

**CONTRIBUCIONES  
DEL CENTRO NACIONAL PATAGONICO  
EN LAS PRIMERAS JORNADAS NACIONALES  
DE ENERGIA EOLICA**

por

**Vicente R. BARROS  
María M. RIVERO  
Juan A. RODRIGUEZ SERO  
Juan C. LABRAGA**

**SUBSECRETARIA DE ESTADO DE CIENCIA Y TECNICA  
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS  
CENTRO NACIONAL PATAGONICO**

**1981  
28 de Julio 28 - 9120 - PUERTO MADRYN  
CHUBUT - ARGENTINA**

INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	II
Evaluación de la Energía Eólica en Puerto Pirámides: Mediciones y Comentarios. Vicente R. Barros y Juan C. Labraga.	1
Estudio sobre la Persistencia de la Intensidad del viento en Puerto Pirámides. María M. Rivero.	42
Fundamentos metodológicos para una estimación rápida de la intensidad media del viento y su variación anual. Juan A. Rodríguez Seró y Vicente R. Barros.	57

## INTRODUCCION

La importancia creciente que ha ido adquiriendo el viento como fuente de producción de energía ha sido vislumbrada por el Centro Nacional Patagónico (C.N.P.) ya desde el año 1976. Por ello y debido a un primer informe (Barros, V., 1976), se inició un plan de trabajo tendiente a lograr una evaluación del potencial eoloenergético de la Patagonia. En él se señalaba la necesidad de proceder a la puesta en marcha de un plan estructurado de medición, ya que, de acuerdo con las características de los datos existentes, éstos resultaban tanto inadecuados como insuficientes para las finalidades propuestas. El objetivo del proyecto, que se mantiene inalterado, es pues, obtener y elaborar la información básica sobre el viento en las provincias de Chubut y Santa Cruz, para su utilización en el diseño, instalación y operación de máquinas convertoras de energía eólica.

Desde 1977 se mantiene un convenio de colaboración con la Dirección de Energía de Chubut a la que se le han presentado informes periódicos sobre la marcha del proyecto.

A fines de 1978, la Secretaría de Ciencia y Tecnología, a través del Programa de Energía No Convencional, otorgó subsidios que permitieron una actividad mas sostenida.

Actualmente, este proyecto forma parte del Programa de Centro Regionales del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas / (CONICET) y cuenta con financiación del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Los trabajos aquí presentados fueron expuestos en las Primeras Jornadas Nacionales sobre Energía Eólica, realizadas en Noviembre de 1980, en la ciudad de Trelew y organizadas por la Provincia de Chubut.

Se omite en esta publicación el Anexo del primer trabajo, consistente en 55 gráficos correspondientes a ciertas estadísticas mensuales.-

EVALUACION DE LA ENERGIA EOLICA EN PUERTO PIRAMIDES;

MEDICIONES Y COMENTARIOS.

\* Vicente R. BARROS

\* Juan C. LABRAGA

---

\* CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS  
CENTRO NACIONAL PATAGONICO  
PROGRAMA: FISICA AMBIENTAL

## R E S U M E N

Se presentan y analizan las estadísticas elaboradas con datos de intensidad y dirección media horaria del viento en Puerto Pirámides. Estos datos corresponden al año 1979 y a las primaveras de los años 1976 y 1978. Se muestran: marchas diurnas de los promedios de la velocidad y de su tercera potencia, distribuciones de frecuencia de velocidades y direcciones, curvas de duración porcentual y marchas anuales de velocidades y potencias. La pequeña variabilidad interanual del viento en la primavera, sugiere la posibilidad de utilizar la información del año 1979 como una guía para la evaluación del potencial eoloenergético; que en la localidad tiene características adecuadas para su utilización.-

## A B S T R A C T

Statistics computed with hourly average intensity and direction wind data at Puerto Pirámides, are presented and analyzed. This data are from year 1979 and the springs of the years 1976 and 1978. Shown here are: diurnal variations of the velocity and its third power averages, velocity and direction frequency distributions, annual velocity and power variations and their duration curves. The small interannual variability in the spring time, suggests the possibility of using the information from the year 1979, as guidance for evaluating the wind energy conversion potential, which in this place has adequate characteristics for its utilization.-

\* \* \*

## 1.- INTRODUCCION

El Centro Nacional Patagónico ha venido realizando un estudio del potencial eoloenergético en la provincia del Chubut, inicialmente con el apoyo financiero del Programa de Energía no Convencional de la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (SECYT) y posteriormente en el marco del Programa BID-CONICET (Banco Interamericano de Desarrollo-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) de Desarrollo de Centros Regionales.-

El intercambio de ideas y opiniones con la Dirección de Energía de la provincia del Chubut y la Dirección de Microcentrales Hidráulicas de Agua y Energía, permitió visualizar a Puerto Pirámides como una localidad de particular interés para el aprovechamiento de la energía eólica, ya desde el año 1976. A partir de esa fecha se iniciaron mediciones en la mencionada localidad. Es así como, a requerimiento de ambos organismos, se presenta este informe a los efectos de permitir la prefiguración y dimensionamiento de un equipo conversor de energía eólica adecuado a la localidad.-

La estación anemográfica se encuentra ubicada sobre el camino a la Reserva Faunística de Puerto Pirámides, a 3 Km. al S.O. del puerto del mismo nombre y a 100 metros sobre el nivel del mar. Está dotada de un anemógrafo SIAP AG 11, ubicado a una altura de 10 m. sobre el terreno.-

Se trata de un instrumento compuesto por una anemómetro a copelas tipo Robinson, con veleta y sistemas de transmisión y registro mecánicos. El diseño presupone una autonomía de un mes, pero las rigurosas condiciones climáticas de la zona exigen, en la práctica, una asidua tarea de control y mantenimiento, que es realizada por personal técnico especializado del Centro Nacional Patagónico (CNP).- Esta tarea hace posible la detección de errores significativos en la medición y el proceso de depuración. A consecuencia de esta selección de datos, sólo se ha podido disponer de un año prácticamente completo (1979), con excepción del mes de Septiembre, que ha representado 6.510 datos de promedios horarios. Se contó además con datos de las primaveras de los años 1976, 1978 y 1979.-

La información, registrada en fajas de papel especial, fue luego// descodificada, almacenada en cintas magnéticas y procesada computacionalmente.-

## 2.- MARCHAS DIURNAS DE LOS VALORES MEDIOS DE LA VELOCIDAD Y DE LA TERCERA POTENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.

Con los valores medios horarios de la intensidad del viento, registrados en Puerto Pirámides durante el período estudiado, fue calculada la marcha diurna de los promedios anuales de la velocidad y// de su tercera potencia. Esta última magnitud ha sido tomada en cuenta por ser proporcional a la potencia media del viento. Los promedios correspondientes a cada hora del día han sido calculados con un número de datos que varía entre un mínimo de 280 y un máximo de 290. En la Figura 1 se presentan ambas curvas. Puede apreciarse // que la amplitud máxima de la marcha diaria de la velocidad, no supera los 2,5 Km./h., siendo este valor relativamente pequeño frente a la magnitud de los valores medios diarios. Presenta además, un máximo característico a las 3 hs. de la madrugada, observado en varias estaciones anemográficas de la región costera del Chubut (Barros, V y Rivero; M.; 1975), y un mínimo igualmente característico a las 21 hs..-

La marcha diurna del promedio anual de la tercera potencia de la// velocidad presenta un máximo relativo a las 4 hs., coincidiendo// prácticamente con el de la velocidad. Poco antes del mediodía, mientras que la velocidad acusa una ligera disminución, el cubo de la// velocidad presenta un máximo absoluto, lo que implica un máximo en la variabilidad de la velocidad a esa hora del día, durante el transcurso del año. Por otra parte, a la hora de ocurrencia del mínimo// absoluto en el cubo de la velocidad (21 hs.), la intensidad del /// viento presenta una muy pequeña disminución. Esto significa que, a esa hora del día, serán poco frecuentes grandes fluctuaciones de la velocidad y de la potencia del viento.-

En las Figuras 2 a 5 inclusive, se muestran las marchas diarias de/

los promedios estacionales de esas mismas variables. El máximo de velocidad que tiene lugar a las 3 hs. de la mañana en el promedio anual, puede apreciarse claramente en todas las estaciones, salvo en invierno. La hora de ocurrencia del mínimo nocturno fluctúa mucho en los meses de primavera y verano, haciéndose entonces menos notable en estas estaciones que en el período otoño-invierno. Fuera de estos dos extremos significativos, la marcha diurna de la velocidad no parece seguir ningún patrón definido, en particular, no se observa claramente la ocurrencia del típico máximo a la hora de mayor calentamiento, como en otras regiones.

