

ALGUNOS ASPECTOS DE LAS APLICACIONES DE LA METEOROL

Por: Jaime Miró-Granada
y Fco. Javier Mantero

Los servicios meteorológicos tienen como base de sus actividades la obtención de los datos que caracterizan, en cada momento, el estado de la atmósfera. Las sucesivas elaboraciones y tratamientos que con estos datos se realizan conducen a la obtención de unos productos de información que, servidos tanto en tiempo real como diferido, son de aplicación a diversidad de objetivos por multitud de usuarios. Tanto la variedad de aplicaciones, como la forma y abundancia con que los usuarios desean esa información meteorológica, pone en grandes dificultades a los servicios meteorológicos, incluso a los mejor dotados y organizados del mundo que padecen, o han padecido, verdaderas crisis de crecimiento.

La Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.) no ha completado hasta ahora la labor de dictar unas normas de aplicación general que permitan adecuar los métodos de observación y tratamiento de los datos con las necesidades de su aplicación sistemática por los usuarios.

Nuestro interés, en estas breves Notas, es el exponer cómo el Instituto Nacional de Meteorología, por medio de los Centros Meteorológicos Zonales y de los organismos centrales, hace frente a la creciente demanda de información específica.

Dejando aparte las aplicaciones meteorológicas a las marinas, mercante, de guerra, pesquera y deportiva, y a la aeronáutica, nos limitamos a exponer unos breves ejemplos de aplicación meteorológica.

1. Aplicaciones meteorológicas a las investigaciones sobre el aprovechamiento energético.

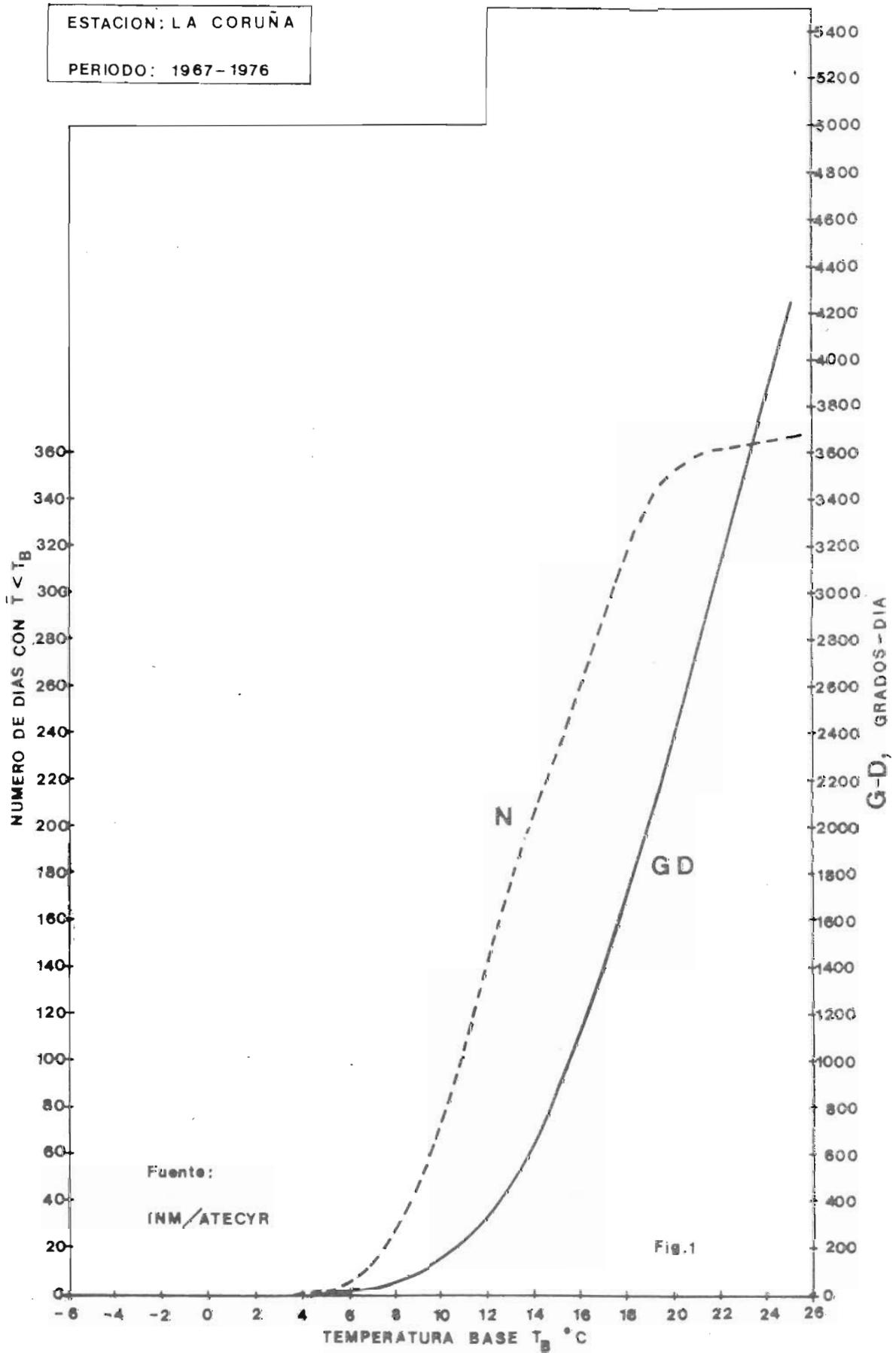
En este campo, es de día en día creciente la necesidad de elaborar parámetros climáticos sobre bases físicas comprobadas al objeto de, entre otras cosas, poder calcular los factores condicionantes que influyen sobre edificios de viviendas e industriales, tales como temperatura, viento, nieve o hielo; determinar, desde el punto de vista del calor y la humedad, las características de los edificios y de los sistemas de calefacción y de ventilación que permiten influir en la seguridad y durabilidad de las construcciones y mejorar la calidad de vida en ellas con el máximo ahorro de energía posible.

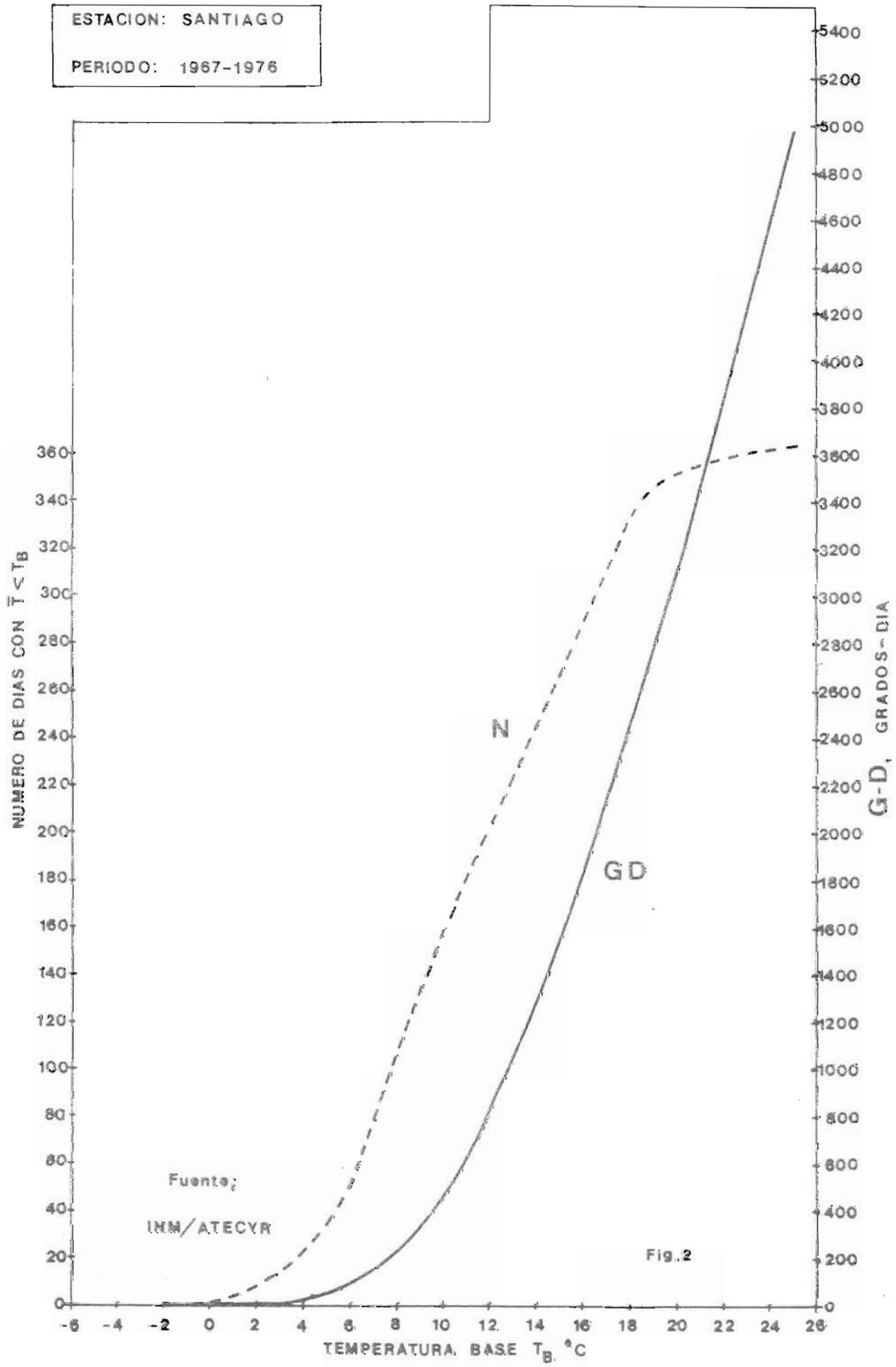
Aportando su esfuerzo en las investigaciones en la climatología aplicada a la ingeniería y a la construcción, el Servicio de Aplicaciones de la Meteorología y del Medio Ambiente desarrolla un programa sobre condiciones de diseño para cálculos de climatización, en colaboración con la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), de cuyo programa presentamos un ejemplo de unos resultados.

