

PRONOSTICO DE VALORES HORARIOS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE EN EL OBSERVATORIO METEOROLOGICO NACIONAL-SANTAFE DE BOGOTA

RAMIRO LEON DIAZ CAMPOS

Profesor Asociado

Departamento de Geociencias-Facultad de Ciencias-Universidad Nacional de Colombia

JESUS ANTONIO ESLAVA RAMIREZ

Profesor Titular

Departamento de Geociencias-Facultad de Ciencias-Universidad Nacional de Colombia

Díaz, R. & J. Eslava (1995): Pronóstico de Valores Horarios de la Temperatura del Aire en el Observatorio Meteorológico Nacional-Santafé de Bogotá. Geofís. Colomb. 3:45-50. ISSN 0121-2974

RESUMEN

Aplicando una metodología que incluye un análisis de Fourier, se obtiene un modelo matemático que representa la variación diurna de la temperatura del aire en Santafé de Bogotá y permite calcular sus valores medios para cualquier momento del día de cada mes y año, con base en el valor promedio diario o en los valores que determinan ese promedio. El modelo también indica que existe una gran posibilidad de pronosticar los valores horarios de ese elemento para períodos de 6 o 12 horas con base en el promedio de las 24 horas anteriores y en alguna otra variable dependiente de la amplitud diaria de la temperatura y/o la existencia o no de nubosidad.

ABSTRACT

A time model for temperature, has been established for the data of the National Meteorological Observatory station located at the campus of the National University in Santafé de Bogotá. To get this model, Fourier analysis has been applied to the hourly mean values of the before mentioned parameters. The results provide not only diurnal variations, but allow the forecasting of the parameters for periods of six and twelve hours, from the average of the last 24 hours.

1. INTRODUCCION

En este trabajo, segundo de una serie que cubre tres elementos meteorológicos, se define un modelo matemático que permite determinar y cuantificar la evolución de la temperatura media horaria del aire en Santafé de Bogotá. El modelo se caracteriza mediante el análisis de Fourier, en términos de los parámetros de frecuencia y longitud de onda de las señales de temperatura media horaria definidas para la estación Observatorio Meteorológico Nacional.

En el modelo se utiliza la temperatura media que se determina para cualquier período continuo de 24 horas del cual se conozcan las temperaturas de las 07, 13 y 19 horas (o cualesquiera otras con las cuales se pueda definir el promedio para ese período), corregida para adecuarla al valor más exacto que se determinaría si se utilizaran los 24 valores horarios.

Al igual que lo que se realizó con la presión atmosférica (véase Díaz & Eslava, 1993), después de una descripción de la metodología utilizada y el análisis de los datos, se llega al modelo que representa la variación horaria y, con base en él, se pronostica la temperatura media horaria y se incluye un ejemplo y un análisis de los resultados.

2. GENERALIDADES SOBRE MODELOS MATEMATICOS Y METEOROLOGIA

Tal y como lo mencionan Díaz & Eslava (1993) es posible construir modelos matemáticos, que simulen desde cada una de las características de cada uno de los elementos involucrados con la atmósfera, hasta supermodelos que permitan pronosticar no sólo el próximo estado del tiempo, sino el clima mismo.

Cada una de las propiedades o características del sistema atmosférico, interactúa con una o todas las propiedades o características restantes y, además, lo hace en un completo rango de escalas temporales y espaciales, que abarcan desde los fenómenos de muy pequeña escala, baja amplitud y corto período (milimétricos y de muy corta duración), hasta aquellos que cubren toda la Tierra e inclusive el Universo mismo y duran muchos años (alta amplitud y largo período).

Puesto que las propiedades físicas que definen el estado y evolución del tiempo y el clima son muy complejas y variadas es imposible, en el estado actual de la ciencia, concebir un modelo que defina a la atmósfera en forma completa. Por lo anterior, es necesario concebir modelos unitarios y/o parciales que consideren toda o una parte de una o varias de esas propiedades.