En lo que respecta a la marcha diurna de la tercera potencia de la velocidad, se observa que a cualquier hora del día es mayor en verano que en invierno. Entre las 2 y las 4 horas de la mañana, tiene lugar un máximo en todas las estaciones del año. Desde esa hora en adelante y hasta las 21 hs., en la que ocurre el mínimo absoluto en todas las estaciones, se observa una tendencia descendente, salvo en el otoño. En esa estación se aprecia, en cambio, un máximo / absoluto poco antes del mediodía.

Se han calculado también las marchas diarias de los promedios mensuales de ambas variables. Las correspondientes curvas mensuales / de estas y otras magnitudes que se discuten más adelante, están contenidas en los gráficos del Anexo.

### 3.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE VELOCIDADES DE VIENTO.

Por medio de histogramas se presentan, para diferentes períodos, las distribuciones de frecuencias de velocidades medias horarias a intervalos regulares de 4 Km/h.

En la Figura 6 se muestra la distribución correspondiente al período completo. La máxima frecuencia ocurre en el intervalo de 20 a 23 Km/h., pero permanece elevada aún hasta los 35 Km/h. Puede apreciarse que vientos menores que 8 Km/h., se dan menos del 5% del tiempo.

En las Figuras 7 a 10 inclusive, se presentan las distribuciones co

respondientes a cada una de las estaciones del año. En el verano/ los vientos más frecuentes se desplazan al intervalo de 28 a 35 // Km./h..-En el invierno se incrementa la frecuencia en el rango de/ velocidades de 20 a 35 Km./h..

En las distribuciones de frecuencias correspondientes a cada uno// de los meses del año (Ver Apéndice), se aprecia que en los meses// de verano existen dos picos de frecuencia, uno en el intervalo de/ 11 a 15 Km./h. y otro en el intervalo de 28 a 31 Km./h.. El prime- ro de ellos podría ser atribuido al fenómeno de brisa de mar.-

#### 4.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE DIRECCIONES DE VIENTO.

La distribución anual de frecuencias de direcciones de viento, gra- ficada en la Figura 11, nos muestra que las direcciones mas frecuen- tes corresponden a los sectores Norte y Nor-Noroeste, con valores// del 18 y 16% respectivamente. Es también importante la contribución del sector Sud-Sudoeste.-

En todas las estaciones del año, salvo verano, el máximo principal/ se ubica en el sector Nor-Noroeste. En esta última estación, se des- plaza al Norte aumentando su frecuencia al 28%. Ver Figura 12.-

En primavera y otoño se aprecia claramente el máximo secundario del sector Sud-Sudoeste, pero en verano aparece desplazado hacia el /// Sud-Sudeste. Esto puede atribuirse a la incidencia del fenómeno de/ brisa de mar. En verano esta circulación tiene una mayor duración// durante el día, permitiendo así una rotación del viento de mar, por/ efecto de la fuerza de Coriolis, hasta alinearse con la costa deján- dola a ésta a su derecha en el Hemisferio Sur.-

Cabe destacar aquí que en todas las estaciones del año se observa// una alta frecuencia de vientos del Norte y una relativamente baja// frecuencia de vientos del Oeste. Esto contradice la creencia genera- lizada de que los vientos dominantes en toda la Patagonia son los// del Oeste. Sin descartar que ello pueda ser así en buena parte de// la región, estas observaciones muestran que pueden existir signifi- cativas excepciones. En el caso de Puerto Pirámides se estima que//

la particular distribución de mar y tierra que configuran los Gol-  
fos Nuevo y San José y la Península Valdés, interactúa con la cir-  
culación atmosférica, incidiendo localmente en la distribución de  
frecuencias de direcciones de viento.-

#### 5.- POTENCIA MEDIA EN FUNCION DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO.

La potencia media anual total (es decir, la correspondiente a todo  
el espectro de velocidades) es de 412.1 Watts/m<sup>2</sup>, variando entre//  
un máximo de 461,2 Watts/m<sup>2</sup> en verano y un mínimo de 340,2 Watts/m<sup>2</sup>  
en invierno. En particular, el mes de Marzo registra una potencia/  
total de 560,2 Watts/m<sup>2</sup>, contra un valor de 239,2 Watts/m<sup>2</sup> en Agos-  
to.-

En la Figura 13 se muestra la distribución media de la potencia a inter-  
valos regulares de la velocidad para todo el período estudiado.-

Puede verse que la mayor parte de la potencia se obtiene del inter-  
valo de velocidades de 27 a 47 Km./h..-

En invierno gran parte de la potencia procede de las bajas veloci-  
dades, con un máximo localizado en el intervalo de 28 a 31 Km./h.,  
(Figura 17). En tanto que en verano procede de velocidades más al-  
tas, con un máximo ubicado entre 40 y 43 Km./h. (Figura 15).-

#### 6.- DURACION PORCENTUAL DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO.

##### 6.1. Curvas de duración de la velocidad media.

En estos gráficos, Figuras 18 a 22 inclusive, se indica en la/  
abscisa el porcentaje de tiempo del período considerado en que/  
la velocidad se mantiene por encima del valor indicado en la//  
correspondiente ordenada. Así, en la Figura 18, perteneciente/  
al período completo, se aprecia que el 50% del año la veloci-/  
dad ha sido mayor ó igual que 24 Km./h..-

Estas curvas de duración tienen una forma característica que,/  
prácticamente, se mantiene invariante a través de las estacio-

nes y los meses del año.-

## 6.2. Variación anual.

A fin de facilitar la visualización de lo señalado en el último párrafo, en la Figura 23 se muestra cómo varía a lo largo del año la duración porcentual de velocidades superiores a // 10, 20 y 30 Km./h.. Aún cuando las fluctuaciones son muy pequeñas, pueden apreciarse mayores duraciones en los meses de Marzo, Julio y Octubre en las tres cotas de velocidad.-

## 7.- CURVAS DE DURACION DE LA POTENCIA.

En las Figuras 24 a 28 inclusive, se muestran las curvas de duración de la potencia media, para el período anual y para cada una // de las estaciones. Los gráficos indican el porcentaje de tiempo // (abcisa) del período correspondiente, en que la potencia se mantiene por encima de un dado valor (ordenada) Como ejemplo, vemos en la Figura 24 que, el 50% del tiempo (año 1979) la potencia ha sido mayor que 226,0 Watts/m<sup>2</sup>..-

## 8.- MARCHAS ANUALES DE LA POTENCIA Y VELOCIDAD MEDIA MENSUAL DEL VIENTO.

En la Figura 29 se muestra en línea de trazos la marcha anual de la velocidad media mensual. Se aprecian los máximos relativos de los // meses de Marzo, Julio y Octubre, con valores de 27,6; 26,9 y 27,8 / Km./h. respectivamente, y el mínimo absoluto del mes de Agosto con un valor de 22,0 Km./h.. Se ha calculado que la velocidad media anual es de 25,6 Km./h.. Puede verse entonces, que la velocidad media mensual experimenta una muy pequeña variación a lo largo del // año.-

En el mismo gráfico se presenta, en línea continua, la marcha anual de la potencia media mensual total (es decir, integrada sobre todo // el espectro de velocidades). Puede verse que, salvo en el mes de Ma

yo, la potencia acompaña notablemente la marcha de la velocidad.- Esto sugiere que, al menos en la región, la velocidad media mensual podría ser utilizada como un buen estimador de la potencia.-