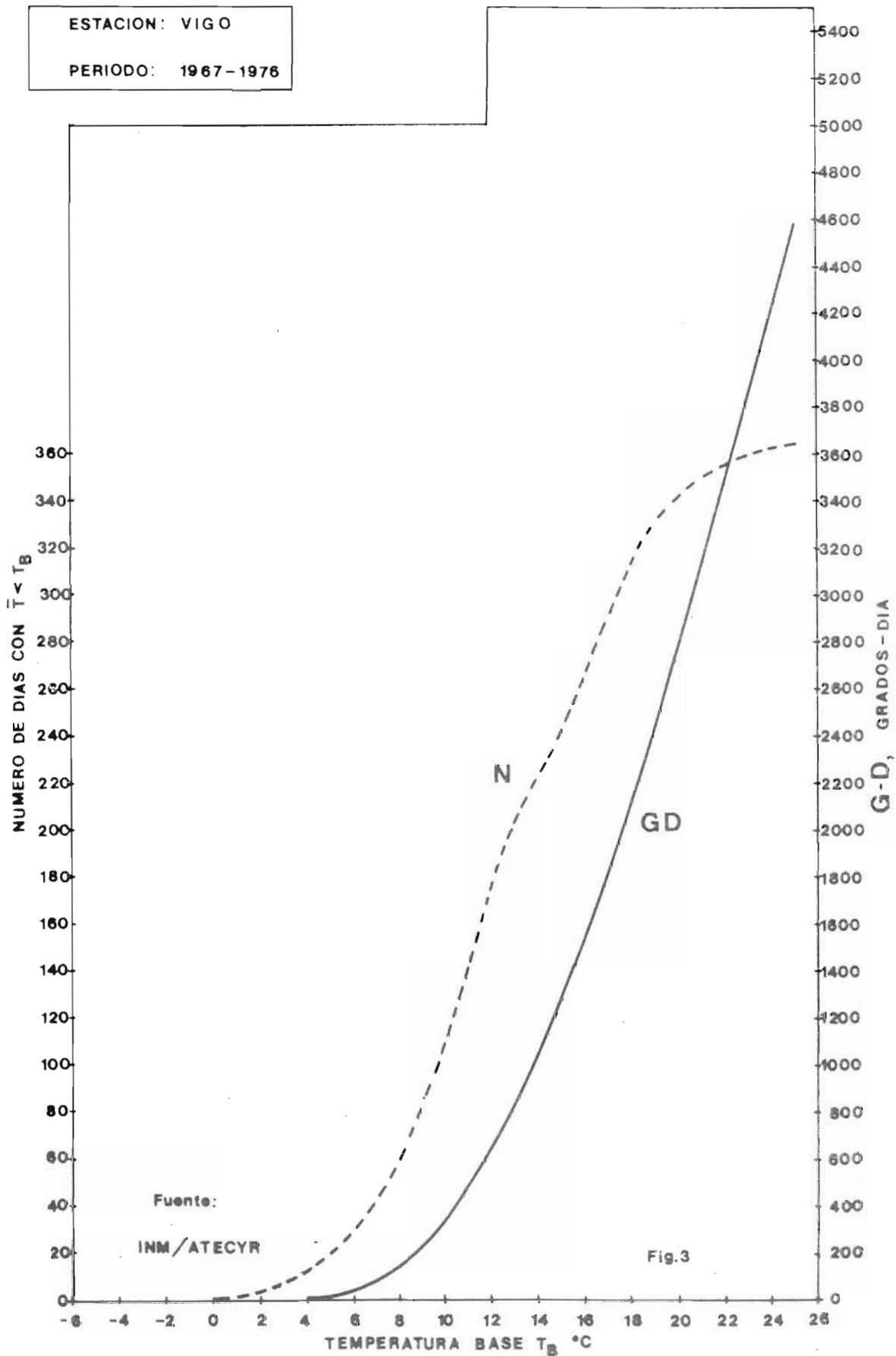
Se trata de la determinación del número de "Grados-día" -GD-, mensuales y anual, calculados respecto a varias temperaturas base, partiendo de observaciones trihorarias, con datos originales del archivo del I.N.M.

Se calcula

$$GD = \sum \delta (T_B - \bar{T}), \quad \text{con } \delta = 0, \quad \text{si } \bar{T} > T_B \quad \text{y} \quad \delta = 1 \\ \text{si } \bar{T} < T_B, \quad \bar{T} = \frac{\sum T_i}{8}$$







siendo T_i las temperaturas trihorarias del día y T_B la temperatura base que se considere (se han tomado las de $0^\circ, 6^\circ, 12^\circ, 15^\circ, 18^\circ, 20^\circ$ y 25°).

En los gráficos adjuntos se presentan los "grados-día versus temperaturas base" de La Coruña, Santiago y Vigo. A su vez se representan las curvas del número de días N con $\bar{T} < T_B$ respecto a la temperatura base (Figs. 1, 2 y 3).

Además de la importancia que para el aprovechamiento energético supone el conocimiento de estos resultados a los efectos que ya hemos mencionado, resultan dichas curvas representativas de interesantes particularidades climáticas específicas de cada punto de observación y de su entorno.

2. Aplicaciones meteorológicas en el campo de la contaminación atmosférica industrial.

Varias vertientes presenta este problema:

- a) El conocimiento de los parámetros meteorológicos que influyen en la dispersión atmosférica de contaminantes en zonas industrializadas o de posible industrialización;
- b) El desarrollo de modelos de contaminación atmosférica de origen industrial, y
- c) El desarrollo de métodos de predicción de la contaminación potencial.

Exponemos como ejemplo, de forma breve y sintetizada, un caso de estudio meteorológico básico para estas aplicaciones, realizado en la Sección de Meteorología Ambiental del I.N.M., el relativo a La Coruña.

El estudio parte de las series de observaciones de La Coruña, Granja Agrícola, Betanzos y Montevitoso, para fijar los valores climatológicos, de medias mensuales y anuales de un buen número de variables. Con los datos trihorarios de las observaciones de viento obtenemos, como base, un conjunto de rosas de viento: mensuales, anual, anuales por horas, de velocidades medias, tratadas por procedimientos homogeneizantes, de contenido lógico y físico (Fig. 4).

Se construye una matriz tridimensional de estabilidades, utilizando las categorías de Pasquill y asignándolas a cada observación meteorológica según el criterio de Pasquill-Turner, basado en la velocidad del viento y en la radiación solar neta. El cuadro adjunto presenta la frecuencia relativa, en tantos por ciento, anual, de simultaneidad de dirección y velocidad de viento y categoría de estabilidad atmosférica (Cuadro I, Fig. 5).

Para cada dirección y velocidad, esta categoría se presenta dispuesta en la forma:

A	B	C
D	E	F

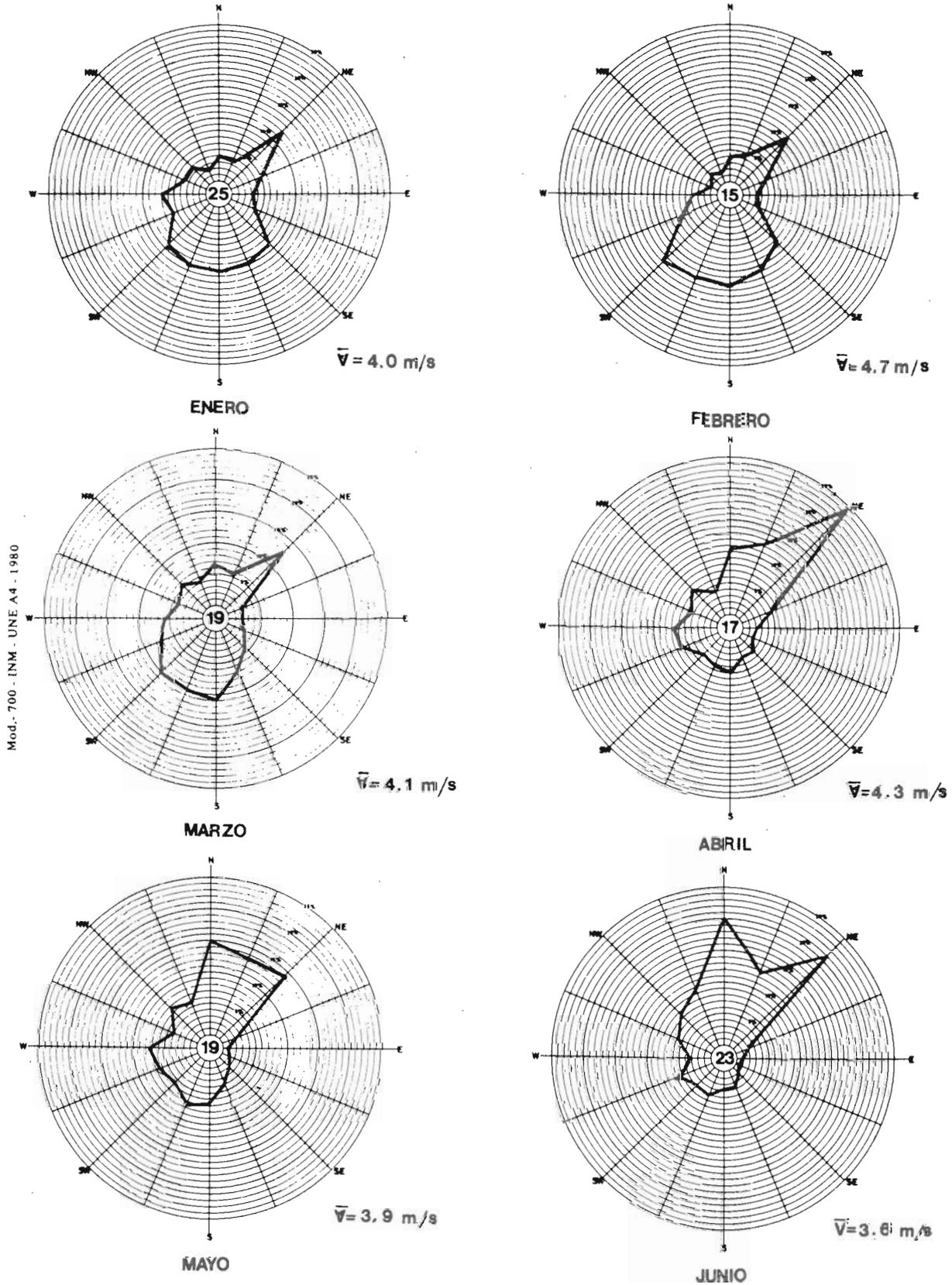
correspondiendo a cada letra, de la A a la F, la frecuencia de ocurrencia de dicha estabilidad (Cuadros II y III).

Se establecen tablas de persistencia de distintas condiciones meteorológicas que expresan la frecuencia o probabilidad (%) de que una determinada condición meteorológica se mantenga durante un período N de horas, una vez que dicha condición meteorológica se haya establecido durante 1 hora. En especial, persistencia de vientos, de todas las direcciones y ciertas fuerzas y persistencia de estabilidades. una gráfica de esas tablas se presenta en la figura 6.

