetro tiende a acumular polvo con facilidad y taponar el pequeño conducto hacia el balancín. El filtro de aire del barómetro se cubre de polvo con facilidad y ocasiona errores en los datos. El abrigo del sensor de humedad tiende a funcionar como panal de abejas o nido de algunas aves. Finalmente los cables conductores de la EMA al módulo interior en las oficinas del observatorio son mordidos por roedores ya que se conducen subterráneamente.

El fabricante de estas estaciones establece como tiempo medio entre fallas para los sensores aquí estudiados de 26,280 horas (3 años), pero en la práctica se observa que con las condiciones ideales de instalación esto se da en promedio en 8 o 12 meses.

Como se puede observar en estaciones con calibraciones constantes y constante mantenimiento de los mismos y cuidando las condiciones de emplazamiento como es el caso de Campeche, Tacubaya y La Paz, los sensores automático de temperatura y humedad en sí pueden funcionar bien a excepción del sensor de humedad el cual es imperativo su cambio por un sensor de tipo higristor que garantiza mayor precisión y facilidad de ajuste que un sensor de arpa de cabellos como el que actualmente se utiliza.

Por último, todos los resultados mostrados en este estudio muestran el comportamiento de las variables en un lapso de tiempo corto. Sin embargo, desde el punto de vista climatológico, los resultados de las diferencias entre los valores convencionales y automáticos a largo plazo tienden a mostrar una desviación importante, si los datos sin corregir de una estación automática se tomaran en cuenta en una serie climatológica de largo periodo (Tabla 5.1).

TABLA 5.1 DIFERENCIAS DE TEMPERATURAS EXTREMAS ANUALES EN TACUBAYA

AÑO	TEMPERATURA		TEMPERATURA		TEMPERATURA		TEMPERATURA	
	MÁXIMA ANUAL CONVENCIONAL	PROMEDIO ANUAL CONVENCIONAL	MÁXIMA ANUAL AUTOMÁTICA	PROMEDIO ANUAL AUTOMÁTICA	MÍNIMA PROMEDIO ANUAL CONVENCIONAL	PROMEDIO ANUAL CONVENCIONAL	MÍNIMA PROMEDIO ANUAL AUTOMÁTICA	PROMEDIO ANUAL AUTOMÁTICA
1993	24.0		24.1		11.2		12.3	
1994	24.5		24.0		11.3		12.5	
1995	24.5		23.7		11.9		12.5	

Como se observa en la tabla los promedios anuales obtenidos de comparaciones diarias entre la temperaturas extremas de la estación Tacubaya durante 3 años, muestran importantes diferencias. Por un lado las temperaturas máximas tienden a mostrar una diferencia cada vez más grande a lo al paso del tiempo. Las diferencias de las temperaturas mínimas son aún más grandes, la temperatura mínima de la estación automática es hasta 1.2 °C más alta que la convencional.

En este sentido es importante tener cuidado en la aplicación de estos datos generados por los sistemas automáticos para estudios de carácter climatológico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La fabricación de equipo meteorológico automático cada vez más sofisticado ha sobrepasado las recomendaciones de la OMM para su utilización. En muchos países se instala este equipo y para la codificación se siguen utilizando claves antiguas y se ha perdido el control de lo que realmente requiere el usuario. En este sentido, el problema con la instalación de estaciones automáticas no es el de tratar de que estos nuevos sistemas de adquisición de datos se adapten a los viejos sistema de almacenamiento y control de datos, sino adecuar los actuales formatos de captura para incluir tanto los datos automáticos como los tradicionales

Ante el adelanto tecnológico de los sistemas automáticos de observación, que cada vez tienden a automatizar inclusive los parámetros sensoriales, la OMM entre las décadas de los ochentas y noventas, no impuso recomendaciones específicas sobre el uso de estos equipos. Fue hasta finales de esta década, que la OMM ha dado algunas recomendaciones muy generales a los países miembros sobre su utilización, haciendo hincapié en que cada servicio meteorológico nacional debe asumir el grado de desarrollo tecnológico en el que se encuentra y cuales pueden ser sus perspectivas y demandas ante la automatización de sus sistemas de observación.

De acuerdo con los resultados de este trabajo, es importante diferenciar la finalidad de los datos de las estaciones automáticas. En el caso de las estaciones automáticas instaladas en los observatorios, una vez que éstas hallan sido validadas y calibradas, son aptas para fines de pronóstico meteorológico, sus valores siguen siendo válidos para el análisis del tiempo, así como sucede en otros países del mundo con redes de observación de este tipo. Sin embargo los promedios y los valores arrojados por estas estaciones no pueden ser utilizados para fines climatológicos ya que existirían diferencias significativas dentro de las series históricas. Si se desea incluir estos datos en las series climatológicas de largo periodo de los observatorios, sus datos deben someterse a correcciones tal como se propuso en este trabajo.

Es importante mencionar que no se debe comprar nuevo equipo automático sin antes verificar a fondo el funcionamiento del equipo anterior. En muchas ocasiones se han comparado equipos que funcionan por un año o dos y luego son sustituido por otros nuevos sin antes evaluar el primero.

De acuerdo con los resultados de este estudio se observa la conveniencia de corregir los datos de las estaciones automáticas con las ecuaciones de regresión obtenidas de las validaciones. Por ello es importante continuar con los trabajos de comparación posterior al previo ajuste y la reubicación de los sensores en la medida de lo posible dentro de los observatorios. Una vez reinstaladas y ajustadas las estaciones se procede a realizar validaciones por un año en periodos de cada dos meses. Se obtendrán sus correcciones y aplicar un algoritmo que incluya esta corrección en la recepción de los datos y enviar la corrección a cada observatorio en caso de que necesiten el dato de la estación en un momento dado.

En el caso de seguir contando con este tipo y marca de estaciones automáticas y con base a su comportamiento estudiado en este trabajo, se recomienda realizar sólo dos validaciones al año y ajustar inmediatamente después conforme al resultado de estas validaciones. El punto con estas estaciones es su reubicación, el cambio del sensor de humedad y su mantenimiento mínimo dos veces por año, además de su limpieza regular.

Como se observó, un problema medular es la ubicación de los equipos, estos deben reubicarse en la medida de lo posible o situarlos lo más cercanos posible a los instrumentos convencionales para garantizar igualdad de condiciones de medición. No se puede avanzar en la validación de los datos si esto no se cumple primeramente.

Otro problema de la red meteorológica en general es la creciente urbanización de las ciudades y los observatorios que antes se ubicaban fuera de las áreas urbanas ahora se encuentran entre edificios. Es necesario un plan de reubicación de estaciones en condiciones más propicias para la observación. Estas estaciones pueden funcionar como una red de observación nueva, conservando las actuales redes dentro de las áreas urbanas ya que cuentan con una historia climatológica considerable.

Como un procedimiento de trabajo a corto plazo se hace necesario incluir los datos de las estaciones automáticas en las series de datos convencionales diarias de cada observatorio, haciendo la anotación de que se trata de datos obtenidos de estas estaciones. Sin embargo, a largo plazo, dada la automatización de la observación meteorológica se deben implementar procedimientos de captura de las bases de datos automáticas in situ e implementar la adquisición de equipo de cómputo para explotar los datos de la EMA. En un periodo de dos años deben conservarse los datos paralelos en tanto que se oficialicen los datos de la estación automática. Debe llevarse también el registro de la historia de la estación y del tipo de variables y datos generados (metadatos).

Es necesario la adecuación del software de explotación de datos en sitio y a nivel central. El actual sistema es muy obsoleto y presenta muchas fallas. El nuevo software debe tener la capacidad de integrar los datos de la estación automática, debe codificar adecuadamente un informe sinóptico manual (con la presencia de un observador) como de manera automática (sin observador) de acuerdo con los nuevos códigos de información sinóptica. A nivel central debe ser capaz de validar la información y respaldarla periódicamente para su posterior consulta así como detectar errores en la transmisión de los datos y realizar un control de calidad de los mismos. Los actuales sistemas de adquisición remota son incompletos y no existe personal dedicado a su operación y seguimiento. Este software en sitio debe tener la capacidad de introducir los datos convencionales a una base de datos independiente para que en el momento de proceder a la automatización completa se tenga al menos una serie de datos de ese periodo de transición una vez que estas estaciones hayan sido validadas.

Es imperativo el instalar un programa de calibración y mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos a nivel regional, de acuerdo con la estructura administrativa de la Comisión Nacional del Agua. Este mantenimiento debe proporcionarlo personal calificado y entrenado especialmente para ello. Es necesario para ello la agilización de envío de refacciones y equipo de las oficinas centrales del SMN a las instancias regionales. Por otra parte, dada la experiencia de casi 4 años con estos equipos, el SMN debe exigir al fabricante el óptimo funcionamiento de los equipos así como un programa fuerte de garantías y suministro de refacciones, en el caso de continuar con este tipo de estaciones o decidir comprar otra marca. Junto con este programa deben instalarse brigadas de calibración de equipo convencional mismo que debe permanecer en buen estado aún cuando se decidiera automatizar completamente a los observatorios.

Es urgente implementar un programa de observación con las estaciones automáticas donde los observadores sean los responsables del buen funcionamiento y control de la información que generan así como lo hacen actualmente con el equipo convencional. A mediano plazo, y dada la disminución dramática del número de observadores en la red nacional es necesario implementar programas que incluyan observadores diurnos y durante la noche trabajar con los datos de la estación automática. En el futuro y tras la oficialización de las EMAs los observadores se dedicarán a realizar las eventuales validaciones de los equipos, a analizar la información climatológica y trabajar en proyectos específicos de pronóstico y análisis climatológicos de la entidad en donde se encuentra cada observatorio, ya que sus tareas de observación se verán cada vez más disminuidas.

En nuestro país es inminente la automatización de las redes de observación, sólo que la falta de planeación a futuro y de la definición concreta de la labor de los observatorios, ha impedido que este proceso sea total y contundente. Para ellos es necesario reorganizar al personal observador, capacitarlo en el uso de estos instrumentos y en el análisis de la información que estos arrojan.