## 9.- ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PRIMAVERAS DE LOS AÑOS 1976, 1978 y 1979.

### 9.1. Marcha diurna de la velocidad del viento.

Comparando las marchas diarias de la velocidad del viento en las tres primaveras citadas, puede observarse (Figura 30) que entre las 3 y las 5 horas, según el año, tiene lugar un máximo de la velocidad. Por otra parte, entre las 13 y las 14 hs. tiene lugar un mínimo absoluto, seguido de un pico secundario de velocidad aproximadamente a las 15 horas.-

El máximo apartamiento registrado entre las curvas es de 4 // Km./h.. Aún cuando no se cuenta con registros suficientemente prolongados como para trazar una climatología del viento en Puerto Pirámides, puede decirse que ciertos rasgos que configuran una curva característica de primavera, se repiten con // muy pequeñas diferencias a lo largo de tres años. De acuerdo a los estudios de viento efectuados en la región de Puerto Madryn (Rivero, M; 1980), los valores medios mensuales de primavera y verano presentan una variación interanual tal, que permite su evaluación con un alto grado de significación estadística a partir de 3 a 5 años de datos.-

Para el caso que nos ocupa se ve que el valor medio de primavera, durante los tres años en que se dispuso de información, ha fluctuado entre 24,2 y 25,8 Km./h.. Esto sugiere que la variación interanual es muy pequeña, pudiéndose por lo tanto utilizar la información del año 1979 como una aceptable guía para la evaluación del recurso eolo-energético, ante la carencia de series completas de varios años.-

### 9.2. Distribución de frecuencias de direcciones de viento.

Se aprecia la coincidencia de los máximos relativos del S.E. y

y S.W. , como así también, máximos absolutos en los sectores/ N. y N.N.W., que como hemos visto, persisten a lo largo de/// todo el año (Figura 31).-

### 9.3. Distribución de frecuencias de velocidades de viento.

En la Figura 32 se presentan los histogramas correspondientes a las distribuciones de frecuencia de velocidades, para las// tres primaveras estudiadas. En todas ellas, las velocidades// mas frecuentes están comprendidas en el intervalo de 20 a 23// Km./h.. No se aprecian, en general, variaciones interanuales// significativas.-

## 10.- CONCLUSIONES

La velocidad media observada durante el año 1979, de 25,6 Km./h.,// sumada a una variación interanual presumiblemente pequeña, hacen// de Puerto Pirámides una atractiva ubicación para equipos conversores de energía eólica. También es interesante señalar que el viento medio, a diferencia de otras localidades de la región, fluctúa// muy poco, tanto durante las horas del día como a través de los meses del año. Por otra parte, la potencia del viento sí experimenta variaciones significativas.-

Durante las horas de la madrugada y hasta la tarde permanece elevada, descendiendo hacia las horas de la noche en que es presumible// su mayor consumo. Esto último se vería compensado por una mayor estabilidad de la potencia a esas horas.-

Conviene señalar que durante todos los meses del año el viento se// mantuvo por encima de los 10 Km./h. por lo menos un 87% del tiempo y por encima de los 20 Km./h. por lo menos un 58% del tiempo.-

Asimismo, las mediciones han detectado un singular comportamiento// en la dirección más frecuente del viento, que en esta localidad es el Norte.-

11.- REFERENCIAS.

1. Barros, V. y Rivero, M.. Las calmas nocturnas durante la primavera de 1974 en Puerto Madryn. Centro Nacional Patagónico.- 1975.-
2. Rivero, M.- Análisis de varianza para la intensidad media del viento en Puerto Madryn. Centro Nacional Patagónico, 1980.-

\* \* \*

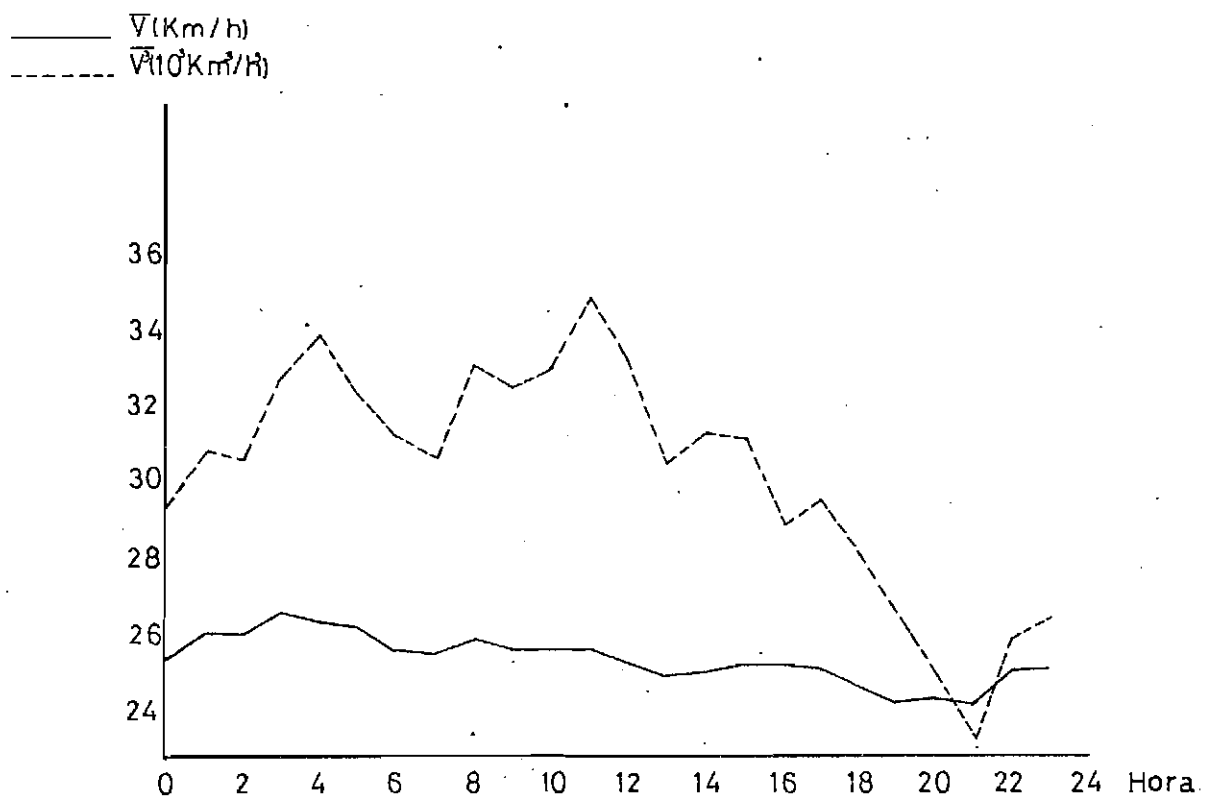


FIG. 1.- MARCHAS DIURNAS DE LOS PROMEDIOS ANUALES DE LA VELOCIDAD Y DE SU TERCERA POTENCIA - AÑO 1979.

—  $\bar{V}$  (Km/h)  
 - - -  $\bar{V}^3$  ( $10^3$  Km<sup>3</sup>/h)

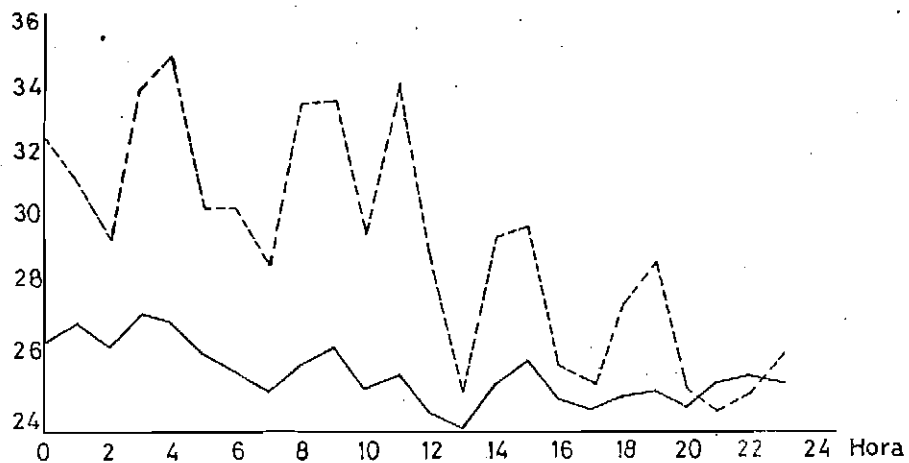


FIG. 2.- MARCHAS DIURNAS DE LOS PROMEDIOS ESTACIONALES DE LA VELOCIDAD Y DE SU TERCERA POTENCIA - PRIMAVERA.