Para obtener la densidad de frecuencia del viento, por unidad de área, es decir la probabilidad de que el origen del vector viento se encuentre en un área igual al área unidad, se parte de los mismos datos

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

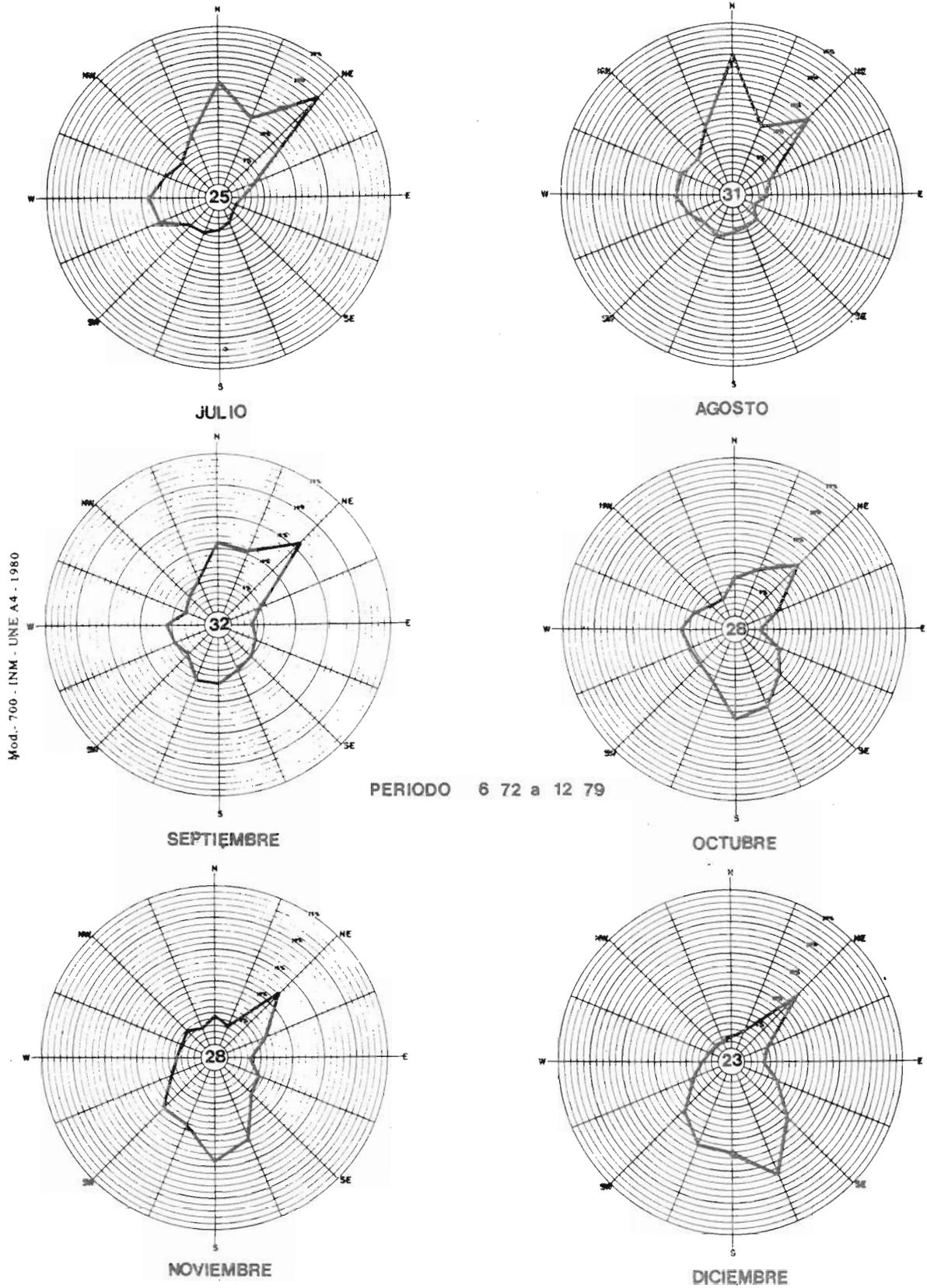
SECCION DE METEOROLOGIA AMBIENTAL
AEROPUERTO DE LA CORUÑA



ROSAS DE VIENTOS MENSUALES Fig. 4a

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

SECCION DE METEOROLOGIA AMBIENTAL
AEROPUERTO DE LA CORUÑA



ROSAS DE VIENTOS MENSUALES Fig.4b

MINISTERIO DE TRANSPORTE, TURISMO Y COMUNICACIONES
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

SECCION DE METEOROLOGIA AMBIENTAL

OBSERVATORIO AEROPUERTO DE LA CORUÑA

ROSA DE VIENTOS ANUAL

PERIODO DEL 6-72 a 12-79

ALTURA SOBRE EL SUELO 10 m

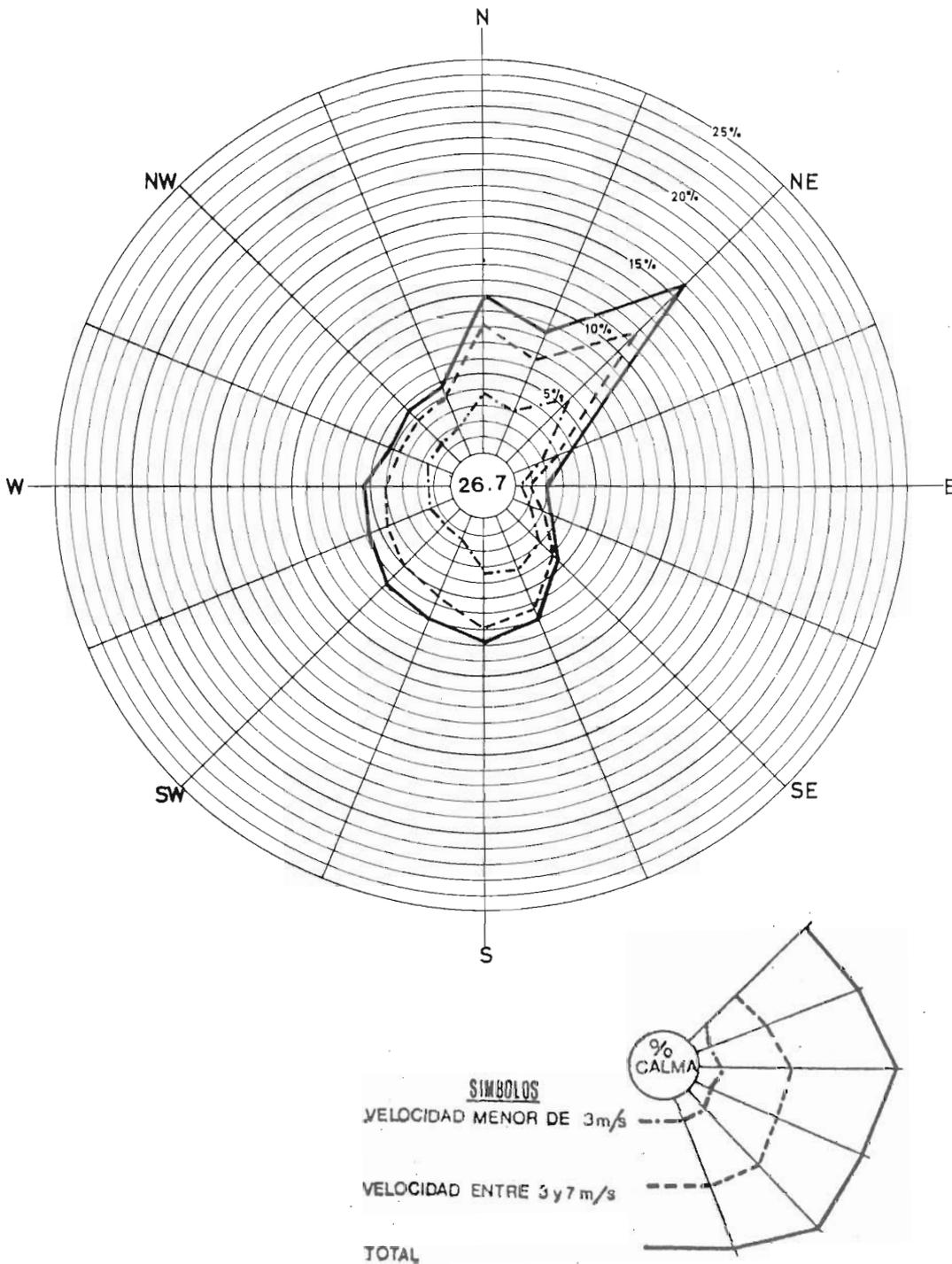


Fig. 4c

Rosa anual de velocidades medias sin calmas
AEROPUERTO DE LA CORUÑA

Período: 6-72 á 12-79

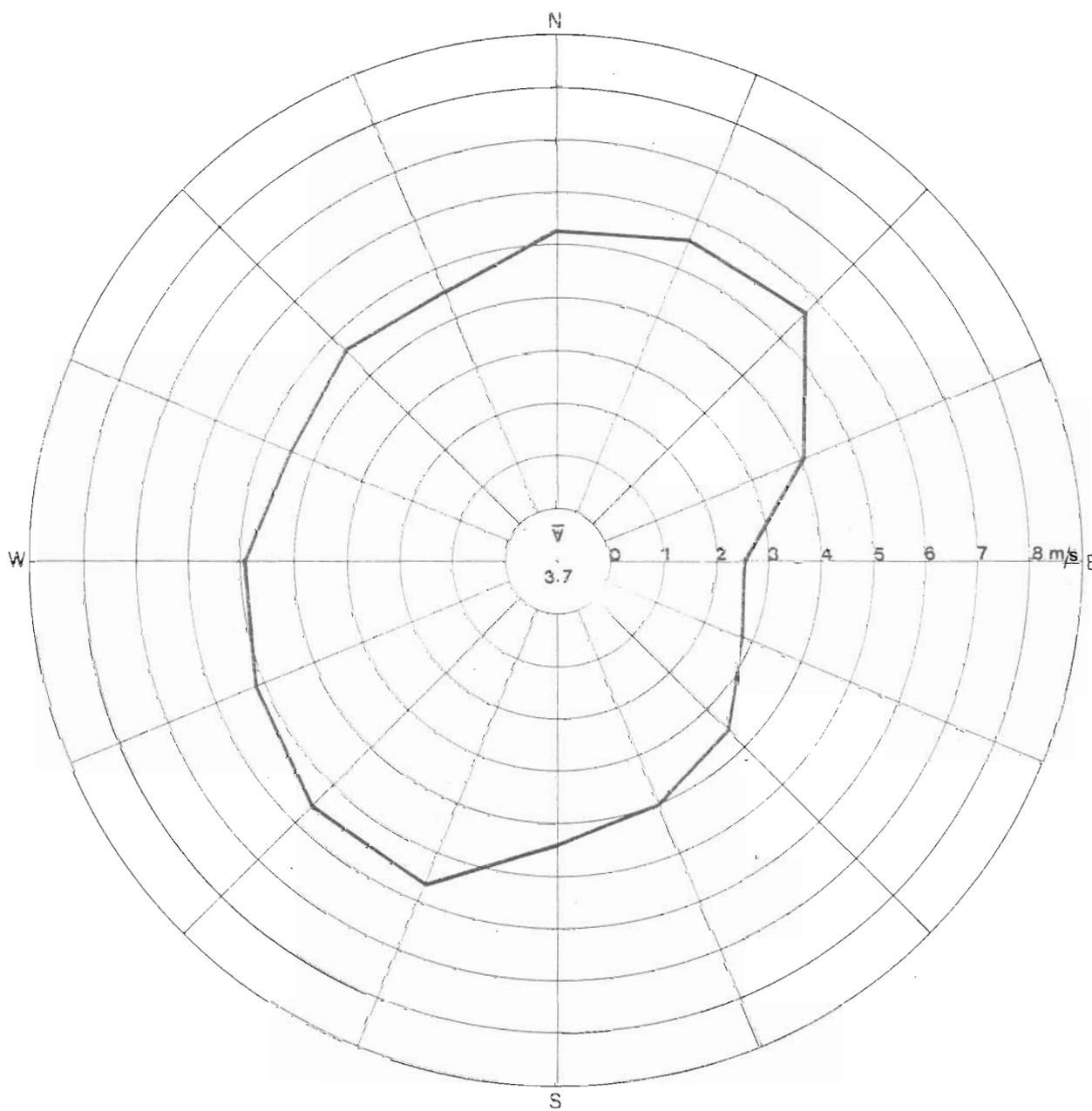
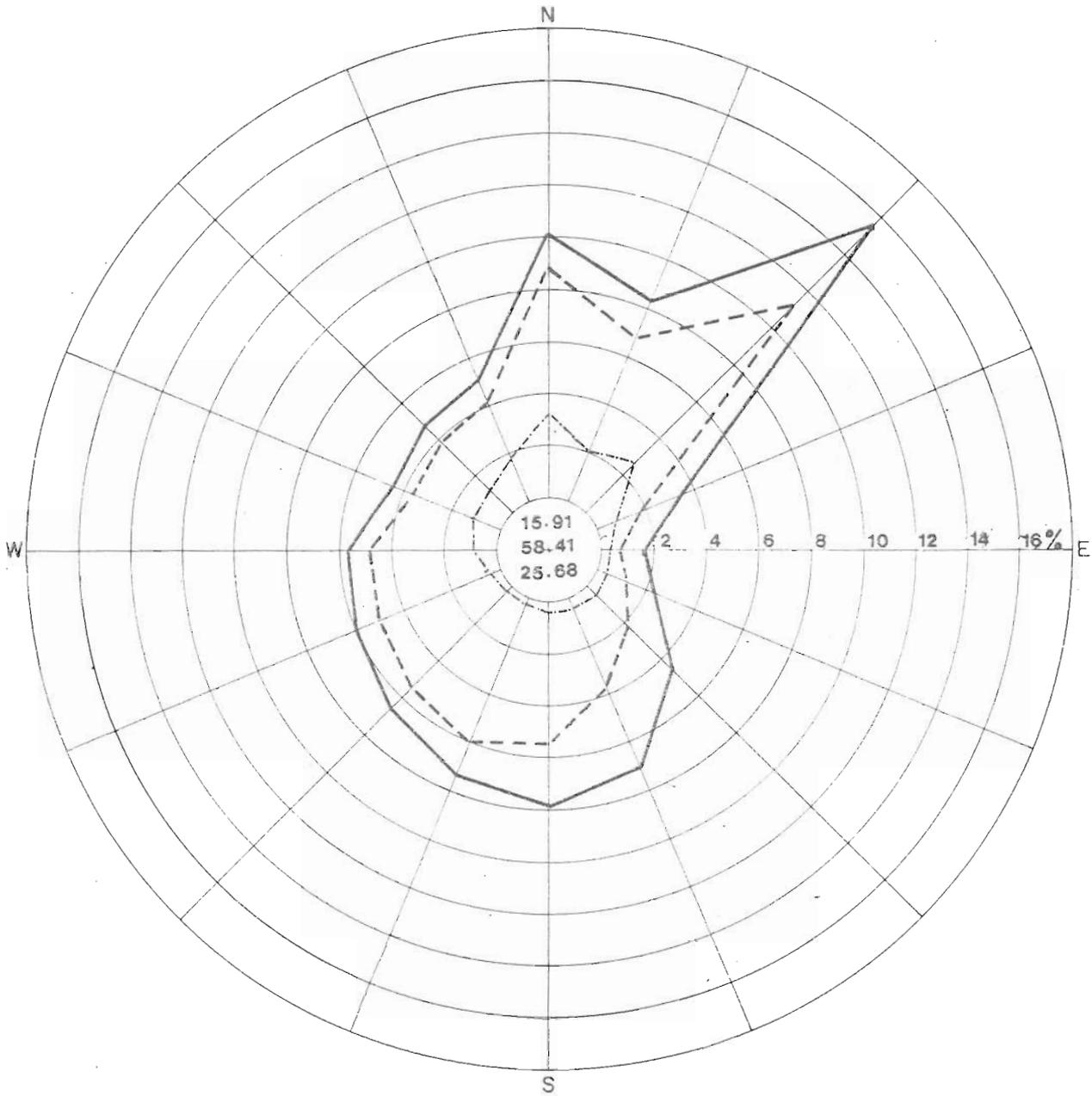