Los modelos también pueden usarse con cierta confianza para investigar la reacción del clima ante las imaginables perturbaciones naturales y las provocadas por el hombre y saber si esos cambios pueden distinguirse de las fluctuaciones climáticas naturales. Obviamente, para lograr establecer esa distinción, es necesario determinar muy bien lo relacionado con las fluctuaciones naturales, las cuales se intenta conocer y cuantificar con base en modelos que usan los datos observados, tal y como es el caso del presente trabajo.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

La metodología aplicada en este trabajo es la misma que se utilizó en un trabajo anterior sobre la presión atmosférica (Díaz & Eslava, 1993) y que se considera conveniente reproducir aquí. También se considera necesario recalcar que lo que se acostumbra en general, y en particular en Meteorología, es tratar, por medio de regresiones, de acomodar un modelo matemático preestablecido (lineal, logarítmico, exponencial, etc.) a un conjunto de datos reales de un muestreo, sin tener en cuenta los contenidos de frecuencias y longitudes de onda de las señales.

Mediante el análisis de Fourier (Cooley et al., 1970), se posibilita la determinación de un modelo matemático, no preestablecido y en términos de los parámetros de frecuencia y longitud de onda ya mencionados y que son los verdaderamente determinantes en los análisis de variabilidad espacio-temporal de los elementos meteorológicos.

Las funciones de temperatura, presión, humedad del aire, etc., son funciones temporales y espaciales continuas. Un muestreo en el tiempo de cualquiera de ellas, por ejemplo la temperatura (t_j), se puede considerar como la convolución de $t(x)$ con la función delta de Dirac, cuyo resultado es una función discreta y periódica.

$$t_j = t(x) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x-n\lambda) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} t(x-n\lambda) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} t(jD-n\lambda) \quad [1]$$

en el intervalo $0 \leq j \leq N-1$.

Los parámetros N , D y ND representan el número de intervalos de muestreo, el intervalo de muestreo y la longitud del registro (longitud de onda fundamental).

El procesamiento cuantitativo de datos en meteorología, se inicia representando la información en términos de una serie armónica, la cual permite un tratamiento matemático adecuado.

Para muestreos en una dimensión la longitud del registro es:

$$L = \lambda = ND$$

El vector de onda está dado por:

$$\vec{k} = k_n \cdot \hat{e}_x$$

$$\vec{k} = (2\pi n/L) \cdot \hat{e}_x \quad 0 \leq n \leq N-1$$

y el vector posición:

$$\vec{r} = x \cdot \hat{e}_x$$

$$\vec{r} = jD \cdot \hat{e}_x \quad 0 \leq j \leq N-1$$

Cada observación se puede representar en términos de la serie armónica:

$$T_j = \sum_{n=0}^{N-1} C_n \cdot e^{i2\pi n j / N}$$

$$T_j = \sum_{n=0}^{N-1} C_n \cdot e^{ik_r r} \quad [2]$$

$$i = \sqrt{-1}$$

La suma de las desviaciones cuadráticas con respecto a la serie inicial

$$\sum_{j=0}^{N-1} (t_j - T_j)^2 = \sum_{j=0}^{N-1} \delta^2$$

es mínima, siempre y cuando los coeficientes C_n , correspondan a los coeficientes discretos de Fourier

$$C_n = (1/N) \cdot \sum_{j=0}^{N-1} T_j \cdot e^{i2\pi n j / N}$$

$$C_n = (1/N) \cdot \sum_{j=0}^{N-1} T_j \cdot e^{ik_r r} \quad [3]$$

Las transformadas de Fourier se denotan abreviadamente así:

$$T_j \longleftrightarrow C_n \quad [4]$$

Esto significa que se puede pasar del dominio del tiempo, al dominio de la frecuencia y viceversa, usando la transformada directa y la transformada inversa de Fourier.

Debido a la longitud finita de la señal en el dominio del tiempo, se hace necesario establecer límites en el dominio de la frecuencia, los cuales dependen de su longitud y de su intervalo de muestreo.