De acuerdo con la última reunión de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación de la Organización Meteorológica Mundial, durante su duodécima reunión en mayo de 1998 en Casablanca, Marruecos, para aquellos servicios meteorológicos que utilizan actualmente estaciones meteorológicas automáticas se recomienda:

1. Que se disponga de pericia para especificar los requisitos del sistema automático para sus necesidades particulares
2. Que los diseñadores de los equipos colaboren siempre con los usuarios de los mismos
3. Dados los posibles efectos de la introducción de nuevas tecnologías en las mediciones climatológicas y la falta de homogeneidad en el cálculo de las series cronológicas, se establezcan periodos transitorios en los que se haría simultáneamente mediciones comparables.
4. Se aseguren de disponer de la documentación necesaria de las modificaciones al cambio de instrumento y de emplazamiento de los equipos.

Dadas estas recomendaciones y el periodo de transición a la automatización que muchos países atraviesan, es necesario renovar también los sistemas de codificación sinóptica de intercambio internacional (SYNOP) sobre todo en lo relacionado con la codificación del tiempo presente desde una estación automática.

Se recomienda que la introducción y cambio de un sistema de observación tradicional a uno automático debe contar con una infraestructura técnica a nivel regional para atender los desperfectos de los equipos y los medios para su transportación.

El personal observador podrá trabajar en las estaciones sinópticas dependiendo la categoría de que se trate tal como lo recomienda la OMM:

Estaciones de categoría 1. Estaciones automáticas con una plantilla completa de 6 observadores para observaciones para propósitos especiales. Pueden ser estaciones cercanas a las costas con alta probabilidad de incidencia de huracanes en el Pacífico y en el Golfo.

Estaciones de categoría II. Las observaciones visuales o sensoriales las realizarían los observadores durante el día y las instrumentales sería medidas por la estación automática. En las noches la estación se mantendría trabajando.

Estaciones de categoría III. Estaciones con equipo automático y sólo un observador durante el día

Estaciones de categoría IV. Sólo operan con una estación automática.

Las recomendaciones hechas hasta aquí son también válidas para todas aquellas instituciones de investigación o gubernamentales que deseen modernizar sus redes de observación meteorológica y que a su vez deseen obtener resultados con alto grado de precisión o confiabilidad de los equipos que deseen adquirir. Queda claro que la instalación de una estación automática no es simplemente su puesta en marcha, sino que detrás de ella es necesario un plan de mantenimiento preventivo y correctivo continuo y un equipo de técnicos experimentados en su funcionamiento y control de calidad y personal operador que no sólo recolecte los datos, sino que sea capaz de detectar fallas en el equipo en general. La automatización de los sistemas de observación no supone la necesidad de un menor soporte técnico que los equipos convencionales y tampoco que se deba confiar en los valores de las variables que miden.



REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- Abd-elhamid Amer, M. 1988. Troubles of the use of the automatic stations in developing countries
WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observations . Leipzig, mayo, p. 375-377.
- Acheson, D. 1980. Progress and problems in the automation of observations. *WMO Technical Conference on Evolution and Standardization of Observing Techniques in Light of Automation*. Norrköping, Suecia Septiembre, p 133-137.
- Barradas, V. L. 1994. *Instrumentación Biometeorológica*. Ediciones científicas universitarias. FCE-UNAM, México, 113 p.
- Blackburn, T. 1993. Effects on climate change resulting from changes in national weather service cooperative stations instrumentation and siting conditions. *Eighth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. j6-j11.
- Bourke, R.S. , 1980. The automation program for surface observing stations in Canada. *WMO Technical Conference on Evolution and Standardization of Observing Techniques in Light of Automation*. Norrköping, Suecia September, p. 75-82
- Burch, L. 1993. Capabilities of the automated surface observing system (ASOS) and comparisons to manual observing techniques. *Eighth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. 363-367
- Cornick, J. T. McKeen, J. Doesken. 1993. A comparison of the automated surface observing system with conventional observation in ceiling and visibility. *Eighth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. *Eighth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. 354-357.
- Croft, P., D. Robinson. 1993. The impact of MMTS on the New Brunswick climate record. *Eighth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. j12-j15.

- Crosby, J. 1993. ASOS sensor performance- an update. *Eigth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. 358-361
- De Bosschere, P. 1995. Quality control of meteorological automatic measurements. *International Workshop on Experience with Automatic Weather Stations on Operational Use within National Weather Services*, Vienna , s/p
- Esko, E., P. Vaikovuori. 1995. Experiences with automatic weather stations in operational and climatological use in Finland. *International Workshop on Experience with Automatic Weather Stations on Operational Use within National Weather Services* Vienna , s/p
- Easterling, A., R. Quayle, P. Hughes. 1993. The effect of thermometer changes on the temperature records of US first order stations. *Eigth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. j3-j5.
- Ericsson -Seac.S.A. 1993. *Manual Técnico de la Estación Meteorológica EMA 7*.
- Gajar, B., M. Ondras. 1995. Automations of the measurements at the professional meteorological stations in Slovakia. *International Workshop on experience with automatic weather stations on operational use within national weather services* Vienna , s/p
- _____. 1995. Quality Control in automatic weather stations. *Global Training Seminar on Data Quality*. Toulouse, Organización Meteorológica Mundial. s/p
- Karl, T. 1993 A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperatures. *Bulletin of the American Meteorological Society*. vol. 74 núm. 6., p.1007-1023.
- Kiene, M. 1995. Central data processing and quality control procedures for automatic stations at the swiss meteorological institute (SMI). *International Workshop on Experience with Automatic Weather Stations on Operational Use within National Weather Services* ,Vienna , s/p

- Klemm, S. 1975. Meteorological and Technical Problems in Operating Automatic Weather Stations (AFMS) in the Meteorological Service of the German Democratic Republic. Automated Meteorological Systems . *WMO Technical Conference on Automated Meteorological Systems* , Washington D.C. Febrero . *WMO 420*. p. 254-259
- _____ 1980. On the comparison between the automatic weather stations AFMS and M-106M *WMO Technical Conference on Evolution and Standardization of Observing Techniques in Light of Automation*. Norrköping, Suecia. Septiembre, p. 269-272
- Koracin D. 1984. Experience with automatic weather station. *WMO Technical Conference on Instruments and Cost-effective Meteorological Observation*. The Netherlands, septiembre, p. 305-309.
- Kraus, K. 1993 The relationship between sky conditions and visibility parameters from automated weather observing system and manual observations. *Eighth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. 368-372.
- Leroy, M. 1995. Automatic stations in the meteo-france networks. *International Workshop on Experience with Automatic Weather Stations on Operational Use Within National Weather Services* Vienna , s/p
- Miller, L.. *Update on the NWS modernization: Data issues for universities*. Octubre, 1992
Unidata Program Center, Boulder, 55 pp.
- McKeen, T., N. Doesken, J. Kleist. 1996. *Climate data continuity with ASOS*.
University of Fort Collins, Colorado. Report 96-1. 101 pp.
- _____,_____,_____. 1993. A preview of temperature and precipitation data continuity into the ASOS era. *Eighth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. 116-121.
- Miller, P. , L. Marone, 1993. Real time quality control of hourly reports from the automated surface observing system. *Eighth Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation*. American Meteorological Society, enero, Anaheim, p. 373-378.
- Munuilov. K..N. 1980. Results from using automatic meteorological systems. *WMO Technical*

Conferece on Evolution and Standarizatin of Observing Techniques in Light of Automation.
Norrköping, Suecia Septiembre. p. 201-204.

Nadolski, V. 1995. Operational experiences with the automated surface observing system – ASOS
*International Workshop on Experience With Automatic Weather Stations on Operational Use
within National Weather Services* Vienna ,s/p

Németh, P. 1995. First experiences with the intercomparison of meteorological data measured by
traditional instruments and sensors of AWS in Hungary. *International Workshop on
experience with automatic weather stations on operational use within national weather
services* Vienna , s/p

OMM, Organización Meteorológica Mundial, 1995. *Guía del Sistema Mundial de Observación.*
Publicación No.488. Geneve.

OMM, Organización Meteorológica Mundial, 1995. *Instruments and observing methods . Report No.
58. International Workshop on Experiences with Automatic Weather Stations on Operational
Use within National Weather Services.* Viena, Austria. 113 pp

OMM, Organización Meteorológica Mundial, 1975. *Automated meteorological systems. Proceedings
of a WMO Technical Conference on Automated Meteorological Systems .* Washington,
Publicación No. 420. 380 pp

OMM, Organización Meteorológica Mundial. 1980. Instruments and methods of observation.
Reporte No. 1. *Technical Conference on Evolution and Standarization of Observing
Techniques In Light of Automation.* Norrköping, Suecia. 281 pp

OMM, Organización Meteorológica Mundial, 1981 Instruments and methods of observation Reporte
No. 9. *Second WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation .*
México. 363 pp

OMM, Organización Meteorológica Mundial, 1984. Instruments and methods of observation.
Reporte No. 15. *WMO Technical Conference on Instruments and Cost-effective
Neteorological Observations.* Noordwijkerhout, Países Bajos. 383 pp

OMM, Organización Meteorológica Mundial, 1988 Instruments and methods of observation. Reporte
No. 33. *WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation.* Leipzig,
República Democrática Alemana. Publicación núm. 222, 405 pp.