Fig. 4d

Fig. 5



- A+B+C
- A+B+C+D
- A+B+C+D+E+F

CIRCULO CENTRAL { ARRIBA: TOTAL A+B+C
CENTRO: TOTAL D
ABAJO: TOTAL E+F

CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE PASQUILL

<u>Categoría</u>	<u>Estabilidad</u>	<u>Altura de la capa de mezcla</u>
A (1)	Muy inestable	1.500 m.
B, C (2,3)	Inestable o ligeramente estable	1.000 m.
D (4)	Neutral	1.000. (60 %)-650 m. (40%)
E, F (5,6)	Estable o muy estable	300 m.

CUADRO II

CLASIFICACION DE PASQUILL

<u>Viento (a 10 m.)</u> m/s	<u>Insolación diaria</u>			<u>De noche: nubosidad ≤ 3/8</u>	
	<u>Fuerte</u>	<u>Moderada</u>	<u>Débil</u>		
< 2	A	A - B	B	-	-
2 - 3	A - B	A - B	C	E	E
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
6	D	D	D	D	D

CUADRO III

MINISTERIO DE TRANSPORTE, TURISMO Y COMUNICACIONES
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

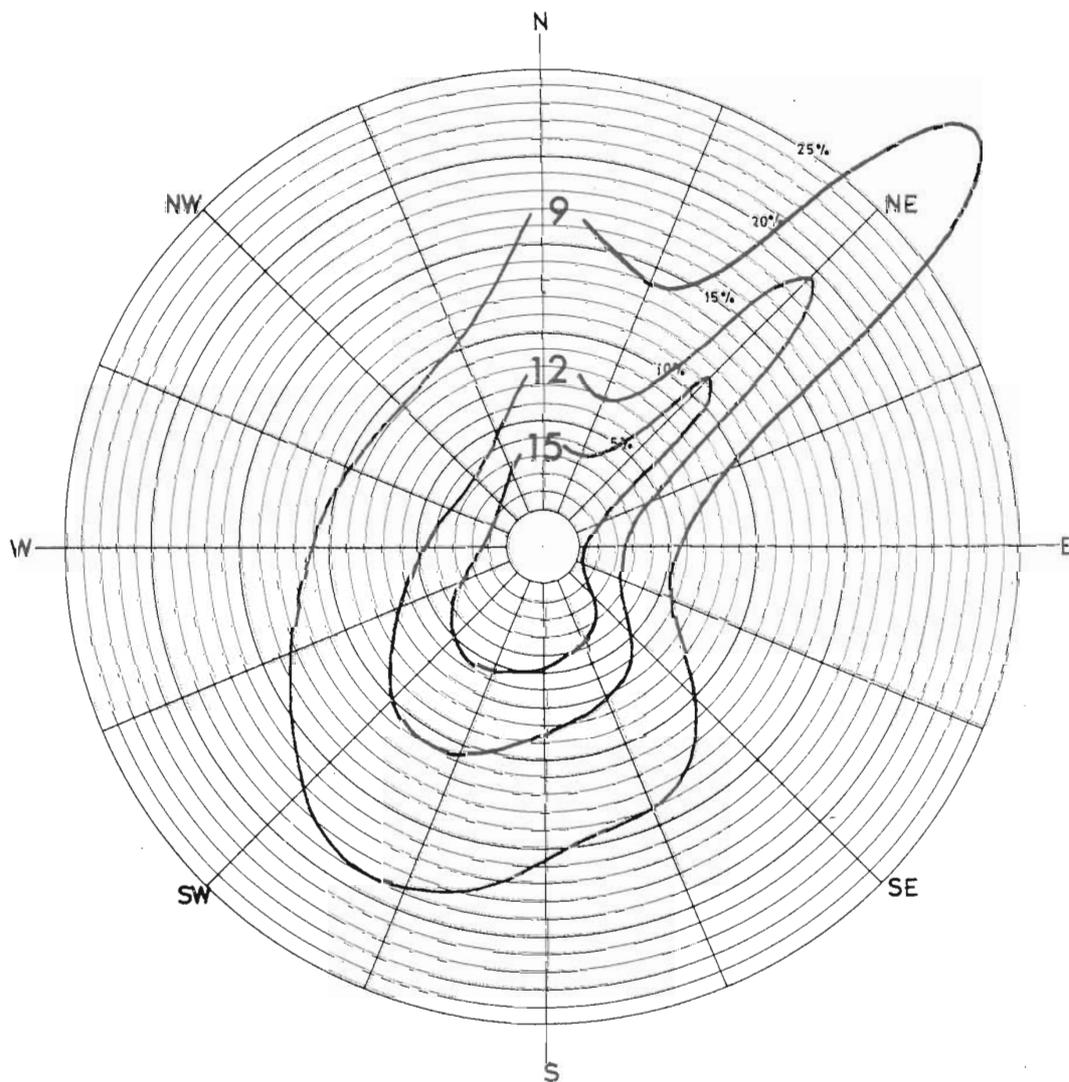
SECCION DE METEOROLOGIA AMBIENTAL

OBSERVATORIO AEROPUERTO DE LA CORUÑA

PERSISTENCIA DEL VIENTO

PERIODO DEL 6-72 a 12-79

ALTURA SOBRE EL SUELO 10m



Las isolneas están rotuladas en horas.

Fig.6

que se han citado. Esta distribución permite determinar tanto la dirección como el módulo de los vientos modales o dominantes. En la figura 7 se presenta la rosa anual.

Se forman también cuadros con los *parámetros de la distribución vectorial del viento*, para valores mensuales y anual (de éste se presenta el gráfico, figura 8) en los que se incluyen: "velocidad media escalar", "velocidad media vectorial" y su "dirección", la "constancia", o relación entre las velocidades medias vectorial y escalar, y las "varianzas", sobre los ejes y la "covarianza" de la distribución.

Con centro en el extremo del viento vectorial medio, se considera una *distribución elíptica normal* basada en la ecuación

$$\frac{V_x^2}{\sigma_x^2} - \frac{V_y^2}{\sigma_y^2} = -2 \text{Ln} (2 \pi \sigma_x \sigma_y \Phi)$$

con V_x y V_y los componentes del viento sobre los ejes de la elipse, cuyo eje mayor coincide con el eje de dispersión máximo, σ_x^2 y σ_y^2 las varianzas de la distribución sobre los ejes de la elipse y Φ la función de densidad de probabilidad.

Se agrega al estudio una "rosa de visibilidad", obtenida en forma de matriz tridimensional, que presenta la distribución anual de frecuencias de simultaneidad de la dirección, la velocidad del viento y 6 intervalos de visibilidad.

Por último, se llega a la obtención de cuadros y gráficos correspondientes, con las *concentraciones relativas*, calculadas por la fórmula:

$$\frac{x}{Q} = \frac{2,032 f}{x \cdot \bar{u} \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

- f = frecuencia de dirección, velocidad y estabilidad (tantos por uno) de la matriz tridimensional.
- \bar{u} = velocidad media del intervalo de velocidad de la matriz.
- x = distancia a la fuente de emisión del volumen de contaminantes.
- σ_z = función de dispersión vertical, y
- h = altura efectiva.

Se ha supuesto el suelo plano, $x \leq 10$ km, y el cálculo se ha hecho para distintas alturas efectivas de emisión. Se presentan los gráficos para alturas de emisión de 30 y 100 metros (Figs. 9 y 10).

Estudios, como el presentado, son vinculantes para la planificación de industrias contaminantes de la atmósfera.