La longitud del registro define el límite inferior:

$$U_l = 1/L$$

y el intervalo de muestreo define el límite superior llamado de frecuencia de Nyquist

$$U_N = 1/2D$$

De las dos condiciones anteriores se establece que el intervalo de frecuencia en el espectro es:

$$1/L \leq U \leq 1/2D$$

y el intervalo entre dos frecuencias consecutivas está dado por:

$$\Delta U = 1/L$$

llamado también co-intervalo de Nyquist.

En la práctica, para lograr una óptima resolución, es necesario tomar la longitud del registro tan grande como sea posible.

Los datos de muestreo T_j son reales y los resultados que se desea obtener también deben ser reales; por lo tanto, al expresarlos en términos de una serie de Fourier, se debe tener en cuenta la siguiente propiedad:

$$T_j \text{ es real y par } \longleftrightarrow C_n \text{ es real y par} \quad [5]$$

En general T_j no cumple con esta condición pero, usando los datos de muestreo, es posible construir una nueva función T_j , en el intervalo $0 \leq j \leq 2N-1$, que tenga simetría par con respecto al último punto de la serie haciendo:

$$T_j = T_{2N-j} \quad (\text{ver Fig. 1})$$

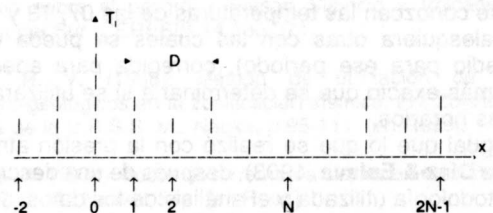


Figura 1. Función T_j construida a partir de los datos de muestreo, con simetría par

$$T_i = \sum_{j=0}^{2N-1} C_n \cdot e^{-ik \cdot r} \cdot e^{kz} \quad [6]$$

$$C_n = (\frac{1}{2}N) \cdot \sum_{j=0}^{2N-1} T_i \cdot e^{ik \cdot r} \quad [7]$$

Se puede construir también la función par, con respecto al origen de la misma, tomando:

$$T_i = T_{-i}$$

En esta nueva función 2N, D y 2ND representan respectivamente: el número de intervalos, el intervalo de muestreo y la longitud de la nueva función par.

Construida la función par y haciendo:

$$2C_n = a_n$$

las ecuaciones [6] y [7] se transforman en las ecuaciones [8] y [9] que son la base teórica para la determinación o construcción de modelos que representen las señales en el tiempo y la frecuencia de los diferentes elementos meteorológicos.

El espectro de potencia permite identificar las componentes en frecuencia de una señal y separarlas posteriormente en el dominio del tiempo. Es posible también realizar procesos cuantitativos que en el dominio del tiempo son dispendiosos, pero que en el dominio de la frecuencia se reducen a operaciones algebraicas.

$$T_i = (a_0/2) + \sum_{n=1}^{N-1} a_n \cdot \cos(k \cdot r) + (a_N/2) \cdot \cos(\pi i) \quad [8]$$

$$a_n = (2/N) [T_0 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} T_i \cdot \cos(k \cdot r) + T_N \cdot \cos(\pi n)] \quad [9]$$

El coeficiente a_0 de Fourier, se define para cada mes, como:

$$a_0 = 2 \cdot (1/24) \cdot \sum_{i=1}^{24} T_i \quad [10]$$

y corresponde a los valores que aparecen en la Tabla 2, como número de onda cero.

En todos los casos: el subíndice N significa el valor del punto 24 (hora 24 o cero), n es un punto cualquiera dentro de los límites señalados, T_0 valor del elemento a la hora cero (24 horas), T_i valor horas 1 a 23, T_i valor horas 1 a 24, T_N valor a la hora 24 (o cero).