- Pettifer, R. W. 1981. Automatic meteorological observations -new methods and new problems
WMO Second Technical Conference on Instruments and Methods of Observation, México
 City, Octubre, p. 3-8
- _____, _____. 1984. Automatic Systems in Operational Use-quality and Reliability . *WMO Technical
 Conference on Instruments and Const-effective Meteorological Observation*. The
 Netherlands, septiembre, 1984 p. 339-343.
- Quayle, R. , et al. 1991. Effects of recent thermometer changes in the cooperative station network.
Bulletin American Meteorological Society, vol. 72 , núm 11, p. 1718-1723.
- Rozdestvenskii, B. G. y V.A. Yurmanov., 1975. Some technique problems of meteorological
 measurements and development of automated observational systems. *WMO Technical
 Conference on Automated Meteorological Systems , Washington D.C. Febrero. WMO 420.*
 p 19-21
- Rudel, E. 1995. More than 10 years of experience with the automatic meteorological observations
 network in Austria. *International Workshop on Experience with Automatic Weather Stations
 on Operational Use within National Weather Services , Vienna , s/p*
- Short, S. E. ,1980. National Weather Service (NWS) automation of surface observations. *WMO
 Technical Conferece on Evolution and Standarization of Observing Techniques in Light of
 Automation*. Septiembre, p.205-212.
- Smidchiev. D. A. 1980. On the comparison of sensors and automatic observations systems. *WMO
 Technical Conferece on Evolution and Standarizatin of Observing Techniques in Light of
 Automation*. Septiembre, p. 265-268.
- _____,_____, 1996 *Compendio de apuntes sobre instrumentos meteorológicos para la
 formación del personal meteorológico de las clases III y IV. OMM Núm. 622*
- Treussart H. 1984. Automatic weather stations. *WMO Technical Conference on Instruments and
 Const-Effective Meteorological Observation*. The Netherlands, septiembre p. 281-286.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

Capacitancia: Es la razón de carga almacenada a la diferencia de voltaje entre dos placas o alambre conductores. El valor de la capacitancia es proporcional al área superficial del material dieléctrico e inversamente proporcional a su espesor. Para obtener mayor capacitancia se requiere de una estructura muy delgada con un área grande

Capacitor: Es un elemento de dos terminales que consta de dos placa conductoras separadas por un material no conductor. La carga eléctrica se almacena en las placas, y el espacio entre las placas se llena con un material dieléctrico.

Circuitos integrados: Son dispositivos electrónicos de diferentes funciones, una de ellas es el de termómetros son una respuesta lineal a los cambios térmicos como por ejemplo el LM3911 cuya respuesta es de $10\text{mV}/^\circ\text{K}$. Estos termómetros se pueden integrar a cualquier sistema de adquisición de datos.

CLIMAT: Es un mensaje codificado de intercambio de información meteorológica a nivel internacional que contiene información relativa a los valores promedios y extremos mensuales y normales de las variables medidas en las estaciones sinópticas del mundo.

Corrección: Es el valor que hay que considerar en resultado de una medida para compensar cualquier error conocido y, por consiguiente, obtener una aproximación al valor verdadero.

Diodos: Son elementos semiconductores que cambian su resistividad eléctrica linealmente con la temperatura bajo un rango. Pero si se cambia de rango el diodo puede cambiar su respuesta.

Dieléctrico: Es una capa aislante. Material de alta resistencia.

Exactitud: Es la proximidad de acuerdo entre medidas independientes de una sola magnitud, obtenidas aplicando varias veces un procedimiento establecido de medida, en condiciones prescritas.

Error: Es la diferencia entre los resultados de una medida y el valor real de la magnitud medida.

Error aleatorio: Es la parte del error que varía de manera imprevisible en magnitud y signo (positivo o negativo) cuando se hacen medidas del mismo valor de una magnitud determinada en las mismas condiciones.

Error de histéresis: Es la desviación que se presenta sobre ciertos valores obtenidos cuando los datos de entrada son ascendentes y luego descendentes.

Error de inercia: Es el error que una serie de medidas tiene debido al tiempo finito de respuesta del instrumento de observación ante las variaciones de la magnitud aplicada.

Error sistemático: Es la parte de error que:

- a) Permanece constante durante el curso de cierto número de medidas del mismo valor de una magnitud dada; o bien
- b) Varía de acuerdo con una ley definida cuando las condiciones cambian.

Errores espurios y dispersos: La distribución de errores puede ser casi normal; puede incluir valores que se sabe ciertamente son erróneos (por ejemplo al mal funcionamiento de los instrumentos). Con frecuencia se les denomina errores espurios y es correcto eliminarlos.

Higristor: es un dispositivo cuyo cambio de tamaño, debido a la humedad del aire, determina un cambio en su resistencia eléctrica. La resistencia es una función lineal de la humedad relativa (HR). El higristor funciona bien cerca del 100% de HR y es de respuesta rápida

Humicap: es un instrumento basado en la capacitancia eléctrica. Es un condensador o capacitor cuyas placas conductoras se encuentran embebidas en un polímero que hace las veces de dieléctrico. El polímero cambia de tamaño conforme cambia la HR. Al cambiar el dieléctrico del capacitor hay un cambio inversamente proporcional a su capacidad. Este cambio es linealizado por un circuito electrónico y puede ser calibrado de 0 al 100%. Su precisión es de $\pm 2\%$ y su tiempo de respuesta es de 1 segundo hasta 90% de HR. Muy cerca de 100% su respuesta es errónea, sin embargo es uno de los mejores sensores que se usan para medir la HR

Incertidumbre: Es el intervalo dentro del cual puede esperarse que esté comprendido el valor real de una magnitud, dentro de una probabilidad establecida.

Integradores: También se llaman totalizadores y son dispositivos que se usan cuando no se tiene un graficador o un sistema de adquisición de datos cuando sólo se necesitan los valores o cantidades totales de alguna variable. El tiempo de integración puede ser de un minuto hasta un mes.

Medida: acción que tiene por objeto asignar un número como valor de una magnitud física en las unidades establecidas.

METAR: Es un mensaje codificado de intercambio internacional que contiene información meteorológica medida cada hora en las estaciones meteorológicas aeronáuticas del mundo.

Multicanalizadores Es un dispositivo electrónico que puede canalizar desde dos hasta 64 entradas en una sola salida, en la entrada se conectan los sensores y en la salida los graficadores u otra forma de almacenamiento de datos. Tiene un reloj que determina el tiempo de trabajo de cada uno de los canales y un contador digital que dan el canal de turno.

Precisión: Es la concordancia entre una medida y el valor verdadero. Esto supone que se han aplicado todas las correcciones conocidas.

Receptibilidad: Es la proximidad del acuerdo cuando existen errores aleatorios, entre las medidas del mismo valor de una magnitud, obtenida en las mismas condiciones, por ejemplo, por el mismo observador, el mismo instrumento, el mismo emplazamiento y después de intervalos de tiempo evidentemente cortos para que no puedan producirse diferencias reales.

Reproductividad: Es la proximidad entre medidas del mismo valor de una magnitud, obtenidas en distintas condiciones. por ejemplo, por distintos observadores, distintos instrumentos, distintos emplazamientos.

Resistencia eléctrica: Es la medida de oposición que un material ofrece al paso de una corriente eléctrica. De esta manera un material es conductor, semiconductor o aislante

Resolución: Es el cambio más pequeño de una variable física que puede causar una variación en la reacción del sistema de medida.

SYNOP: Mensaje codificado de intercambio internacional de información meteorológica obtenida cada tres o seis horas por las estaciones sinópticas del mundo. Estos mensajes son utilizados para la elaboración de las cartas meteorológicas en tiempo real.

Termistores: Son semiconductores en los cuales se considera la relación de la temperatura con la resistencia eléctrica.

Termómetro resistivo: La medición de la temperatura depende del cambio de una propiedad eléctrica de un material. Generalmente la resistencia. El termómetro resistivo es el más simple. La resistencia de los metales se incrementa con la temperatura.