3. Aplicaciones meteorológicas en el campo de los recursos hidráulicos y de la energía.

El aprovechamiento óptimo de los recursos hidráulicos depende de una adecuada planificación hidrológica. Ello implica un conocimiento exhaustivo del correspondiente ciclo hidrológico, algunos de cuyos elementos pertenecen al área de aplicaciones de la meteorología. Para una cuenca hidrográfica, una

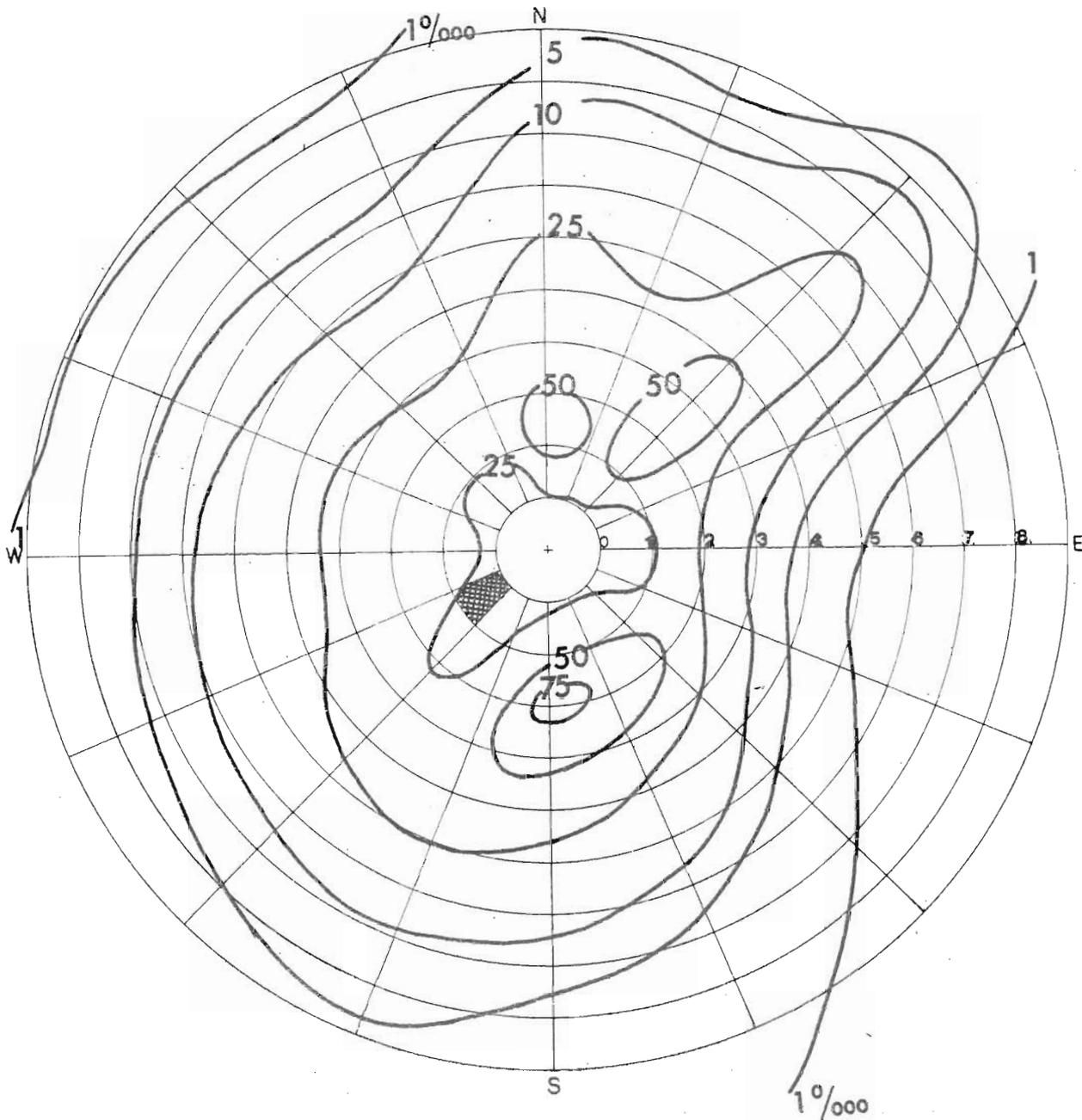
MINISTERIO DE TRANSPORTE, TURISMO Y COMUNICACIONES
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

SECCION DE METEOROLOGIA AMBIENTAL

OBSERVATORIO AEROPUERTO DE LA CORUÑA

Distribución de densidad de frecuencia por unidad de área. Rosa anual.