—  $\bar{V}$  (Km/h)  
 - - -  $\bar{V}^3$  ( $10^3$  Km<sup>3</sup>/h)

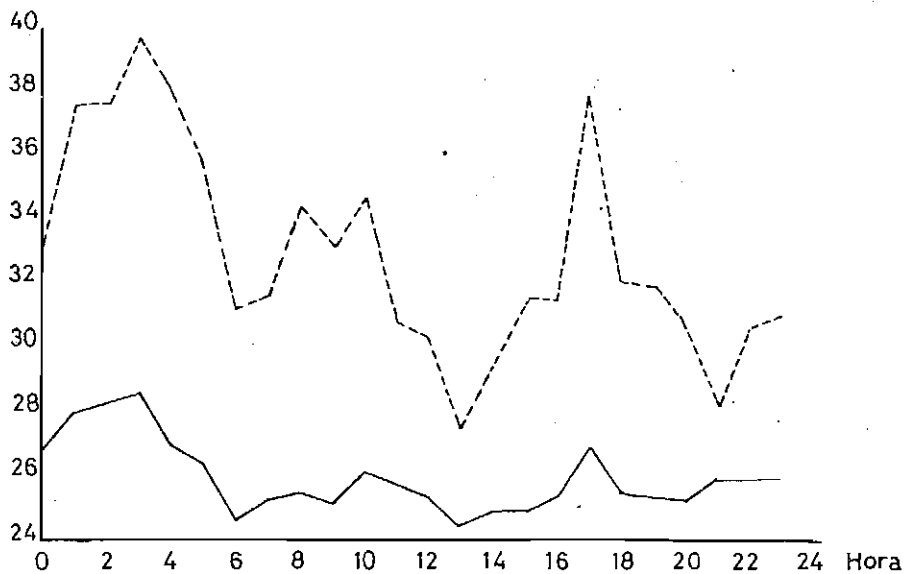


FIG. 3.- IDEM FIG. 2.- VERANO.

$\bar{V}$  (Km/h)  
 $\bar{V}$  ( $10^3$  Km<sup>3</sup>/h)

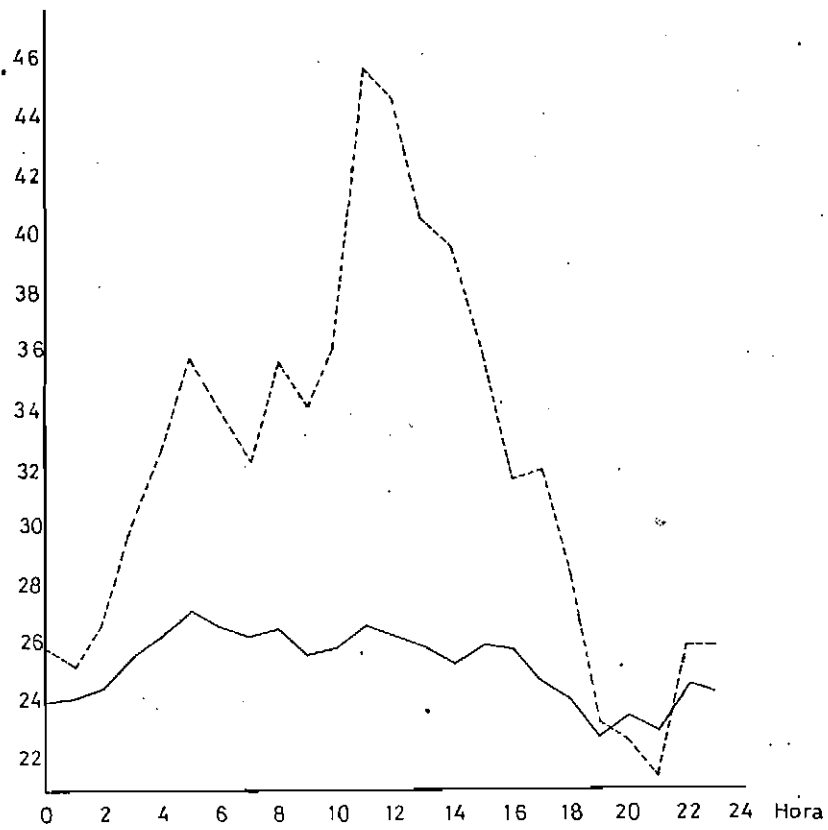


FIG. 4.- IDEM FIG. 2 - OTOÑO

$\bar{V}$  (Km/h)  
 $\bar{V}$  ( $10^3$  Km<sup>3</sup>/h)

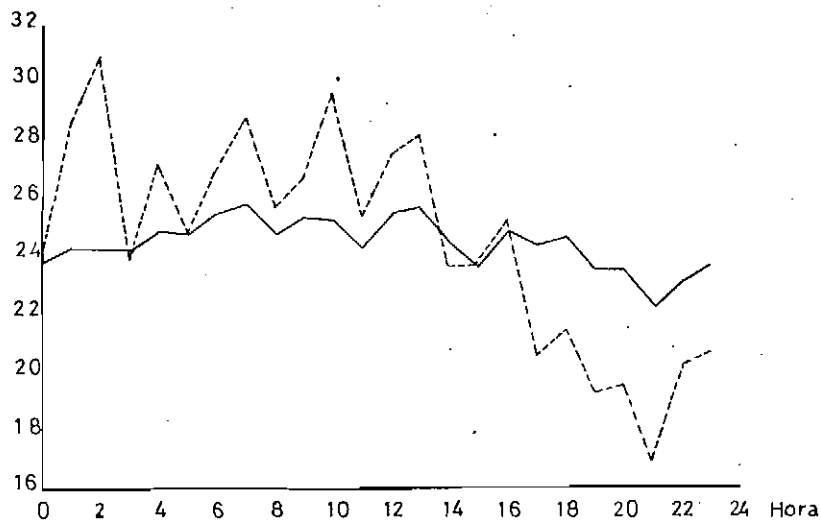


FIG. 5.- IDEM FIG. 2 - INVIERNO.