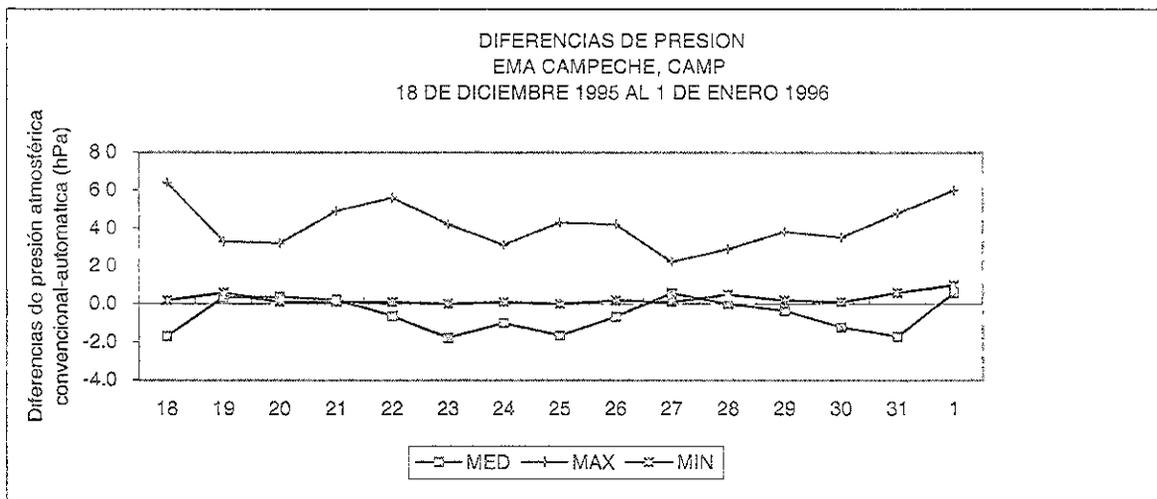
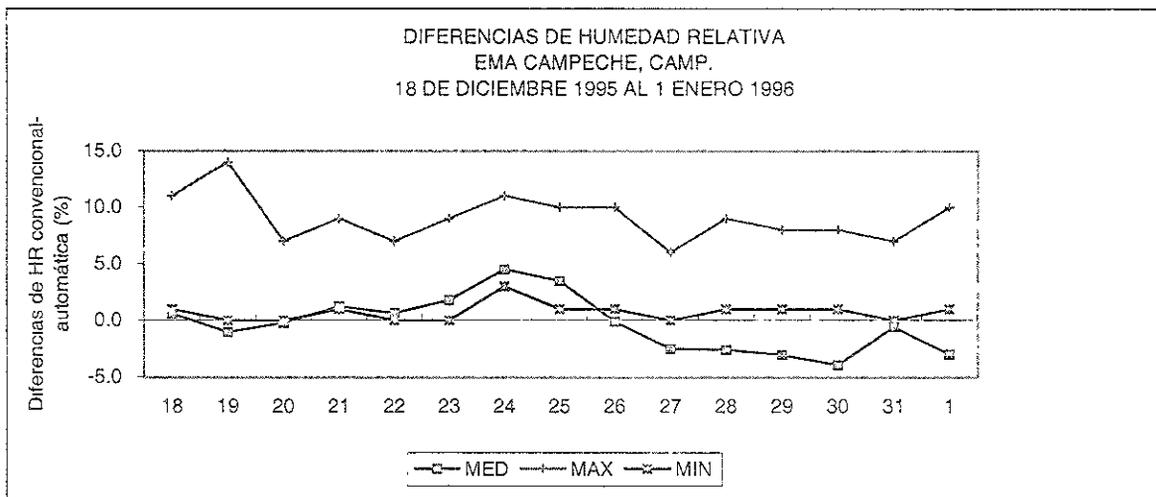
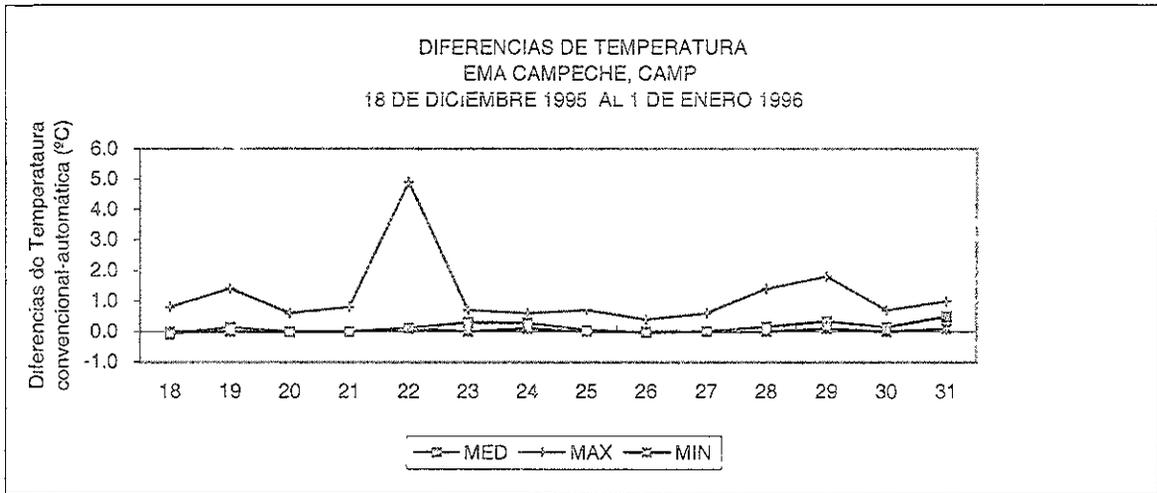
Termopares: Son juntas de diferentes metales que generan un voltaje proporcional a la temperatura. El voltaje entre las dos juntas es proporcional a la diferencia de dos temperaturas. Los termopares se conectan a un potenciómetro o voltímetro.

Tiempo de respuesta: Es el tiempo que transcurre, después de que se haya producido un cambio instantáneo en la magnitud que se mide, hasta que la lectura muestre una proporción establecida del cambio instantáneo aplicado.

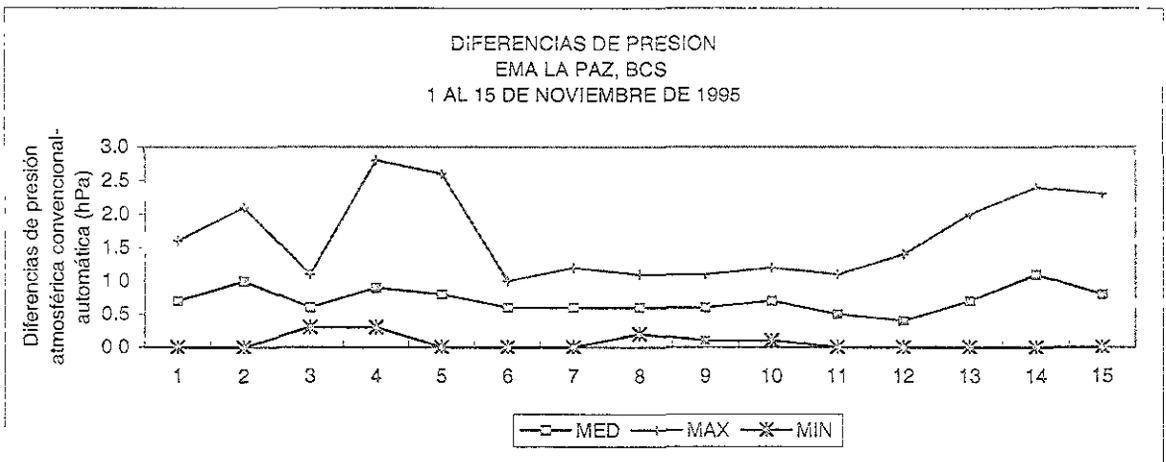
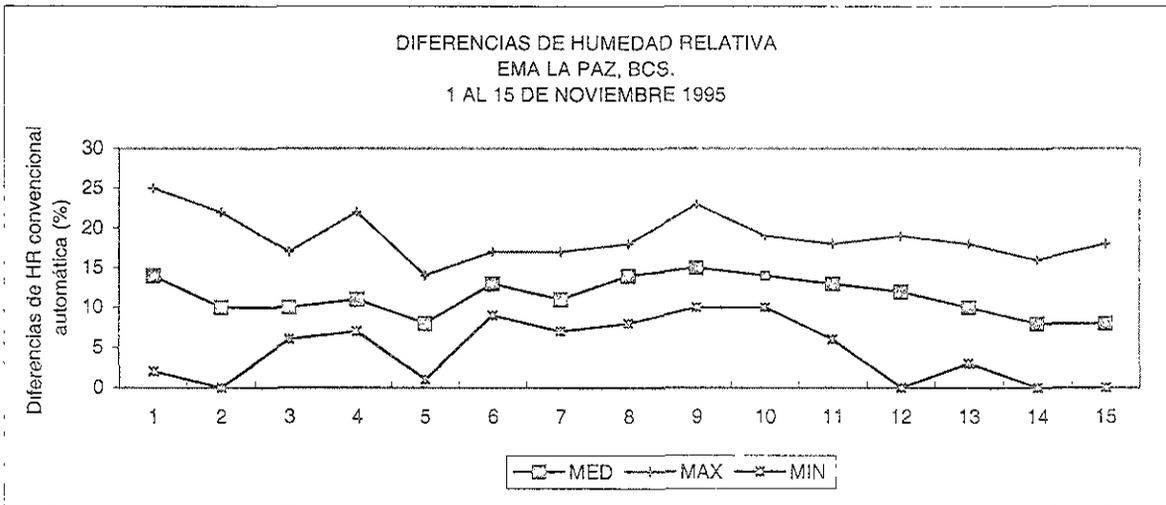
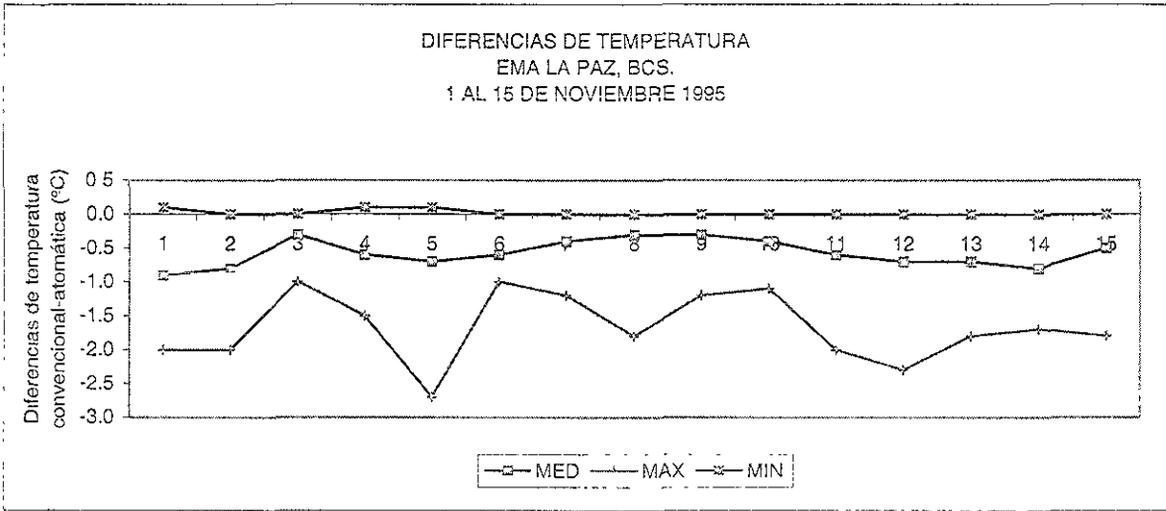
Valor verdadero: Es el valor que se supone caracteriza a una magnitud en las condiciones que existen en el momento en que dicha magnitud es observada (o es objeto de una determinación). Es el valor ideal que sólo podría ser conocido si todas las causas de error fuesen eliminadas.