PERIODO DEL 6-72 a 12-79
ALTURA SOBRE EL SUELO 10m



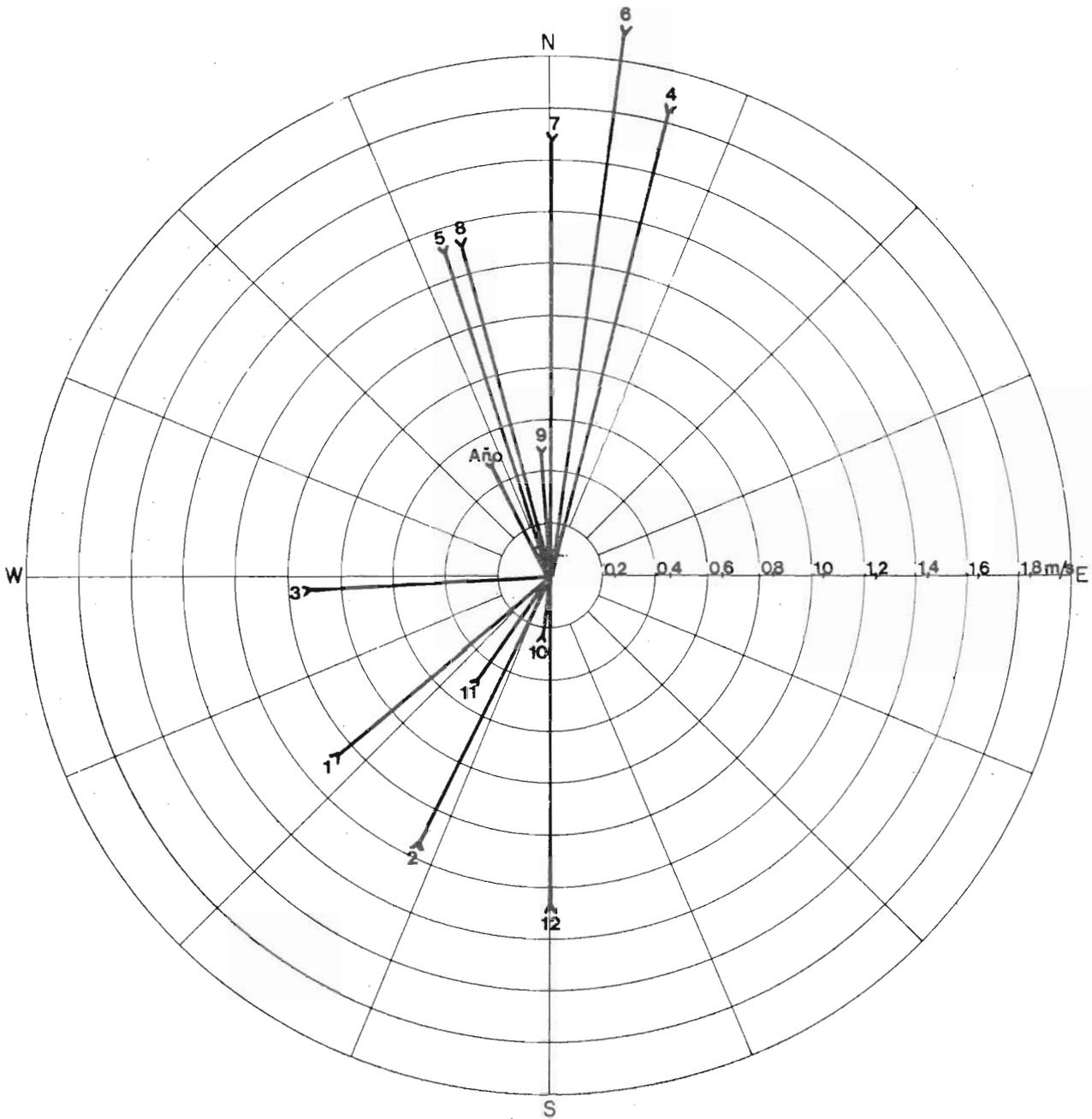
Area unidad

Fig. 7

VIENTO VECTORIAL MEDIO MENSUAL Y ANUAL
AEROPUERTO DE LA CORUÑA

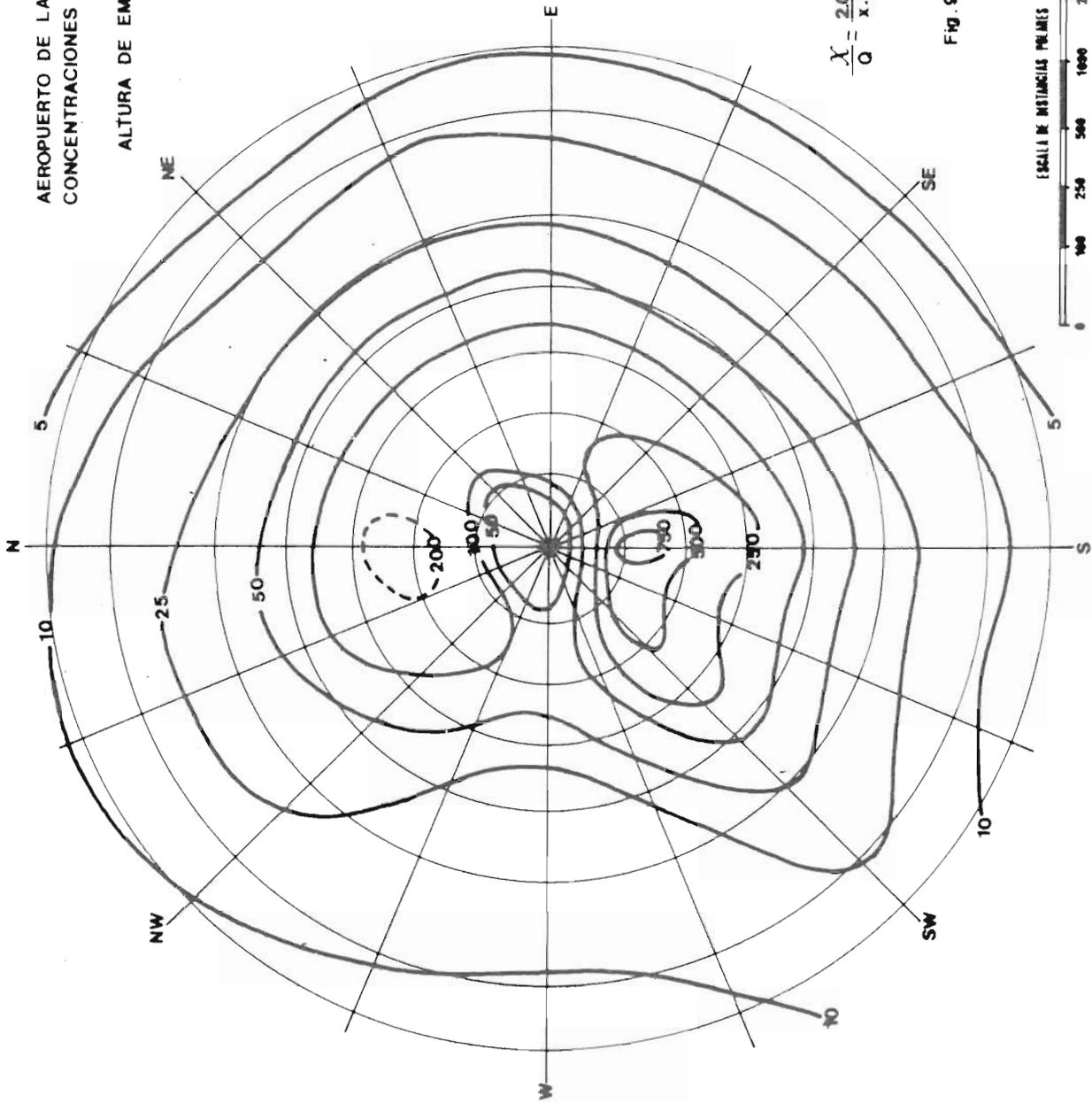
PERIODO: 6-72 a 12-79

Fig. 8



AEROPUERTO DE LA CORUÑA
CONCENTRACIONES RELATIVAS ANUALES

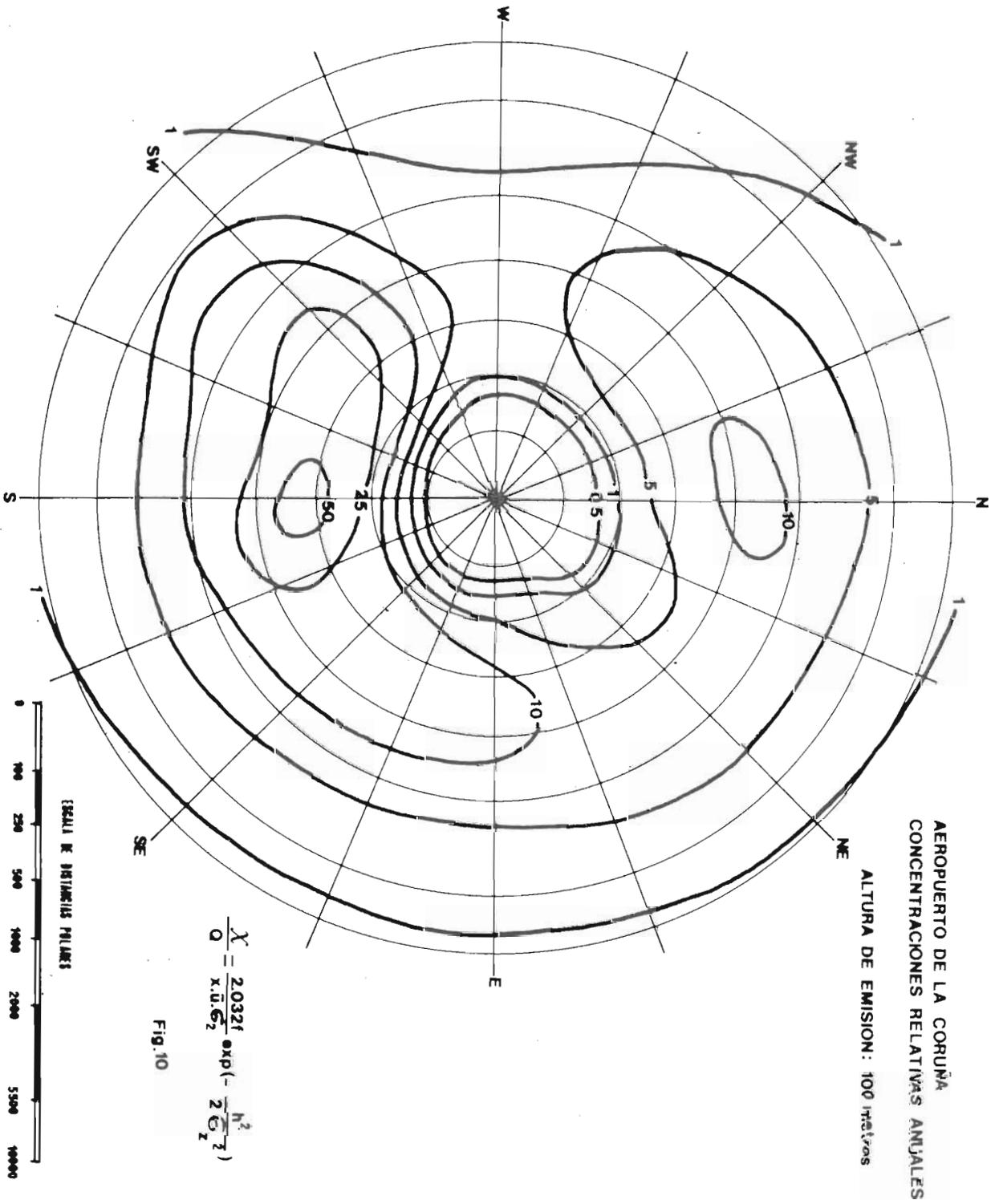
ALTURA DE EMISION: 30 metros



$$\frac{X}{Q} = \frac{2.0321}{x \cdot 0.62} \exp\left(-\frac{h^2}{2 \sigma_z^2}\right)$$

Fig. 9





región, una comarca, motivo de planificación o gestión de los recursos hidráulicos, la medición o estimación de los elementos del ciclo hidrológico conduce a la consideración de un balance hídrico.

Los métodos de evaluación de un balance hídrico pueden tener un grado de complejidad que sea función del interés en que se considere el ciclo motivo de estudio. Con frecuencia, un balance hídrico de tipo operativo que se obtenga en tiempo casi actual, aunque aumente la imprecisión, siempre presente en este tipo de cálculos, y reduzca el detalle en aras de una visión general, puede ser de interés a la vista de toma de decisiones en materia, por ejemplo, de regadíos, de regulación de caudales, de alertas de incendios forestales, etc.

En la Sección de Meteorología Hidrológica del I.N.M. viene desarrollándose, desde hace varios años, un programa de Balance Hídrico Nacional, basado únicamente en variables meteorológicas incluídas en los partes sinópticos de los observatorios españoles, portugueses y del sur de Francia, que son transmitidos por los sistemas de telecomunicación del I.N.M. y tratados en adecuados programas de ordenador. El Meteorólogo Sr. Sánchez Muniosguren y la Ayudante de Meteorología, Sra. Durantez colaboraron eficazmente en la ejecución del Programa.

Presentamos, gráficamente en forma esquemática, los elementos del balance, las fórmulas utilizadas para el cálculo de la evapotranspiración potencial, diaria y normal, el balance hídrico "normal", de cada punto a efectos de composición (en este caso corresponde al de La Coruña), el programa de ordenador, y los productos resultantes (Cuadros IV y V; Fig. 11).

Algunos de éstos, obtenidos en el balance hídrico correspondiente al día 31 de mayo de 1.982, han sido aplicados al mapa de Galicia:

- a) La "precipitación acumulada" $-P_A$ - desde 1º de septiembre (Fig. 12).
- b) La diferencia entre la "precipitación acumulada" y la considerada "normal acumulada", $P_A - P_{NA}$, hasta la fecha. Lo que permite una evaluación del estado de adelanto o atraso de las lluvias, de la sequía, en su caso, etc. (Fig. 13).
- c) El estado de humedad del suelo, con indicación de las zonas de suelo supuesto saturado y del volumen probable de escorrenría, o de sequedad del suelo (Fig. 14).
- d) La diferencia entre la "evapotranspiración potencial acumulada" desde 1º de septiembre y la considerada como "normal evapotranspiración potencial acumulada" $E_A - E_{NA}$, hasta la fecha (Fig. 15).

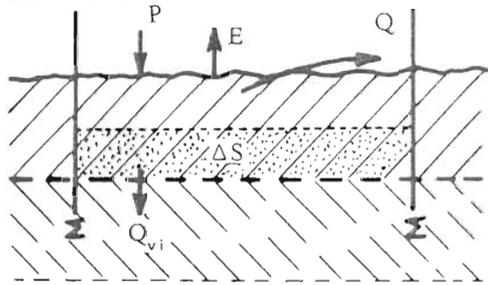
En la misma Sección del I.N.M. se trabaja intensamente para poner a punto unos programas de predicción de la precipitación cuantitativa, por zonas o cuencas hidrográficas, que pueda esperarse en próximos episodios lluviosos, deducida en gran parte con los productos recibidos del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio, de aplicaciones obvias en recursos hidráulicos y energéticos.

Otras muchas aplicaciones de la meteorología y de la climatología son motivo de tratamiento y difusión por parte del I.N.M., como por ejemplo las agrarias, agrícolas y ganaderas, y las fenológicas, las turísticas y sanitarias, urbanísticas o industriales, etc.

CUADRO IV

BALANCE HIDRICO DIARIO

1. Elementos del balance



$$P - E - Q - Q_{vi} - \Delta S - \eta = 0$$

Si $Q_{vi} \cong 0$; $\eta \cong 0$ (Errores)

$$P - E - Q - \Delta S = 0$$

P: Precipitación (mm).
E: Evapotranspiración potencial (mm).
Q: Escorrentía (mm).

ΔS : Variación de la reserva de agua en el suelo (mm).

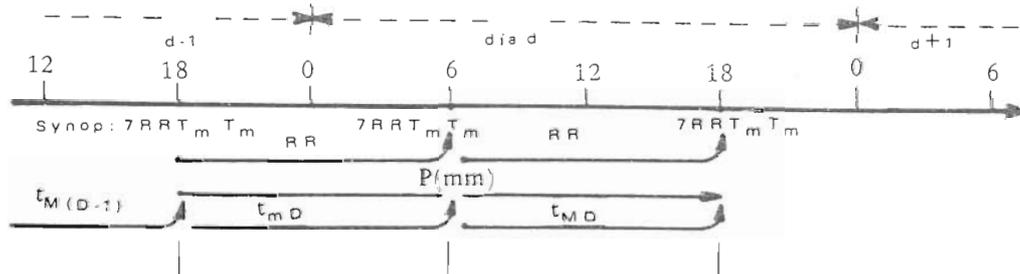
ΔS_0 = máxima estimada.

$Q > 0$, Si $P > E$ y $\Delta S = \Delta S_0$

2. Datos básicos.

V.M.M \Rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \text{S.B.O.} \\ \text{S.B.T.} \end{array} \right\}$ SYNOP - 1800 y 1600. Grupo: 7 RRTeTe

Estaciones de España, Portugal y Sur de Francia.



RR: precipitación; $\left. \begin{array}{l} T_{MM} \\ T_{mm} \end{array} \right\}$ Temperatura $\left\{ \begin{array}{l} \text{Máxima} \\ \text{Mínima} \end{array} \right.$

3. Fórmula.

$$e_d = \frac{135}{30} \left(\frac{t_{12}}{26,5} \right)^a \quad (\text{mm. día}^{-1}) \quad (\text{Thorntwaite}).$$

e_d : evapotranspiración potencial no corregida.

$$a = \frac{0,92621}{2,42325 - \log I} ; \quad I = \sum_1^{12} i ; \quad i = \left(\frac{t_n}{5} \right)^{1,514} ; \quad t_n = t_1, t_2, \dots, t_{11}$$

$$t_{12} = \frac{t_{M(D-1)} + 2t_{md} + 2t_{MD}}{4} \quad \boxed{E = K e_d} \quad (\text{mm. día}^{-1})$$

E: Evapotranspiración potencial diaria, corregida.