4. ANALISIS DE LOS DATOS

Los datos utilizados corresponden a los valores medios de temperatura del aire para cada hora, de cada mes y año (Tabla 1) determinados por **Eslava** (1990, 1991) para la estación Observatorio Meteorológico Nacional, que estuvo ubicada en el extremo NE de la Ciudad Universitaria de Santafé de Bogotá, dentro del área ocupada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Para definir esos valores se utilizaron los valores horarios medidos en ese sitio, durante el período 1941-1960, previa una verificación, homogeneización y procesamiento según los métodos meteorológicos y estadísticos más adecuados y comúnmente usados en estos casos.

4.1 Reproducción de la señal mediante la serie de Fourier

Al igual que lo señalado para la presión atmosférica (**Díaz & Eslava**, 1993), la señal T_i (ecuación [1]) se puede reproducir mediante T_i (ecuación [7]) con desviaciones mínimas y se pueden lograr correlaciones que tienen un coeficiente de 0.9999.

Como se señaló antes el coeficiente a_0 corresponde al doble del promedio diario determinado para cada mes con base en 24 observaciones horarias. Por su parte, $a_1, a_2,$

a_3, \dots, a_{24} , definen la presencia de frecuencias en orden ascendente en el espectro y, por lo tanto, determinan la forma de la señal, mientras que a_0 solamente ubica un desplazamiento de la señal a partir del origen.

TABLA 1
Temperatura media horaria del aire, en Santafé de Bogotá, (°C)

Hora	Enero Julio	Febrer Agosto	Marzo Septie	Abril Octubr	Mayo Noviem	Junio Diciem	AÑO
01	9.5	9.6	10.6	10.7	10.9	10.5	
	9.9	9.9	9.5	10.2	10.2	10.2	10.1
02	9.0	9.2	10.2	10.4	10.5	10.1	
	9.6	9.5	9.0	9.8	9.8	9.7	9.7
03	8.6	8.7	9.8	10.0	10.2	9.8	
	9.3	9.2	8.7	9.5	9.5	9.3	9.4
04	8.2	8.4	9.6	9.8	10.0	9.5	
	9.0	8.9	8.5	9.2	9.3	9.1	9.1
05	7.8	8.1	9.3	9.7	9.8	9.3	
	8.8	8.7	8.3	8.9	9.0	8.7	8.9
06	7.6	7.7	9.1	9.6	9.8	9.3	
	8.8	8.5	8.1	8.9	8.9	8.6	8.7
07	8.5	8.5	10.2	11.1	11.5	10.8	
	10.5	10.3	10.1	10.6	10.7	10.2	10.2
08	11.8	11.8	12.9	13.6	13.8	13.3	
	12.7	12.7	12.8	13.3	13.4	12.7	12.9
09	14.3	14.3	15.2	15.5	15.4	14.7	
	14.4	14.4	14.9	15.1	15.4	14.9	14.9
10	16.5	16.4	16.8	16.5	16.4	15.8	
	15.4	15.6	16.2	16.5	16.9	16.8	16.3
11	17.9	18.2	17.9	17.7	17.1	16.6	
	16.1	16.5	16.9	17.3	17.8	17.9	17.3
12	18.7	19.1	18.6	18.0	17.6	17.1	
	16.6	16.9	17.4	17.6	18.3	18.6	17.9
13	19.1	19.4	19.2	18.5	18.1	17.6	
	17.1	17.5	17.8	17.6	18.4	18.7	18.2
14	18.9	18.9	19.0	18.2	18.0	17.6	
	17.2	17.4	17.9	17.2	17.8	18.5	18.0
15	18.6	18.5	18.6	17.8	17.7	17.3	
	17.1	17.3	17.8	16.9	17.2	17.8	17.7
16	17.6	17.7	17.9	17.1	17.3	16.9	
	16.7	16.8	17.2	16.3	16.5	16.9	17.1
17	16.5	16.6	16.9	16.3	16.4	16.0	
	16.0	16.0	16.4	15.6	15.4	15.8	16.2
18	15.1	15.4	15.5	15.1	15.3	15.0	
	14.9	14.9	15.0	14.4	14.4	14.7	15.0
19	13.6	14.1	14.2	13.8	14.2	13.9	
	13.7	13.7	13.8	13.4	13.4	13.7	13.8
20	13.0	13.3	13.5	13.2	13.5	13.2	
	12.9	12.9	13.0	12.8	12.9	12.9	13.1
21	12.1	12.3	12.8	12.5	12.6	12.3	
	12.0	11.9	12.0	12.0	12.0	12.1	12.2
22	11.4	11.5	12.3	12.0	12.1	11.8	
	11.3	11.4	11.2	11.4	11.6	11.5	11.6
23	10.7	10.8	11.8	11.5	11.8	11.3	
	10.8	10.8	10.6	11.0	11.2	11.1	11.1
24	10.1	10.2	11.1	11.2	11.4	10.8	
	10.3	10.4	9.8	10.6	10.7	10.7	10.6
M	13.1	13.3	13.9	13.7	13.8	13.4	
	13.0	13.0	13.0	13.2	13.4	13.4	13.3