ANEXO B
EJEMPLOS DE DIFERENCIAS ENCONTRADAS ENTRE
EQUIPO CONVENCIONAL Y AUTOMÁTICO

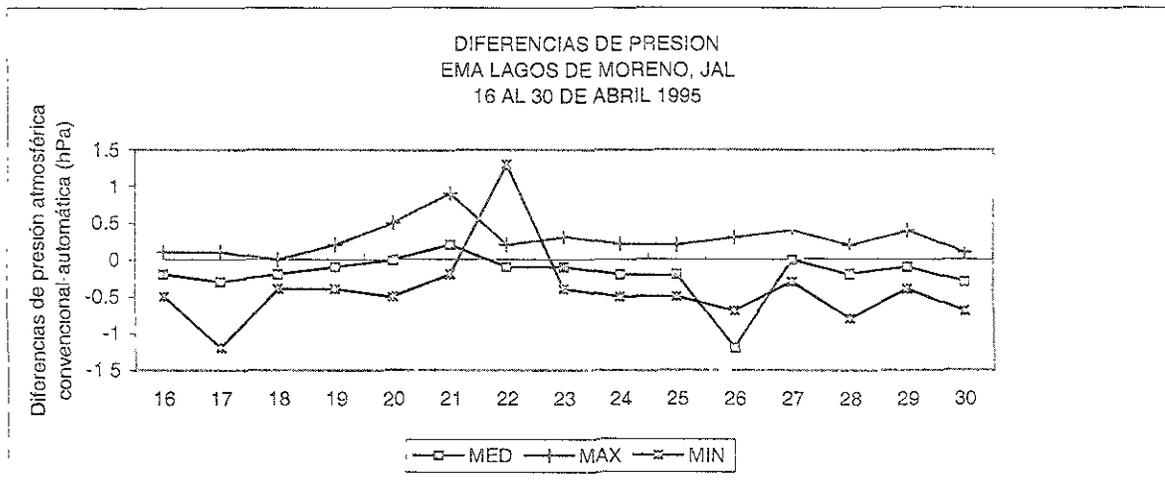
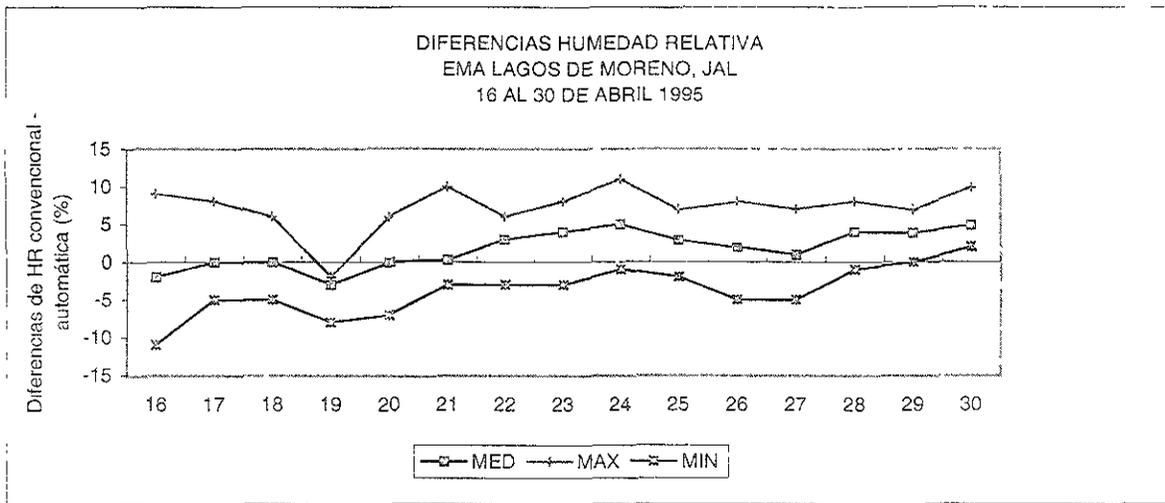
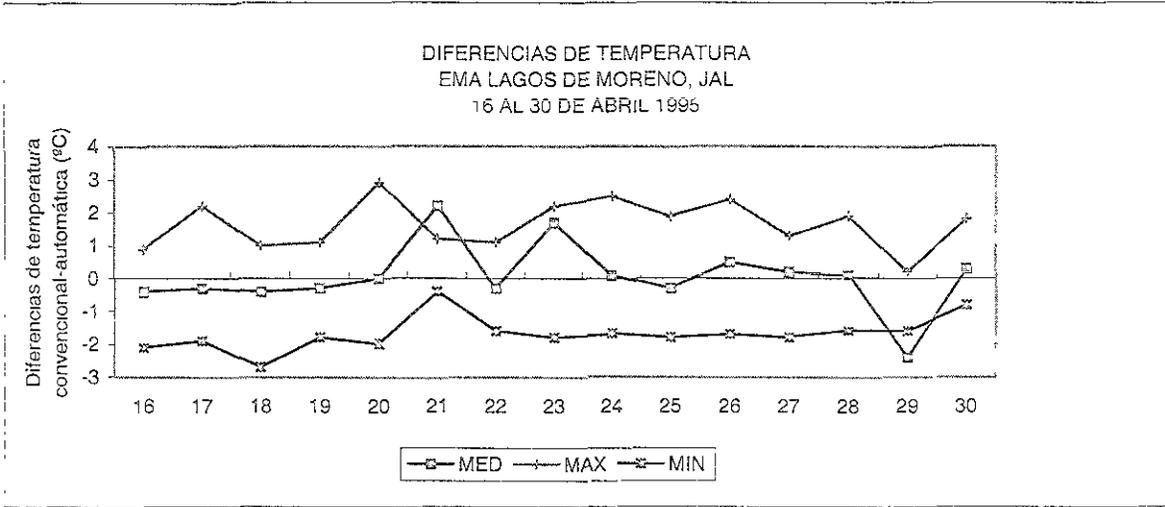
**EJEMPLOS DE LAS DIFERENCIAS ENCONTRADAS ENTRE
ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES
ESTACIÓN: CAMPECHE**



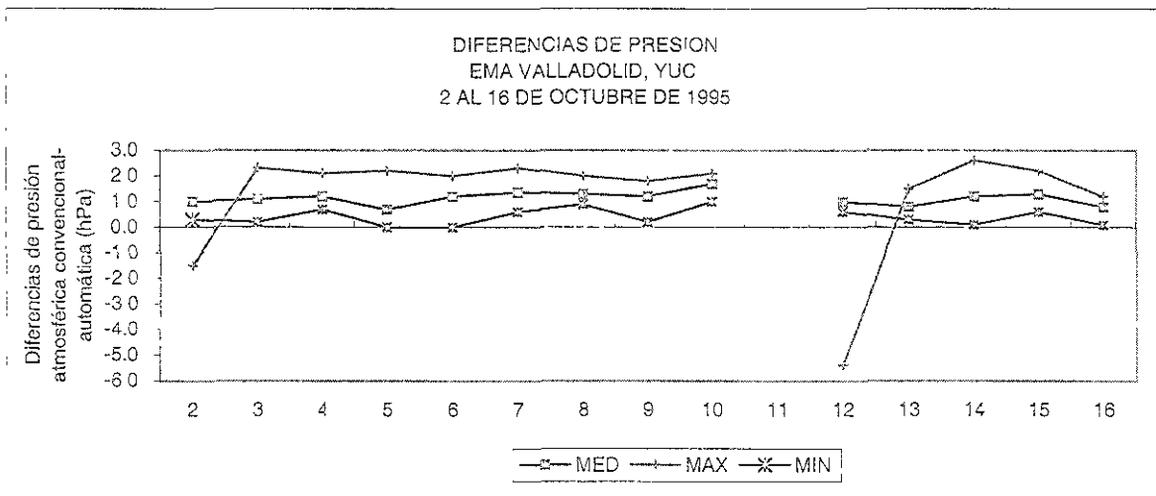
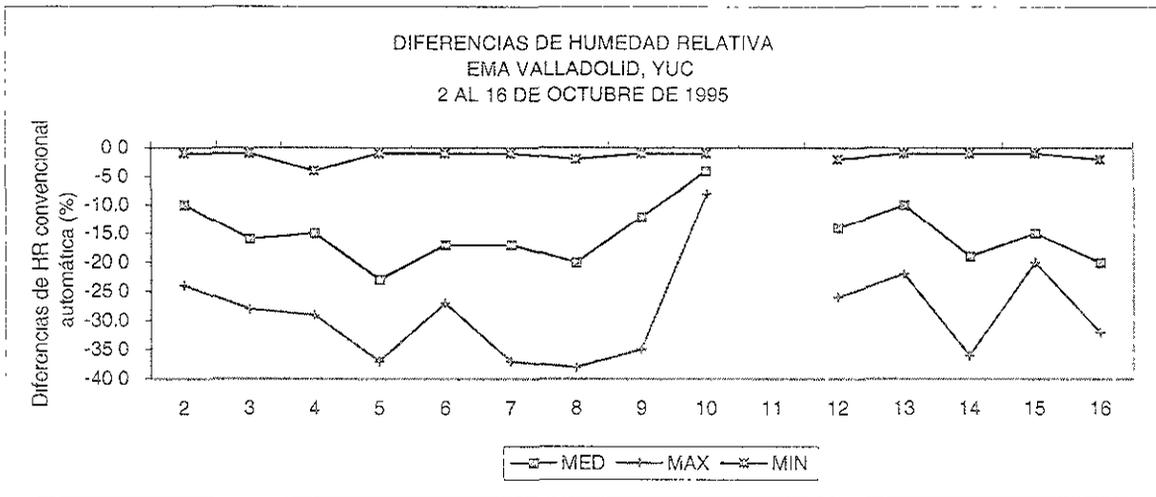
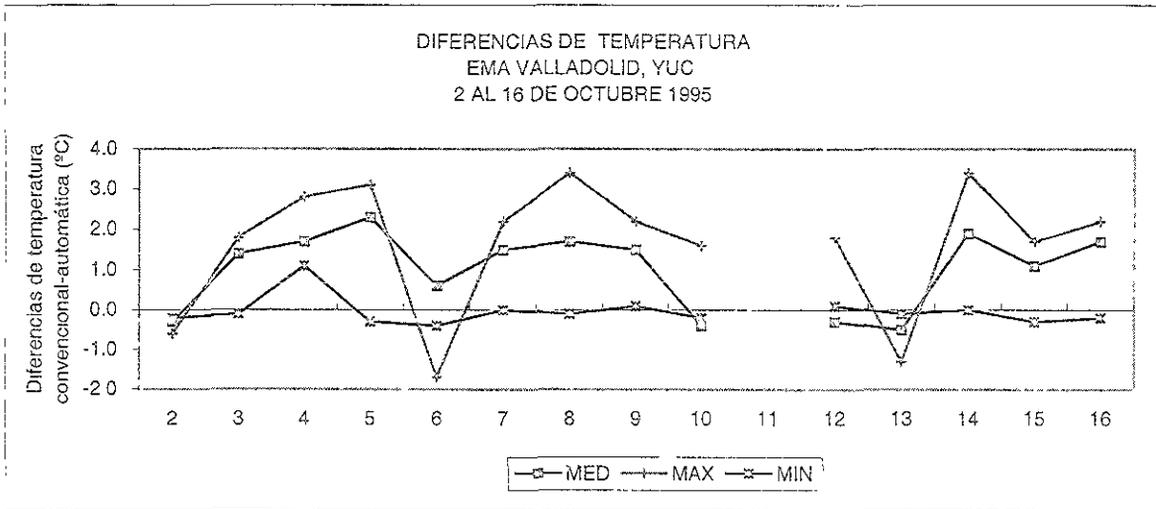
**EJEMPLOS DE LAS DIFERENCIAS ENCONTRADAS ENTRE
ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES
ESTACIÓN: LA PAZ**