K: Coeficiente de insolación, relacionado con la latitud y el día d.

CUADRO IV (Continuación)

4. Modelo "Normal" comparativo

De:

- a) $E_o = 16K \left(\frac{10 \theta}{i} \right)^a$ (Thornthwaite and Holzman).
 E_o : evapotranspiración potencial "normal" mensual (Datos de 30 años).
- b) \bar{P}_i : precipitación "normal" mensual (Datos de 30 años).
- c) K: coeficiente mensual medio de insolación.

Por medio de:

$$f(t) = A_o + \sum_1^{\infty} \left(A_n \cos \frac{2\pi n t}{365} + B_n \text{sen} \frac{2\pi n t}{365} \right)$$

$$f(d) = \text{Valor medio mensual/número días del mes.}$$

Se adopta como valor diario "normal".

$$y(t) = A_o + \sum_1^6 \left(A_n \cos \frac{2\pi n t}{365} + B_n \text{sen} \frac{2\pi n t}{365} \right)$$

$$\left. \begin{aligned} A_o &= \frac{1}{365} \sum_1^{365} f(d) \\ A_n &= \frac{2}{365} \sum_1^{365} f(d) \cos \frac{2\pi n d}{365} \\ B_n &= \frac{2}{365} \sum_1^{365} f(d) \text{sen} \frac{2\pi n d}{365} \end{aligned} \right\}$$

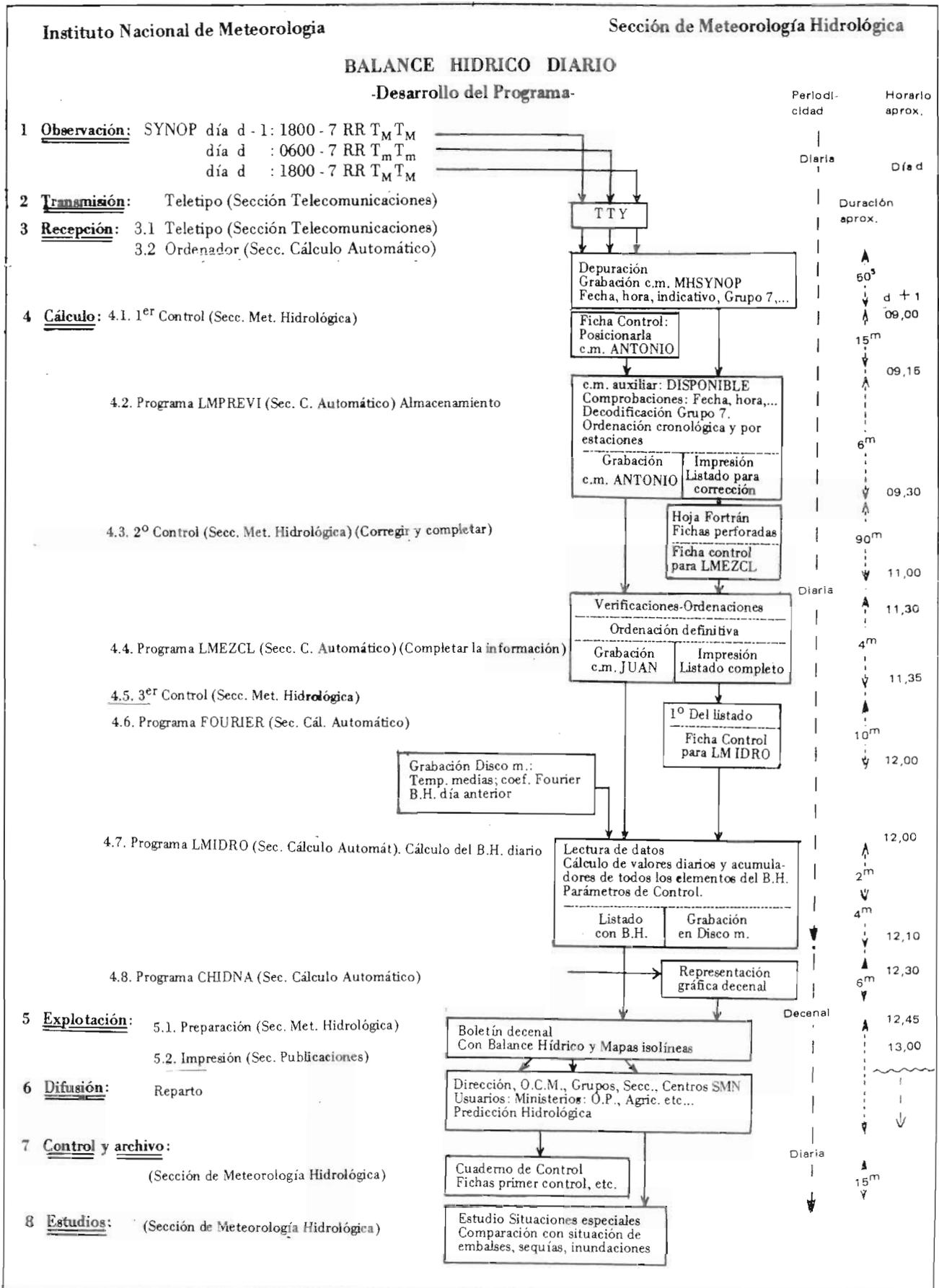
5. Productos obtenidos cada día.

- E: Evapotranspiración potencial diaria.
- E_N : Evapotranspiración potencial diaria "normal".
- P: Precipitación diaria.
- P_N : Precipitación diaria "normalizada".
- P-E: Balance diario.
- $P_N - E_N$: Balance diario "normalizado".
- R: Reserva actual de agua en el suelo.
- R_N : Reserva "normal" de agua en el suelo.
- R- R_N : Comparación actual de la reserva.
- Q: Escorrentía = P-E, si $R \geq 100$ mm. y $P > E$.
- Q_N : Escorrentía acumulada "normal".
- Q- Q_N : Índice del efecto de P, en suelos saturados.
- D: "Déficit" de agua en el suelo, si $R = 0$ y $P > E$.
- D_N : "Déficit" de agua en el suelo "normal".
- D- D_N : Índice de sequía.

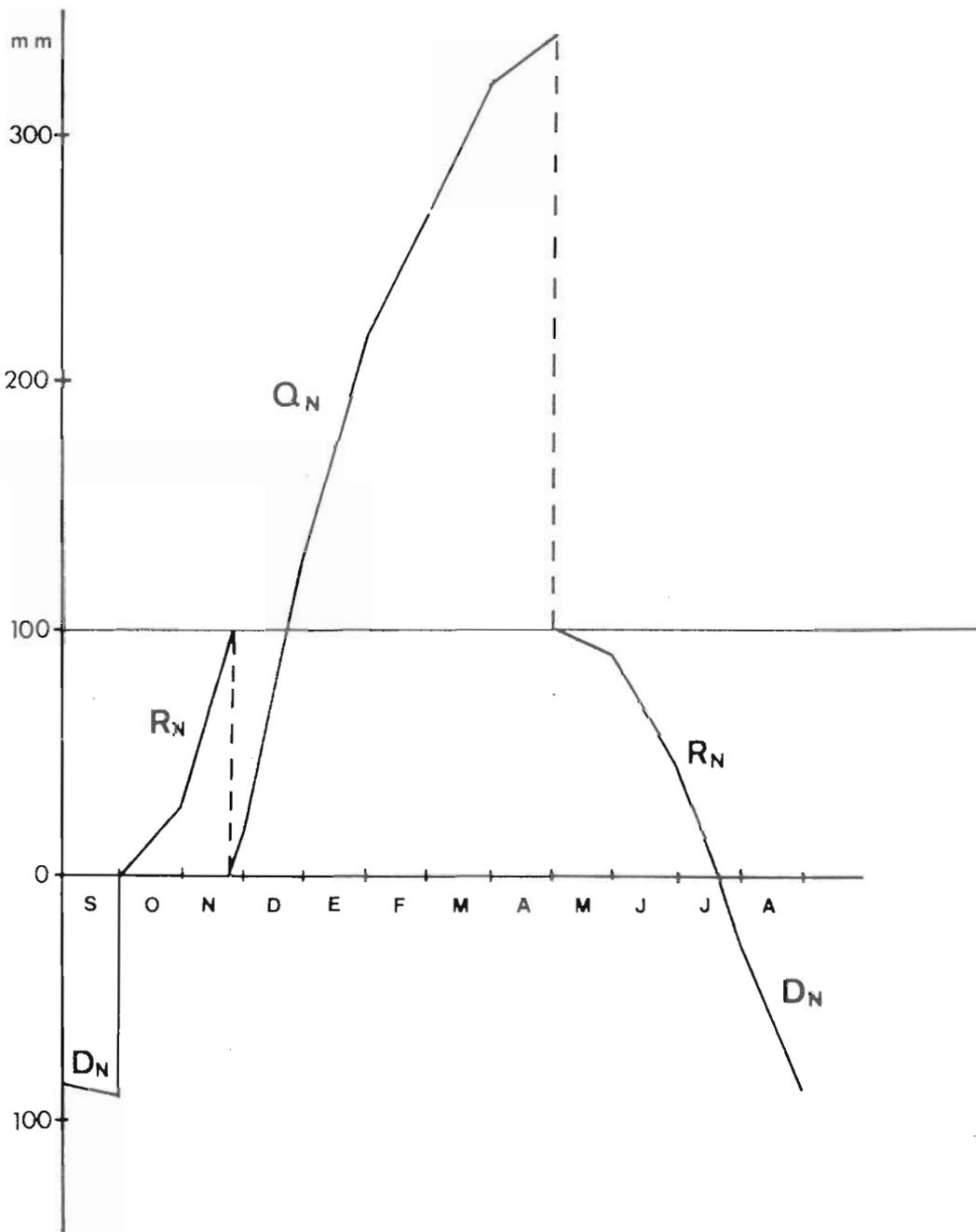
Decenalmente, se obtiene:

- P_A : Precipitación acumulada desde el comienzo del año hidrológico.
- P_{NA} : Precipitación "normal" desde el comienzo del año hidrológico.
- E_A : Evapotranspiración acumulada día a día.
- E_{NA} : Evapotranspiración "normal" día a día.