Los valores que aparecen en la Tabla 2, son los coeficientes de Fourier obtenidos al aplicar la transformada de Fourier (ecuación [9]) a los datos de la Tabla 1.

TABLA 2

Coefficientes de Fourier, obtenidos al aplicar la transformada de Fourier (ecuación 9) a los promedios horarios de la temperatura del aire en Santafé de Bogotá (Tabla 1)

#Onda	Ener Julio	Febrer Agosto	Marzo Septie	Abril Octubr	Mayo Noviem	Junio Diciem	Año
0	26.26	26.58	27.77	27.50	27.64	26.72	
	25.94	26.03	26.09	26.38	26.75	26.78	26.67
1	-1.81	-1.84	-1.50	-1.11	-1.16	-1.22	
	-1.31	-1.38	-1.48	-1.09	-1.07	-1.31	-1.36
2	-4.95	-4.94	-4.38	-4.04	-3.81	-3.79	
	-3.87	-4.02	-4.53	-3.99	-4.22	-4.45	-4.25
3	0.71	0.76	0.56	0.27	0.34	0.46	
	0.57	0.53	0.54	0.12	0.02	0.29	0.44
4	1.44	1.43	1.20	0.96	0.77	0.75	
	0.66	0.80	0.77	0.89	1.06	1.25	0.99
5	0.81	0.89	0.61	0.54	0.46	0.50	
	0.48	0.53	0.66	0.73	0.78	0.75	0.65
6	0.27	0.19	0.27	0.35	0.42	0.38	
	0.44	0.43	0.47	0.44	0.33	0.27	0.37
7	0.02	-0.10	0.08	0.11	0.15	0.17	
	0.16	0.13	0.19	0.07	0.07	0.02	0.07
8	-0.32	-0.25	-0.28	-0.16	-0.12	-0.12	
	-0.15	-0.15	-0.25	-0.20	-0.17	-0.15	-0.20
9	-0.14	-0.11	-0.11	-0.11	-0.14	-0.13	
	-0.14	-0.15	-0.18	-0.11	-0.15	-0.14	-0.14
10	-0.04	-0.05	-0.10	-0.11	-0.13	-0.13	
	-0.12	-0.12	-0.11	-0.11	-0.12	-0.06	-0.10
11	0.02	0.01	0.04	-0.03	-0.03	-0.03	
	-0.03	-0.03	-0.01	-0.05	-0.04	0.01	-0.02
12	0.14	0.15	0.15	0.13	0.08	0.07	
	0.08	0.07	0.10	0.06	0.07	0.05	0.10
13	0.09	0.16	0.09	0.08	0.10	0.10	
	0.06	0.09	0.11	0.11	0.13	0.08	0.11
14	0.06	0.08	0.03	0.08	0.03	0.06	
	0.04	0.07	0.06	0.04	0.04	0.07	0.05
15	0.02	0.00	0.03	0.05	0.07	0.06	
	0.05	0.06	0.08	0.08	0.06	0.06	0.04
16	-0.05	-0.05	0.00	-0.03	0.02	0.01	
	0.00	0.03	0.01	-0.01	0.03	0.03	-0.01
17	-0.03	-0.06	-0.03	-0.05	-0.02	-0.06	
	-0.01	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	-0.03
18	0.00	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	
	-0.01	-0.03	0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.01
19	-0.02	0.00	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	
	-0.04	-0.05	-0.06	-0.04	-0.04	-0.02	-0.03
20	0.12	0.10	0.06	0.05	0.04	0.06	
	0.02	0.05	0.02	0.05	0.05	0.01	0.05
21	0.05	0.02	0.00	-0.03	-0.02	0.00	
	-0.02	0.00	0.00	0.02	-0.01	0.01	0.01
22	0.01	0.00	0.00	-0.04	0.02	0.03	
	0.01	-0.01	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02
23	-0.01	-0.02	-0.01	0.03	0.02	0.02	
	0.02	0.05	0.01	-0.02	0.03	0.00	0.02