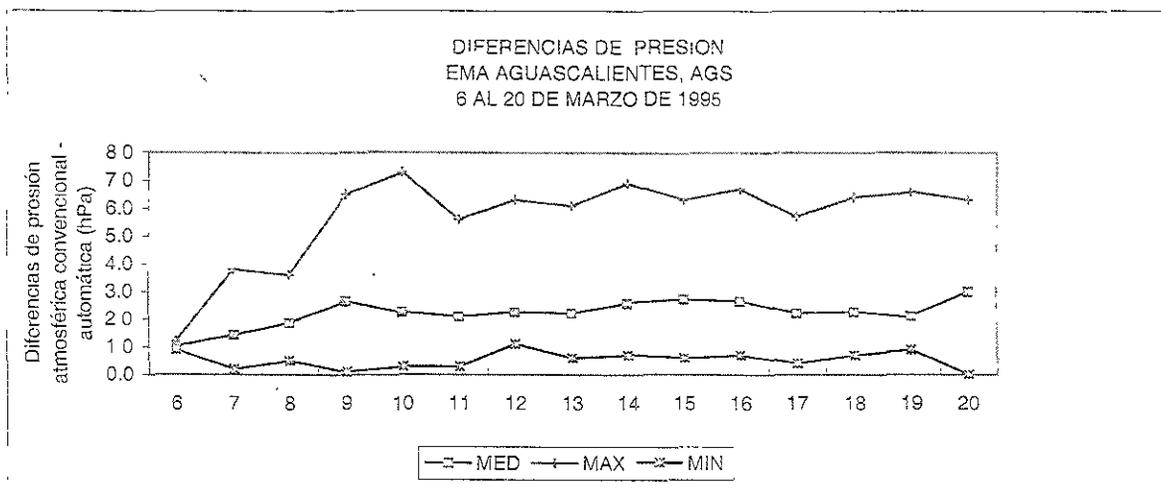
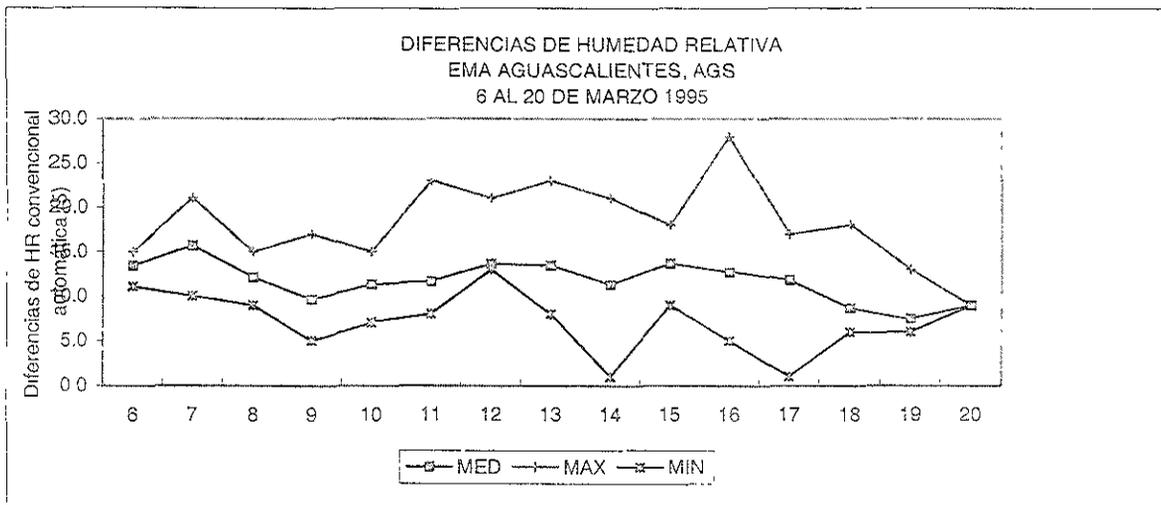
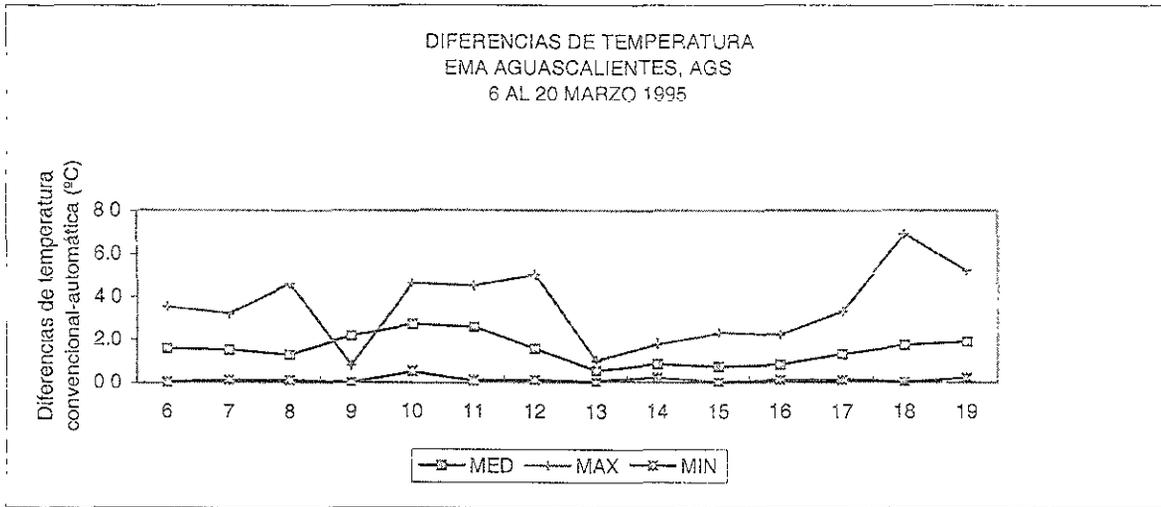
**EJEMPLOS DE LAS DIFERENCIAS ENCONTRADAS ENTRE
ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES
ESTACIÓN: LAGOS DE MORENO**



EJEMPLOS DE LAS DIFERENCIAS ENCONTRADAS ENTRE ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES
ESTACIÓN: VALLADOLID

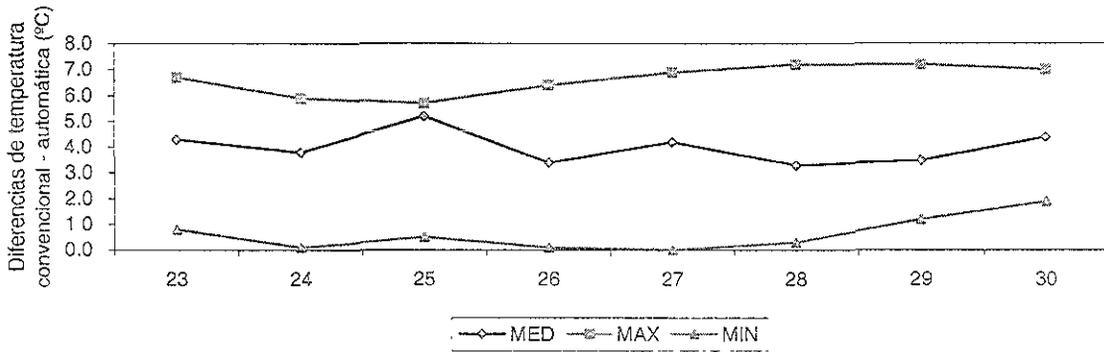


**EJEMPLOS DE LAS DIFERENCIAS ENCONTRADAS ENTRE
ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES
ESTACIÓN: AGUASCALIENTES**

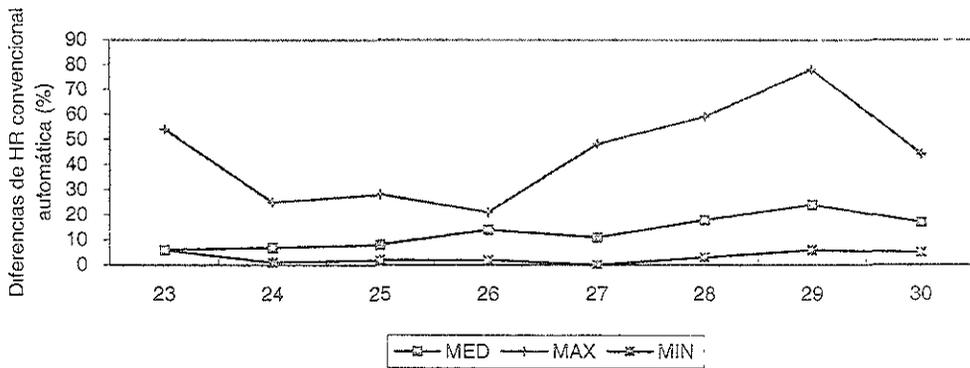


**EJEMPLOS DE LAS DIFERENCIAS ENCONTRADAS ENTRE
ESTACIONES AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES
ESTACIÓN: NUEVO CASAS GRANDES**