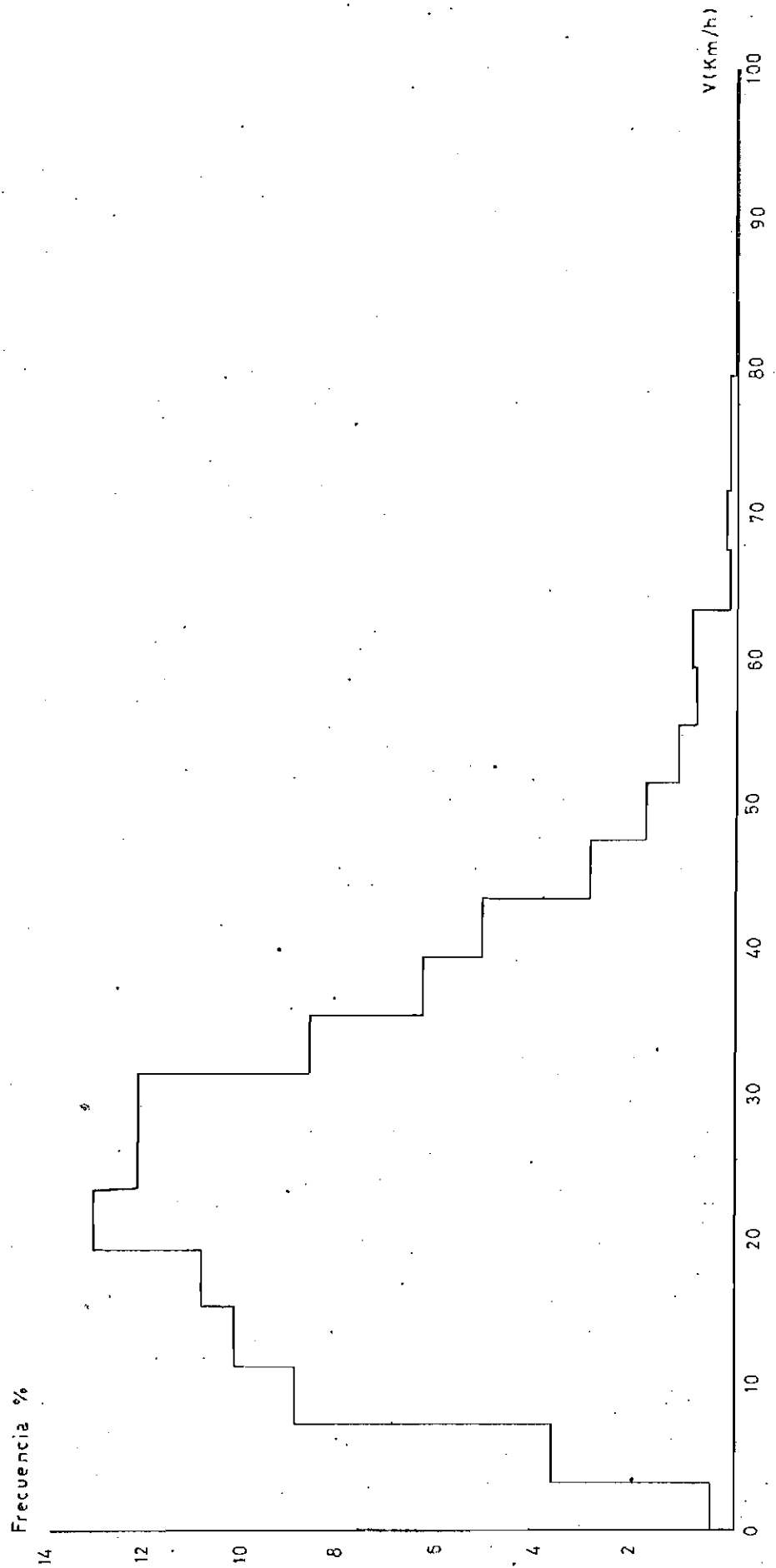


FIG. 6.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE VELOCIDADES - PERIODO: AÑO 1979.