4.2 Pronóstico de valores horarios

Usando el promedio de 24 horas anteriores y aplicando la serie de Fourier: mediante la ecuación [9] se calculan los coeficientes, para el mes que corresponda, (Tabla 2) y se define la función en cualquier punto (hora) en la serie mediante la ecuación [8]. Así se pueden determinar con buena precisión, en primera instancia, los valores horarios de temperatura para períodos de 6 o 12 horas, según los datos de entrada.

En caso de no disponer del valor promedio determinado con base en las 24 horas anteriores, se puede usar el promedio determinado por cualquiera de las fórmulas alternativas que existen, previa aplicación de una corrección para convertirlo en promedio de 24 horas.

Puesto que en Colombia se utiliza generalmente la fórmula:

$$T_d = (T_{07} + T_{13} + 2.T_{19})/4 \quad [11]$$

entonces, el primer coeficiente de Fourier será:

$$a_0 = 2.[T_d + \Delta T] \quad [12]$$

El ΔT que se utiliza en este trabajo es el determinado por Eslava (1990, 1991) y que se relaciona para cada mes en la Tabla 3.

T_d = Temperatura media diaria,

T_{07} = Temperatura del aire a las 07 horas, este dato puede ser el cronológicamente anterior o posterior al de las 13 o 19 horas que se utilice en la fórmula,

T_{13} = Temperatura a las 13 horas, este dato puede ser el cronológicamente anterior o posterior al de las 07 o 19 horas que se utilice en la fórmula,

T_{19} = Temperatura a las 19 horas, este dato puede ser el cronológicamente anterior o posterior al de las 07 o 13 horas que se utilice en la fórmula,

ΔT = diferencia media mensual entre la temperatura media diaria basada en las observaciones de las 07, 13 y 19 horas, y la temperatura media diaria determinada con base en 24 horas.

Un ejemplo de la aplicación del modelo al pronóstico se presenta en las Tablas 4 a 6, en las cuales con los datos de temperatura del aire medidos en el Observatorio Meteorológico Nacional el 6 y 7 de octubre de 1960 (tomados de IGAC, 1961), se pronostican los valores horarios para períodos de 12, 6 y 6 horas, respectivamente.

Tabla 3

Diferencia media mensual (ΔT) entre la temperatura media diaria determinada con base en 24 observaciones [1] y la temperatura media diaria determinada con base en observaciones de las 07, 13 y 19 horas [2], °C.