CUADRO V



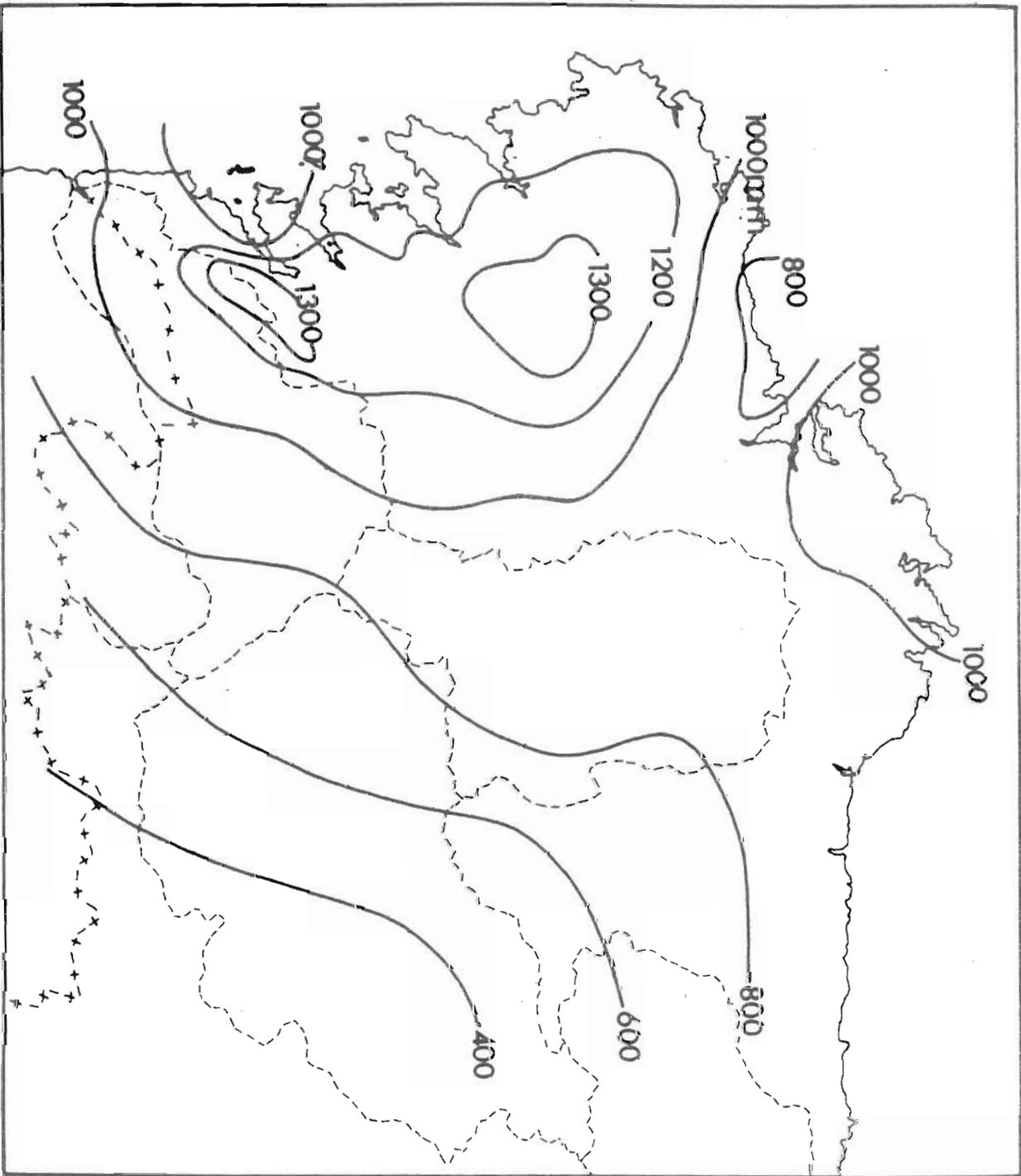
ANEXO 3



LA CORUÑA 08001

Balance Hidrico Normal (1931-1970)

Fig.11

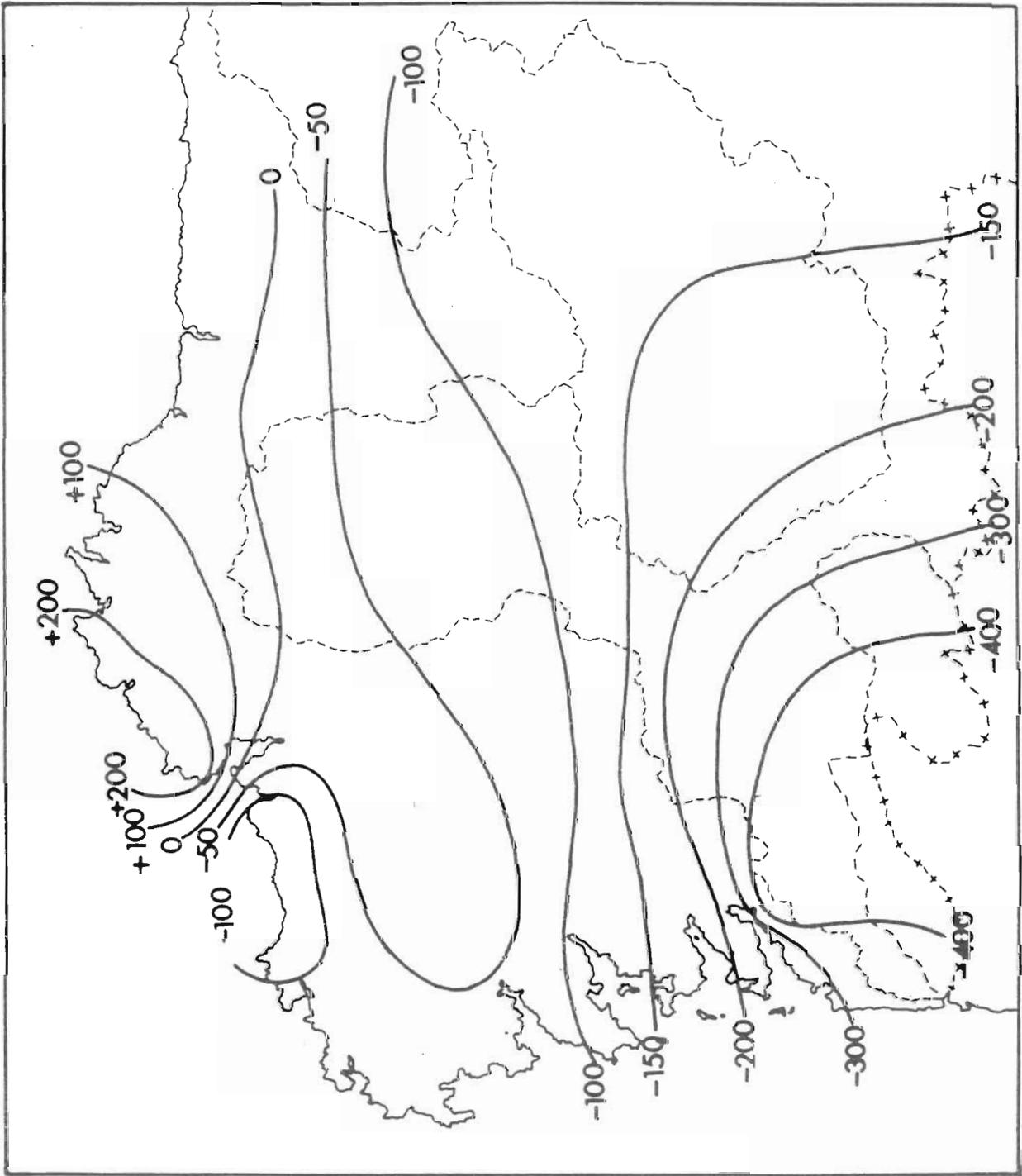


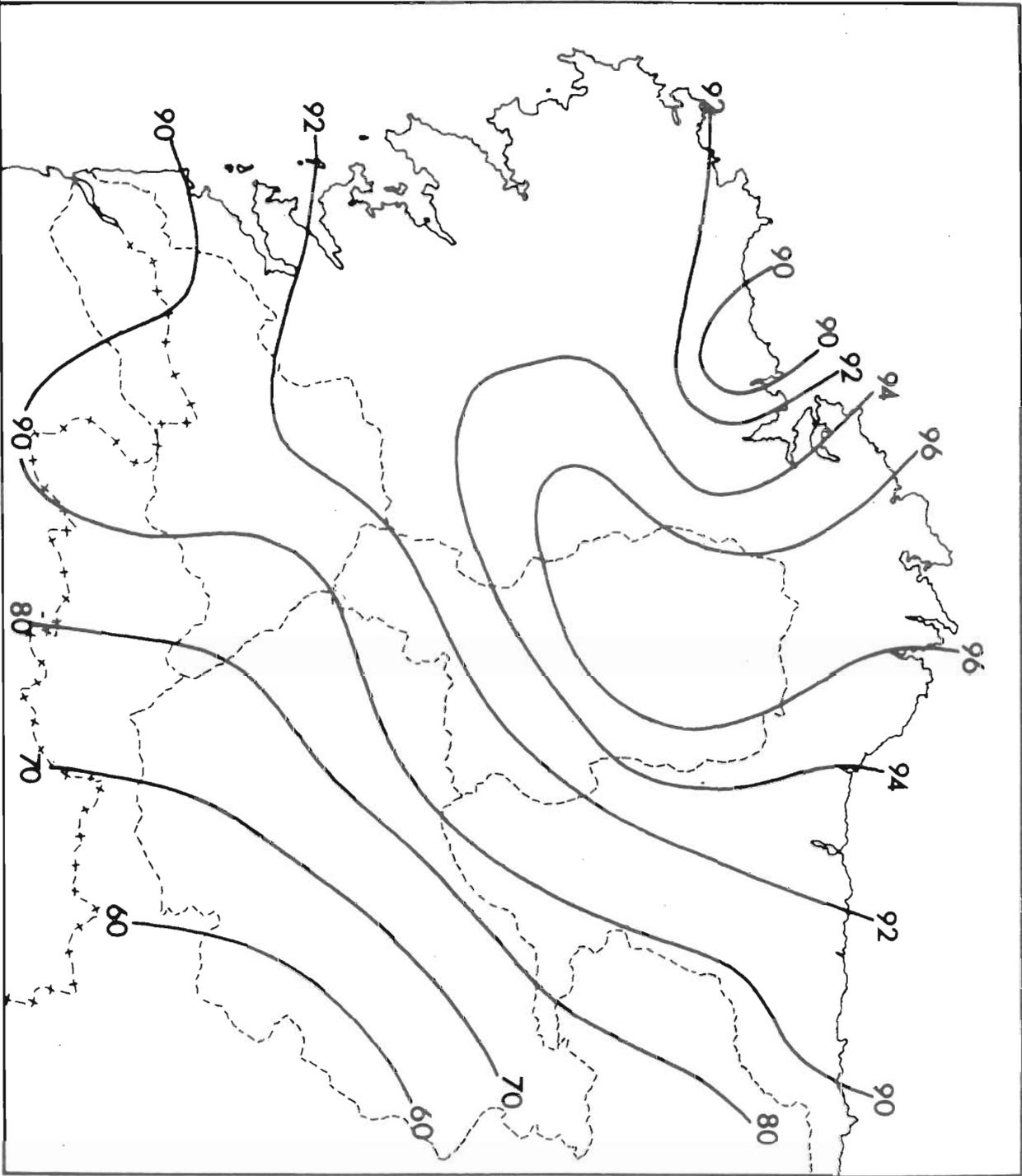
- PA -
PRECIPITACION
ACUMULADA
DESDE 01-09-80
HASTA 31-05-81
(mm.)

Fig. 12

PA. - PNA.
DIFERENCIA
ENTRE LA
PA.
Y LA "NORMAL"
PNA.
ACUMULADA
DESDE 01-09-80
HASTA 31-05-81
(mm.)

Fig. 13





R.A.

RESERVA ACTUAL
DE HUMEDAD EN

EL SUELO.

31-05-81
(mm.)

Fig. 14

ETPA-ETPNA

DIFERENCIA
 ENTRE LA "EVA-
 POTRANSPIRACION
 POTENCIAL ACU-
 MULADA" Y LA
 "NORMAL" CORRES-
 PONDIENTE DESDE

01-09-80

HASTA

31-05-81
(mm.)

Fig.15