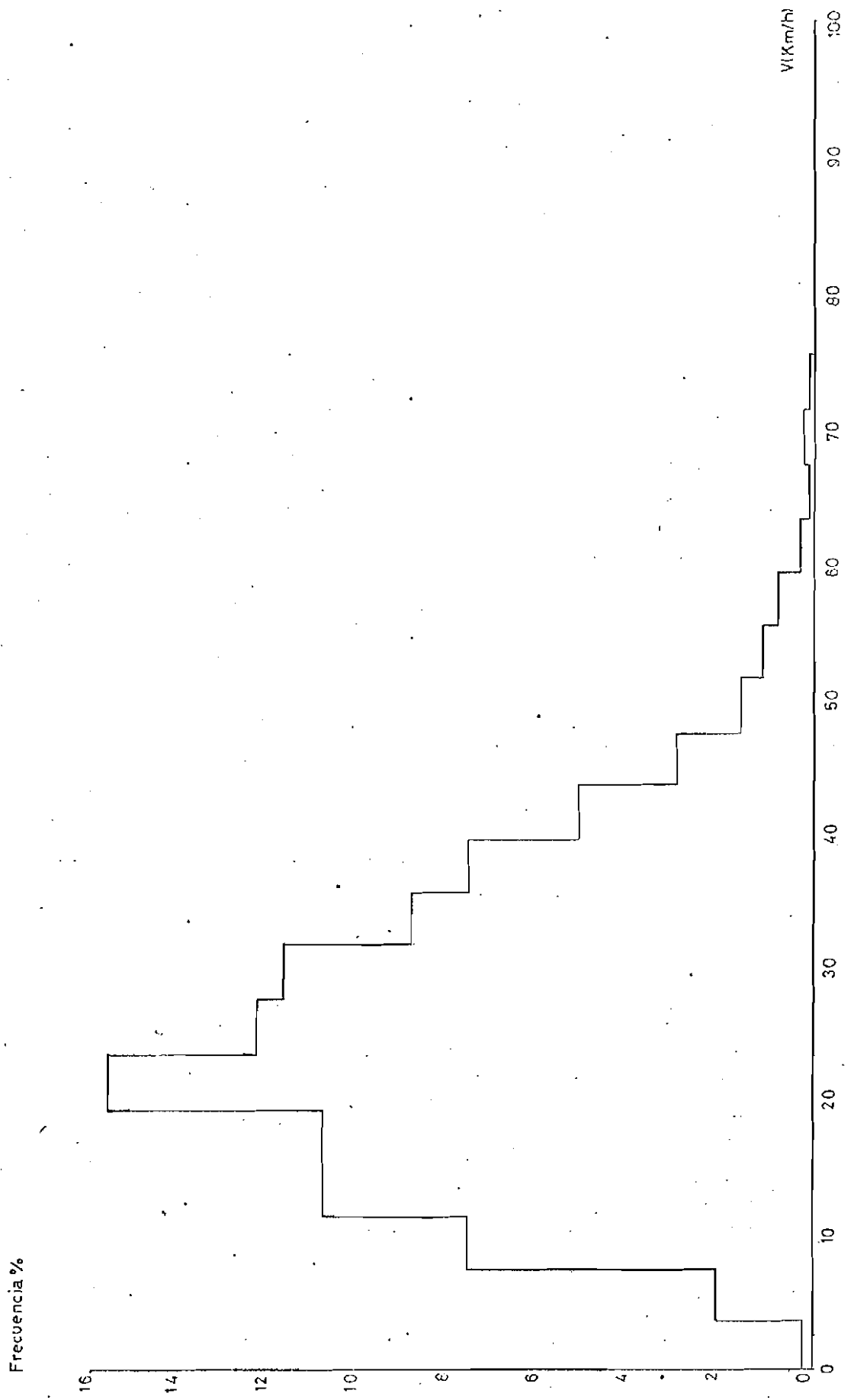


FIG. 7.- IDIEM FIG. 6 - PERIODO: PRIMAVERA-

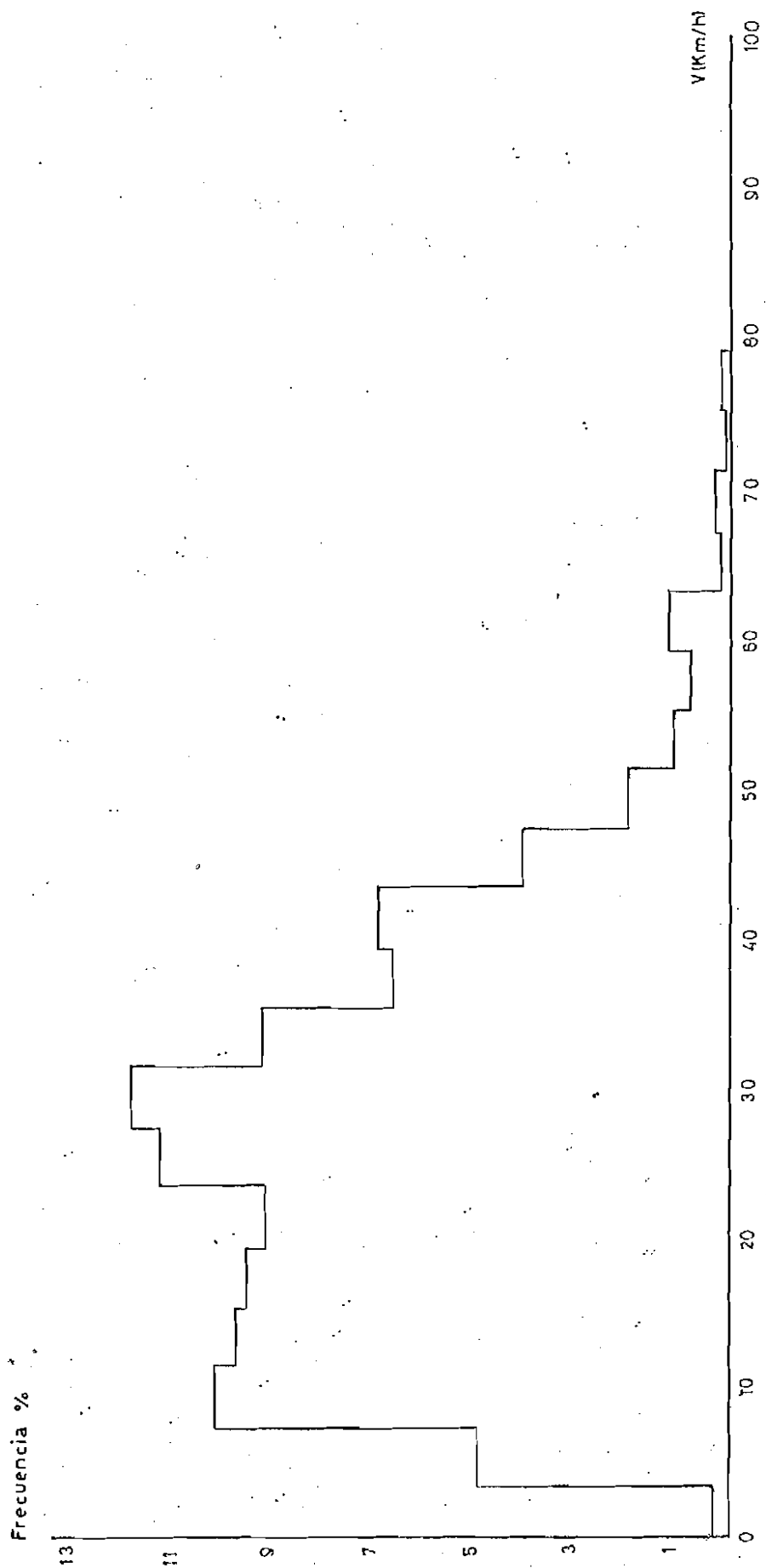


FIG. 8.- IDEM FIG. 6 - PERIODO: VERANO.

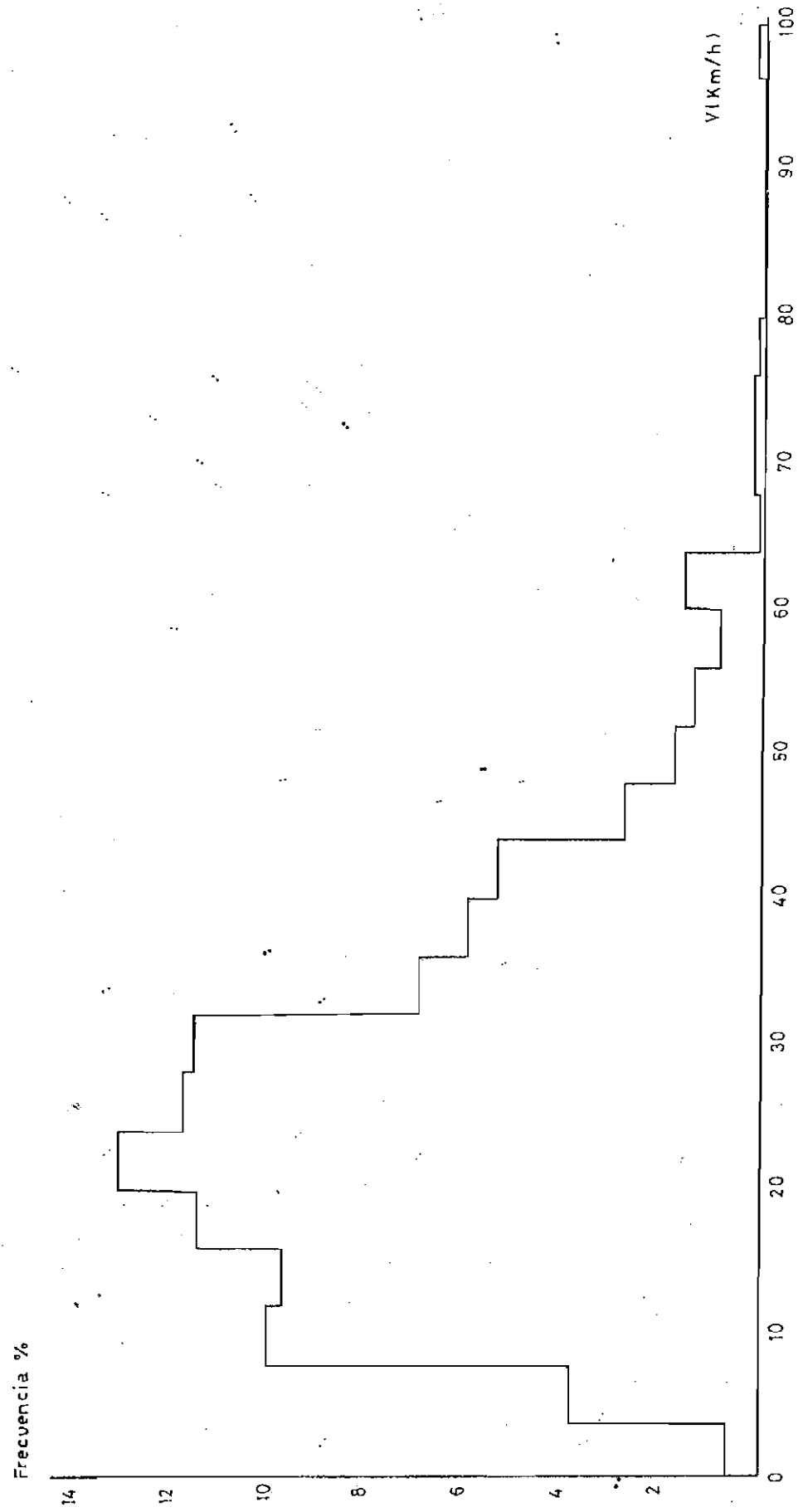


FIG. 9.- IDEM FIG. 6 - PERIODO: OTOÑO.