Mes	Temperatura [1]	Media [2]	ΔT [1]-[2]
Enero	13.1	13.7	-0.6
Febrero	13.3	14.0	-0.7
Marzo	13.9	14.4	-0.5
Abril	13.7	14.3	-0.6
Mayo	13.8	14.5	-0.7
Junio	13.4	14.0	-0.6
Julio	13.0	13.8	-0.8
Agosto	13.0	13.8	-0.8
Septiem	13.0	13.9	-0.9
Octubre	13.2	13.8	-0.6
Noviemb	13.4	14.0	-0.6
Diciemb	13.4	14.1	-0.7
Año	13.3	14.0	-0.7

Tabla 4

Valores medios horarios de temperatura del aire en Santafé de Bogotá, medidos y pronosticados (6 y 7 de octubre de 1960) aplicando el modelo

Hora	6-10-60		06-10-60		Δ	07-10-60		Δ
	Medida	Pronos	Medida	Pronos		Medida	Pronos	
01				9.4	7.7	1.7		
02				9.0	7.4	1.6		
03				8.7	6.4	2.3		
04				8.4	6.2	2.2		
05				8.1	5.3	2.8		
06				8.1	5.8	2.3		
07	6.2			9.8	7.2	2.6		
13	21.0							
19	12.4							
20		12.0	12.2		-0.2			
21		11.2	12.6		-1.4			
22		10.6	11.1		-0.5			
23		10.2	10.3		-0.1			
24		9.8	9.4		0.4			

Tabla 5

Valores medios horarios de temperatura del aire en Santafé de Bogotá, medidos (M) y pronosticados (P) (6 y 7 de octubre de 1960) aplicando el modelo, °C.

Día Hora	6 M	7 M	P	7-10-60 M	Δ
07		7.2			
08			12.8	13.6	-0.8
09			14.6	14.6	0.0
10			16.0	16.8	-0.8
11			16.8	18.4	-1.6
12			17.1	18.9	-1.8
13	21.0		17.1	18.7	-1.6
19	12.4				

Tabla 6

Valores medios horarios de temperatura del aire en Santafé de Bogotá, medidos (M) y pronosticados (P) (6 y 7 de octubre de 1960) aplicando el modelo, °C.

Día Hora	6 M	7 M	P	7-10-60 M	Δ
07		7.2			
13		18.7			
14			16.1	18.0	-1.9
15			15.8	17.7	-1.9
16			15.2	17.0	-1.8
17			14.5	18.4	-3.9
18			13.3	15.6	-2.3
19	12.4		12.3	14.6	-2.3

Las desviaciones (Δ) entre los valores obtenidos aplicando el modelo y los medidos son relativamente altas (en algunos casos cercanas a 3°C), dependen de condiciones meteorológicas propias de cada día, en particular de la amplitud de la temperatura y/o de la presencia o no de nubosidad (Fig.2).

Los ensayos indican que es posible llevar estas desviaciones a valores mínimos mediante la aplicación de un filtro que involucre las variables que las ocasionan. Esos ensayos también muestran que las desviaciones grandes pueden estar indicando errores en la serie original de datos o la presencia de una situación meteorológica particular o no usual; en este sentido el modelo puede ser usado como un control de calidad de la información.