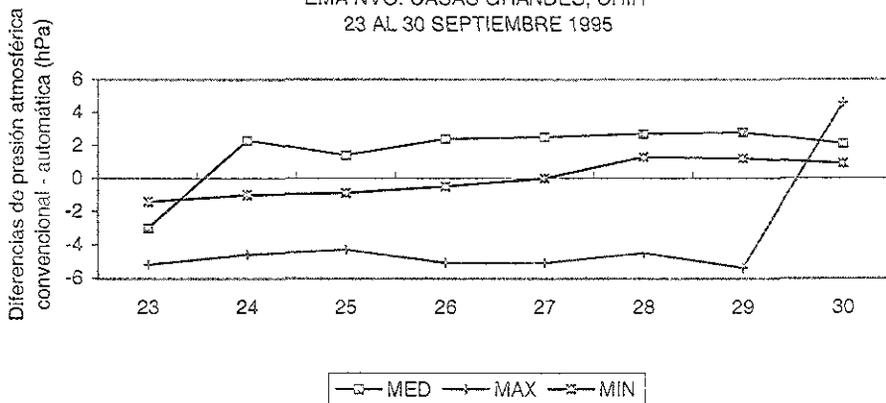
**DIFERENCIAS DE TEMPERATURA
EMA NUEVO CASAS GRANDES, CHIH
23 AL 30 SEPTIEMBRE 1995**

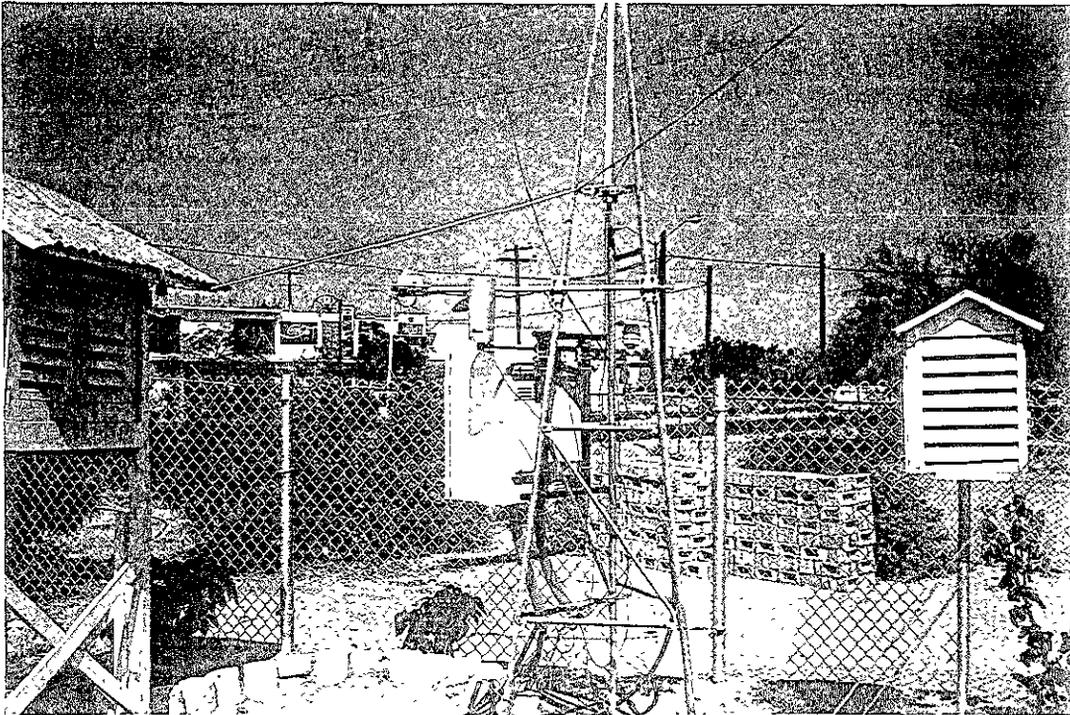
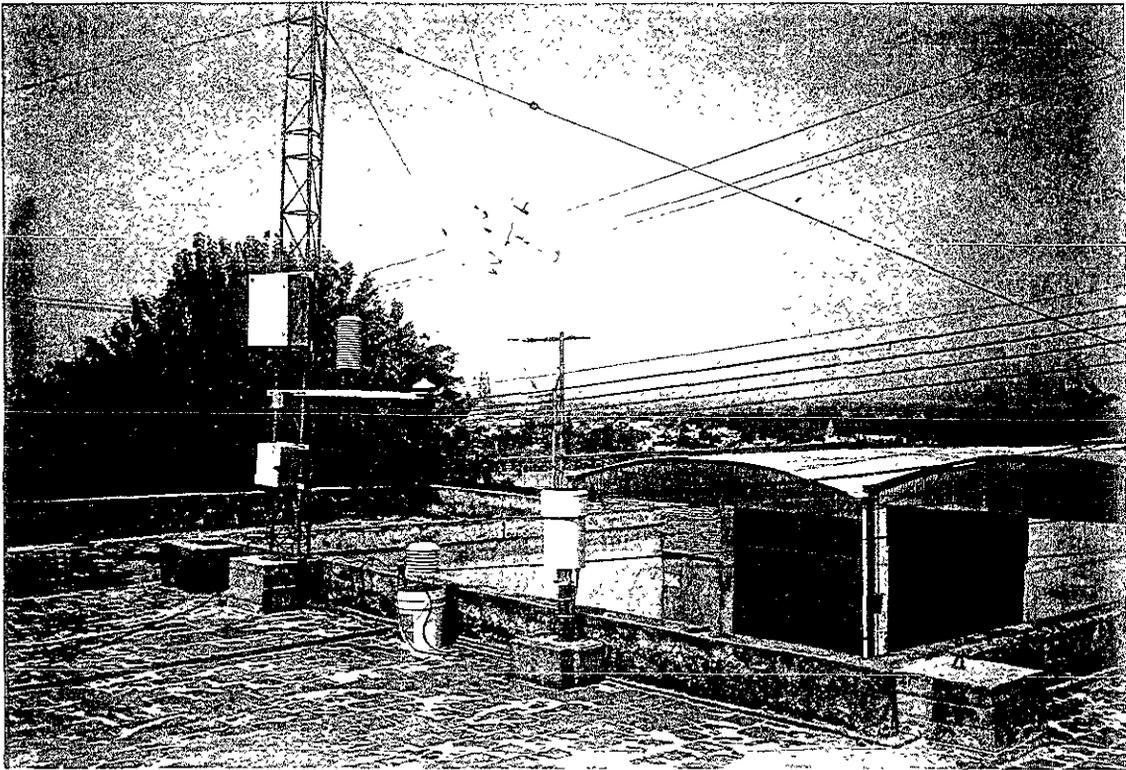


**DIFERENCIAS DE HUMEDAD RELATIVA
EMA NVO. CASAS GRANDES, CHIH
23 AL 30 DE SEPTIEMBRE 1995**

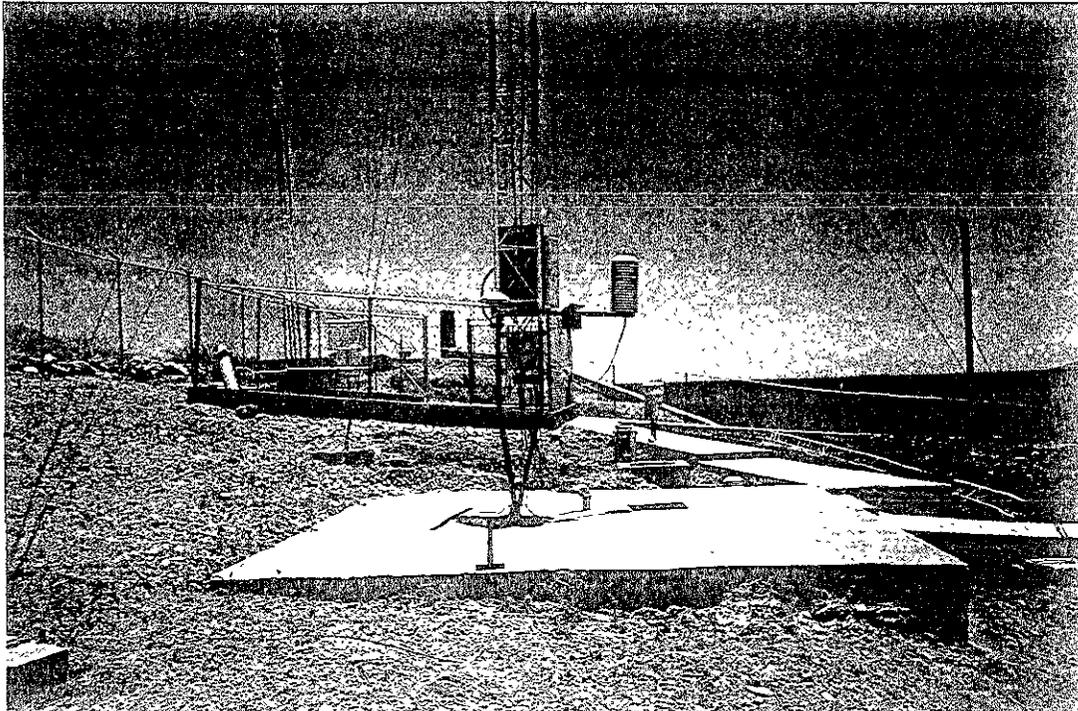
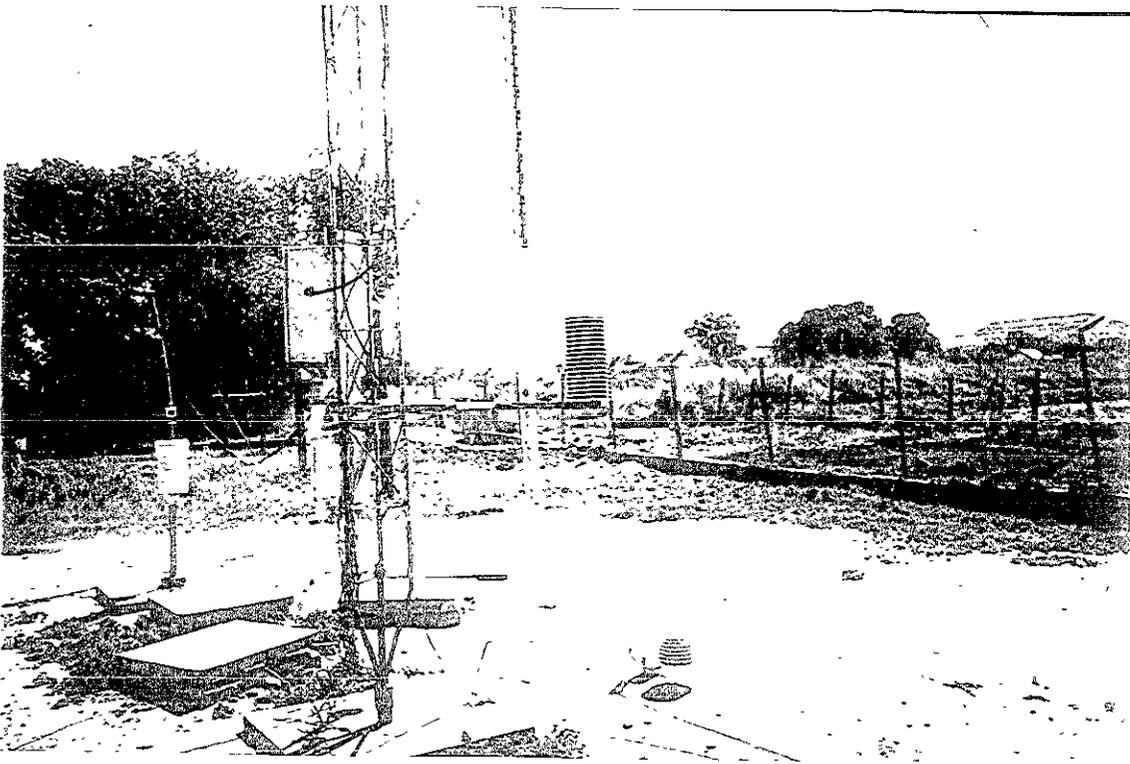