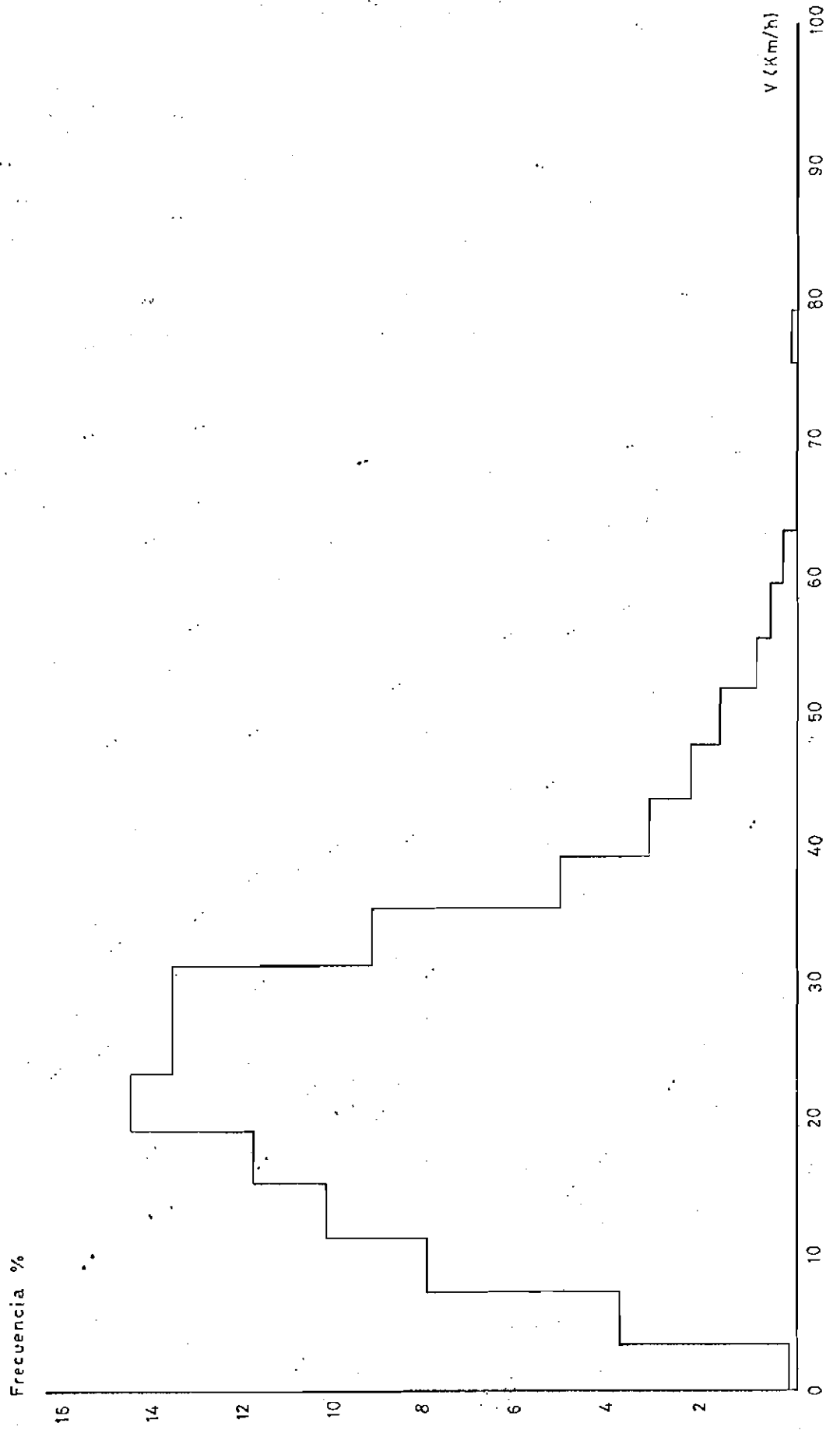


FIG. 10-- IDEM FIG. 6 - PERIODO: INVIERNO.

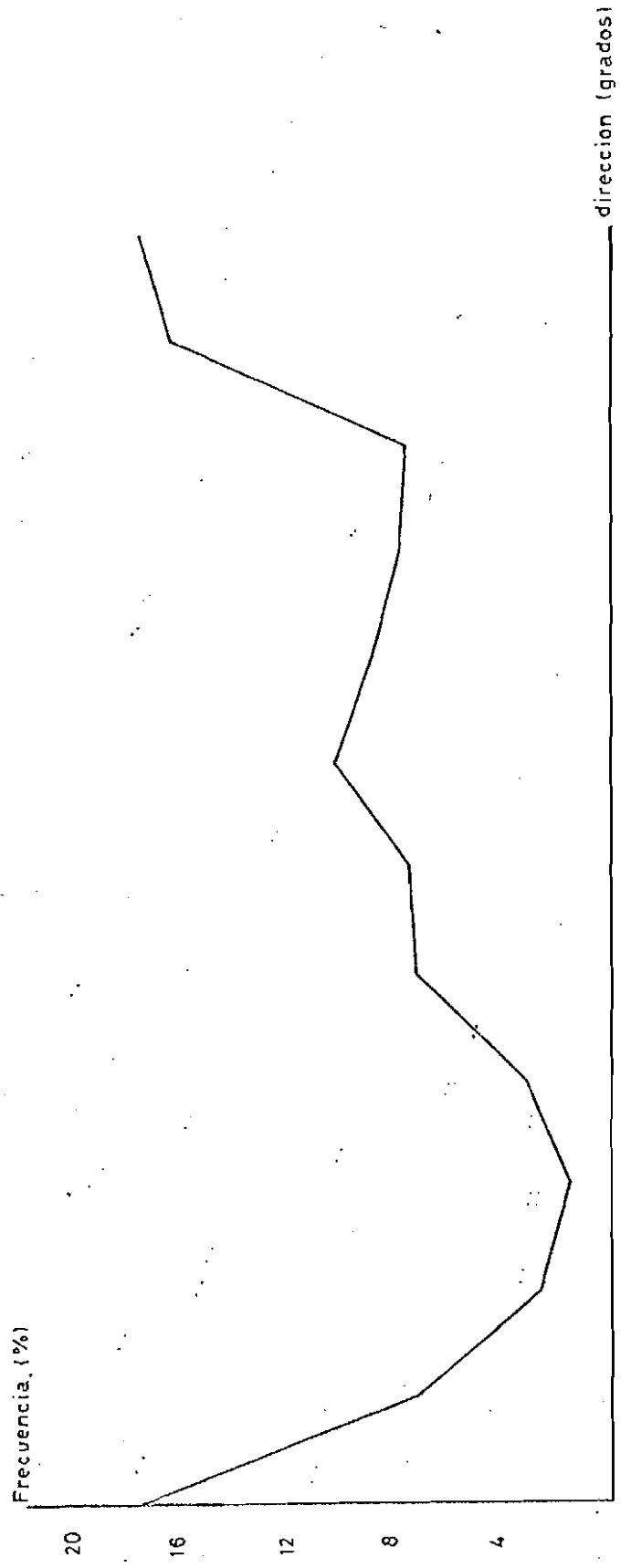


FIG. 11.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE DIRECCIONES DE VIENTO. - PERIODO: AÑO 1979.