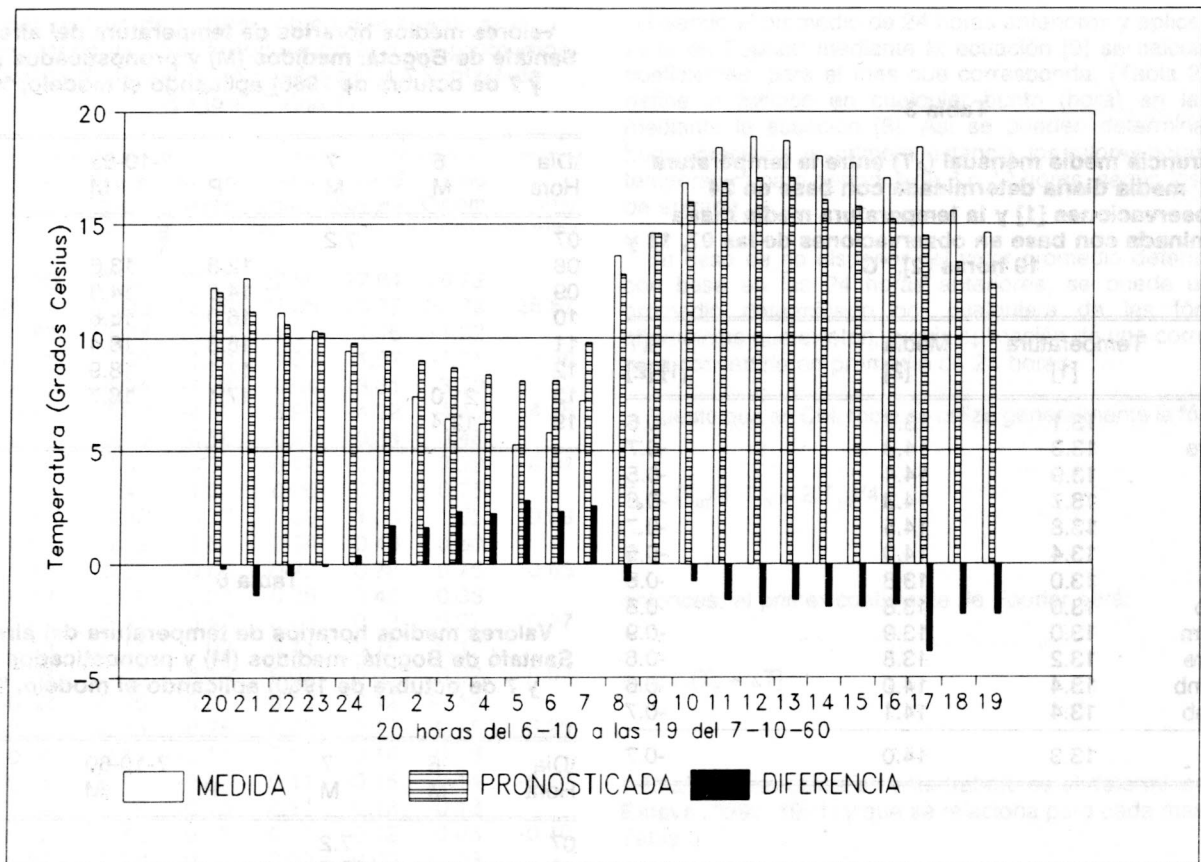


Figura 2. Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), medidos (6 y 7 de octubre de 1960) y pronosticados con el modelo (Tablas 4-6)

5. CONCLUSIONES

El modelo definido presenta una excelente correlación con los datos de entrada, pero al aplicarlo como pronosticador no se encontró una muy buena concordancia entre los valores generados y los observados, debido a la influencia de variables no consideradas en el modelo.

Aún así los resultados obtenidos son muy promisorios pues se trató de una aplicación preliminar de la metodología, que puede mejorarse mediante el manejo del procedimiento estadístico que determina la temperatura media y la utilización de filtros que contemplen las variables que originan esas diferencias y las disminuyan a un grado aceptable.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cooley, J.W., P.A. Lewis & P.D. Welch. (1970): The fast Fourier transform algorithm: Programming considerations in the calculation of sine, cosine and Laplace transforms. *Journal Sound Vib.* 12 (3):315-337. U.S.A.
- Díaz, R. & J. Eslava. (1993): Pronóstico de valores horarios de la presión atmosférica en el Observatorio Meteorológico Nacional. *ZENIT* 4:5-12. ACIG, Santafé de Bogotá.
- Eslava, J. (1990): Características de la variación diurna de la temperatura del aire en Bogotá. *Memorias del XI Congreso Colombiano de Geografía.* pp.222-237. ACOGE, Montería.
- (1991): Variación temporal de la temperatura del aire en Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 18 (68):65-74. Santafé de Bogotá.
- Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC). (1961): *Anales del Observatorio Meteorológico Nacional-Ciudad Universitaria 1960.* 215pp. IGAC, Santafé de Bogotá.