**DIFERENCIAS DE PRESION
EMA NVO. CASAS GRANDES, CHIH
23 AL 30 SEPTIEMBRE 1995**

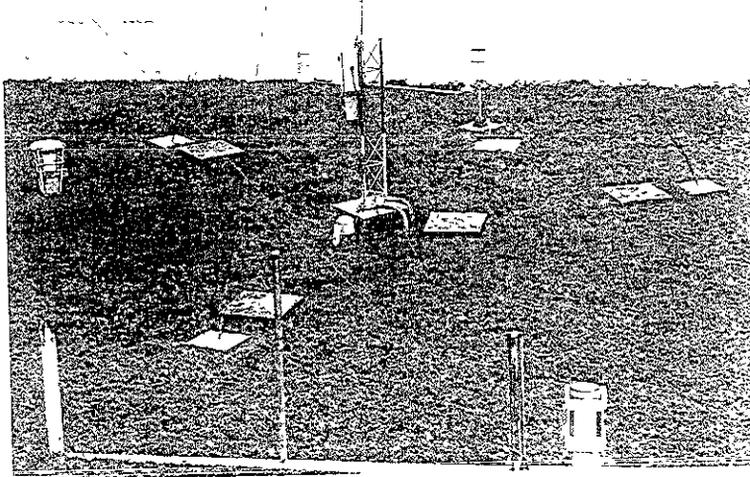
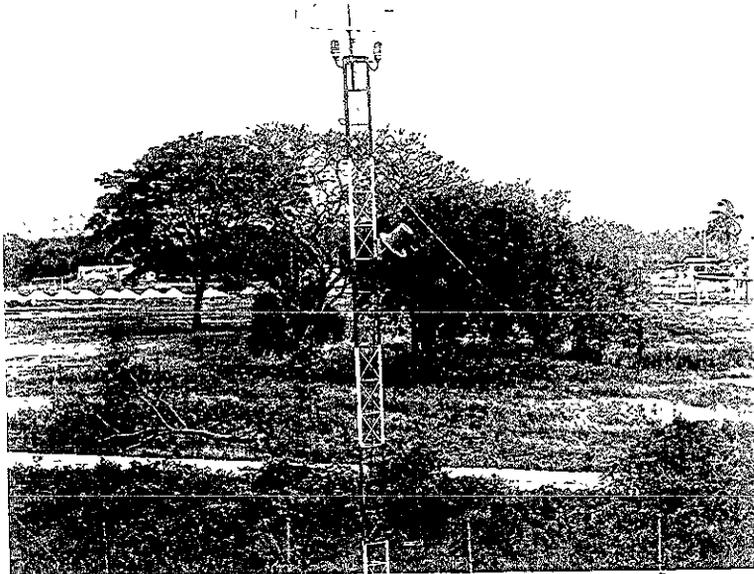




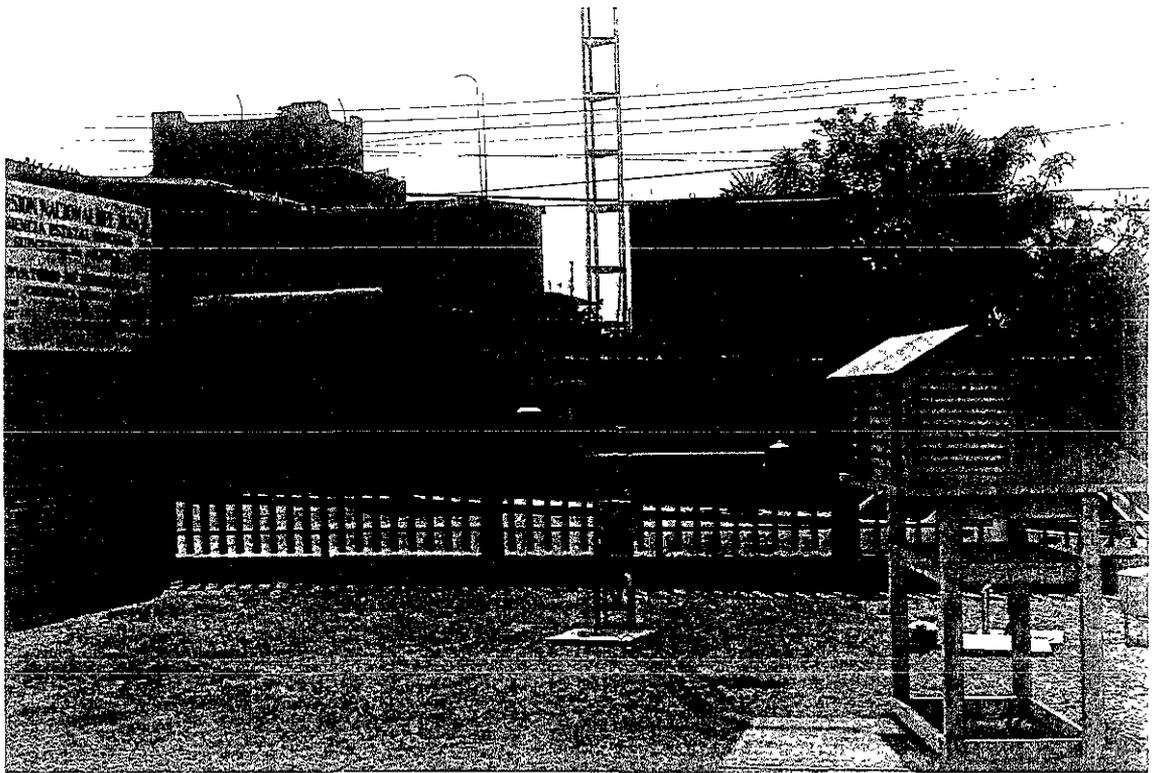
Arriba: Estación automática en Lagos de Moreno, Jal.
Abajo: Estación automática en La Paz, BCS



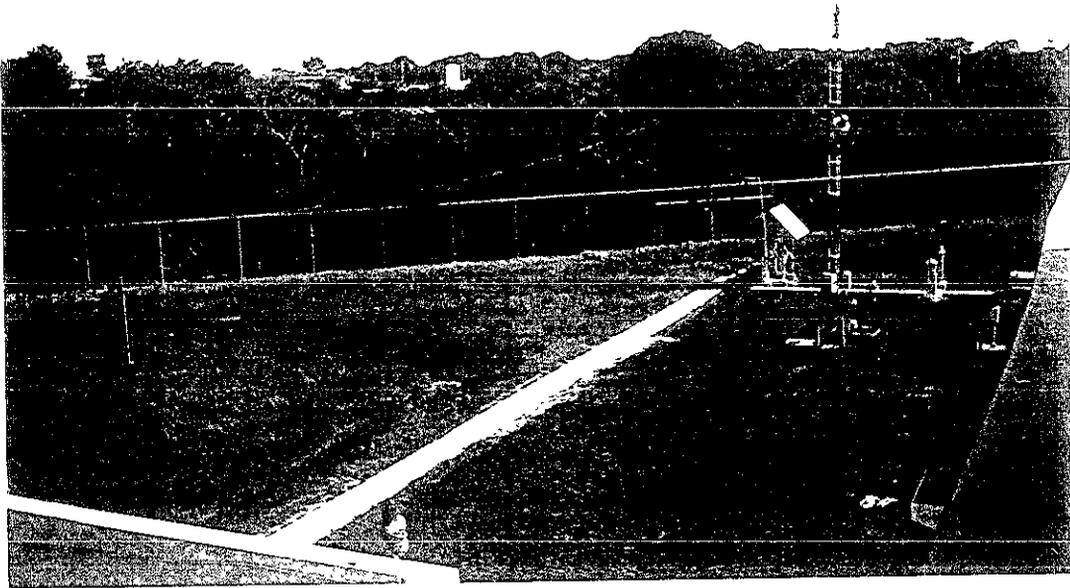
Arriba: Estación automática en Nuevo Casas Grandes, Chih
Abajo: Estación automática en Santa Rosalía, BCS



Estación automática en Campeche, Cam



Estación automática en Cuernavaca, Mor



Arriba: Estación automática
en Mérida, Yuc

Abajo: Estación automática
en Valladolid, Yuc