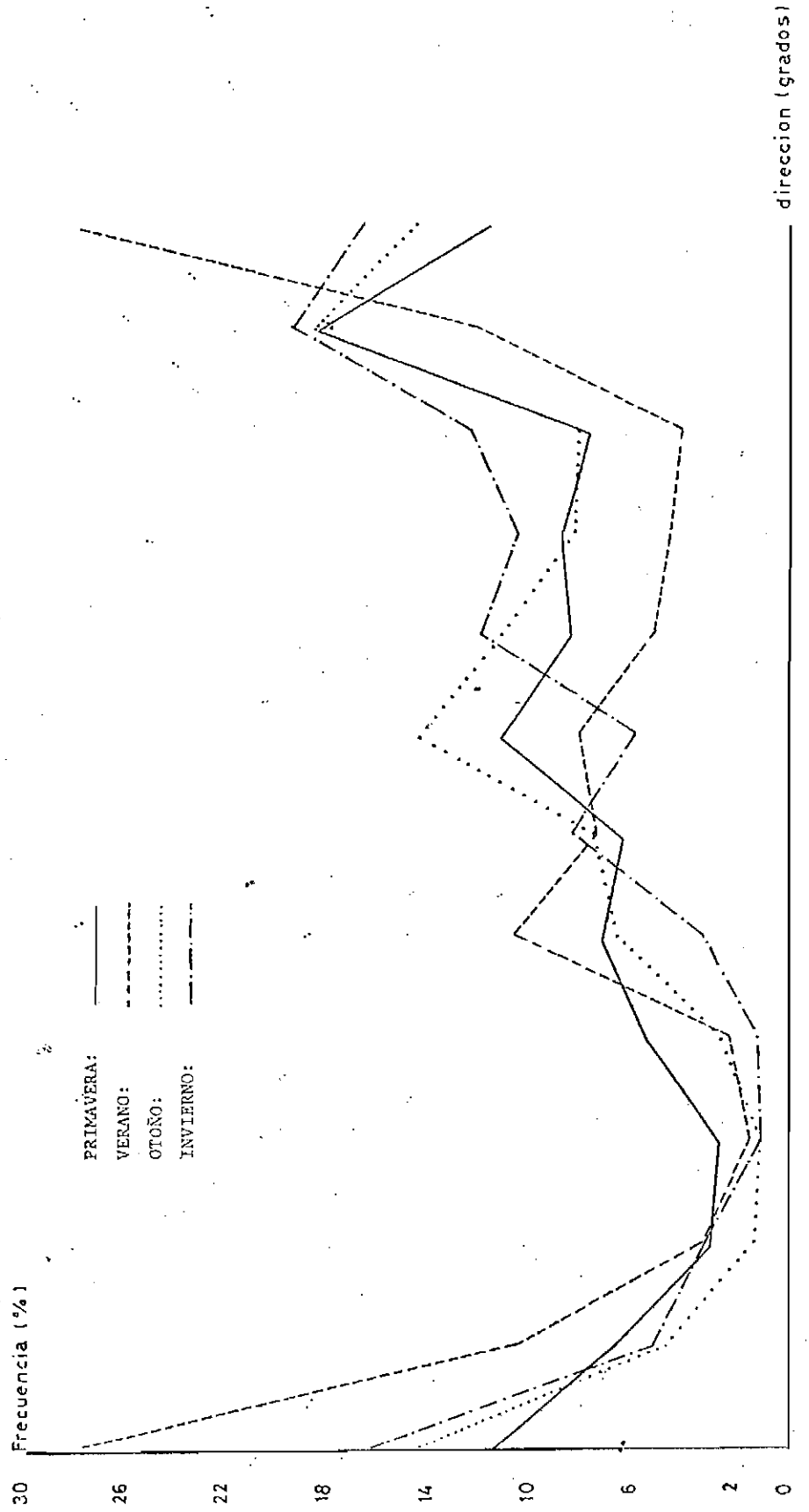


FIG. 12.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE DIRECCIONES DE VIENTO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES DEL AÑO.-

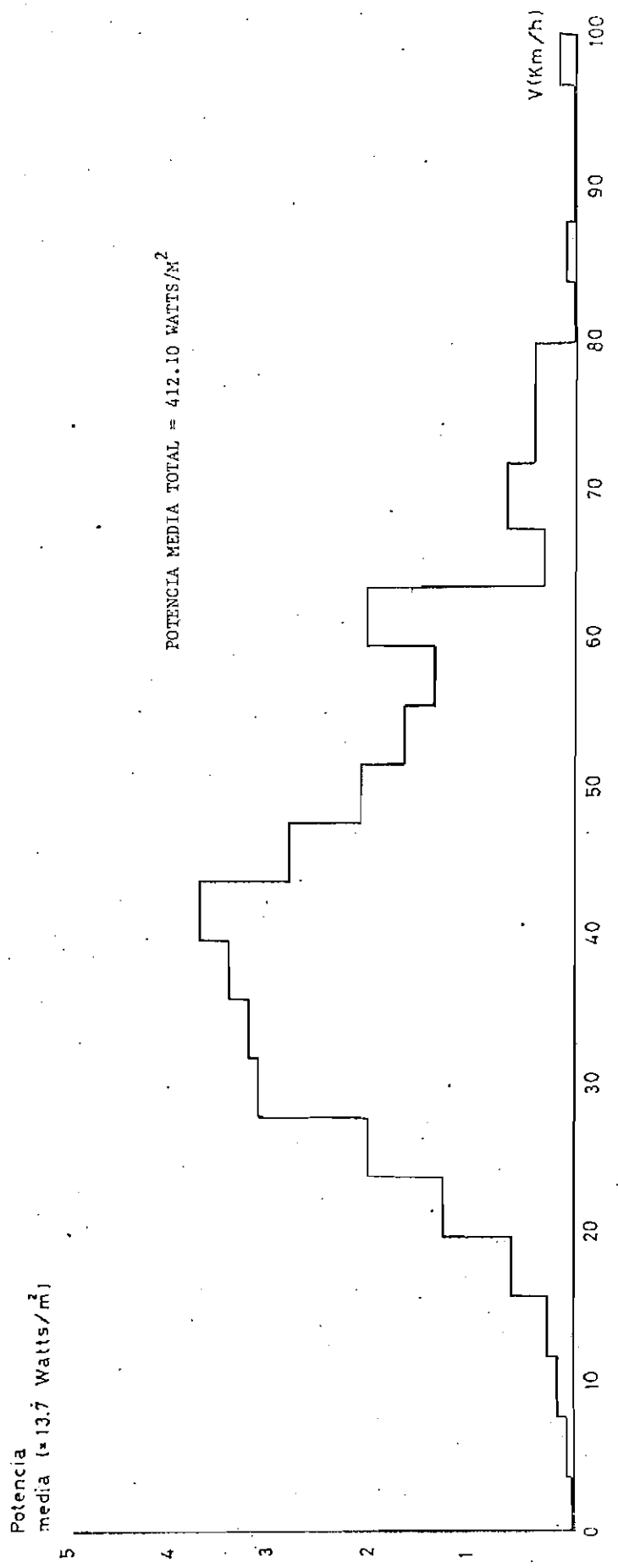


FIG. 13.- POTENCIA MEDIA EN FUNCION DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO - PERIODO: AÑO 1979.-

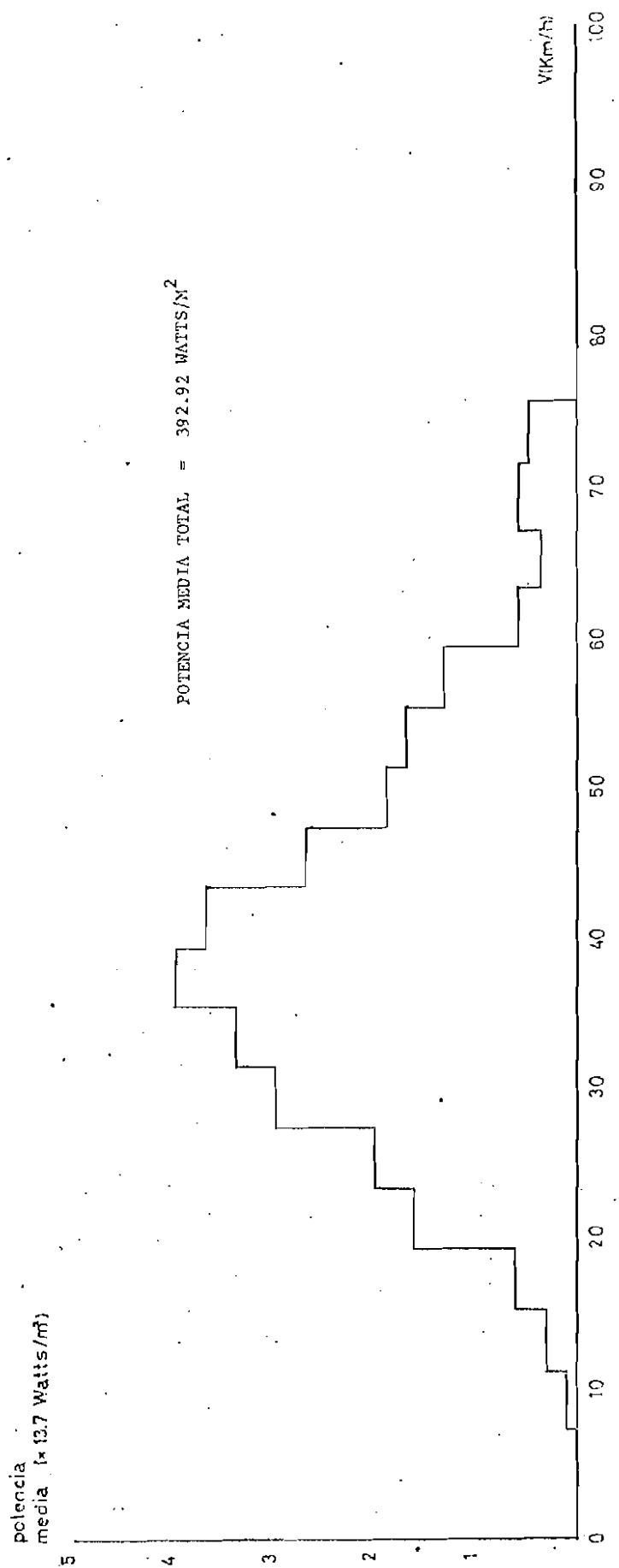


FIG. 14.- IDEM FIG. 13 - PERIODO: PRIMAVERA.

Potencia  
media (x13.7 Watts/m<sup>2</sup>)

POTENCIA MEDIA TOTAL= 461.83 WATTS/M<sup>2</sup>

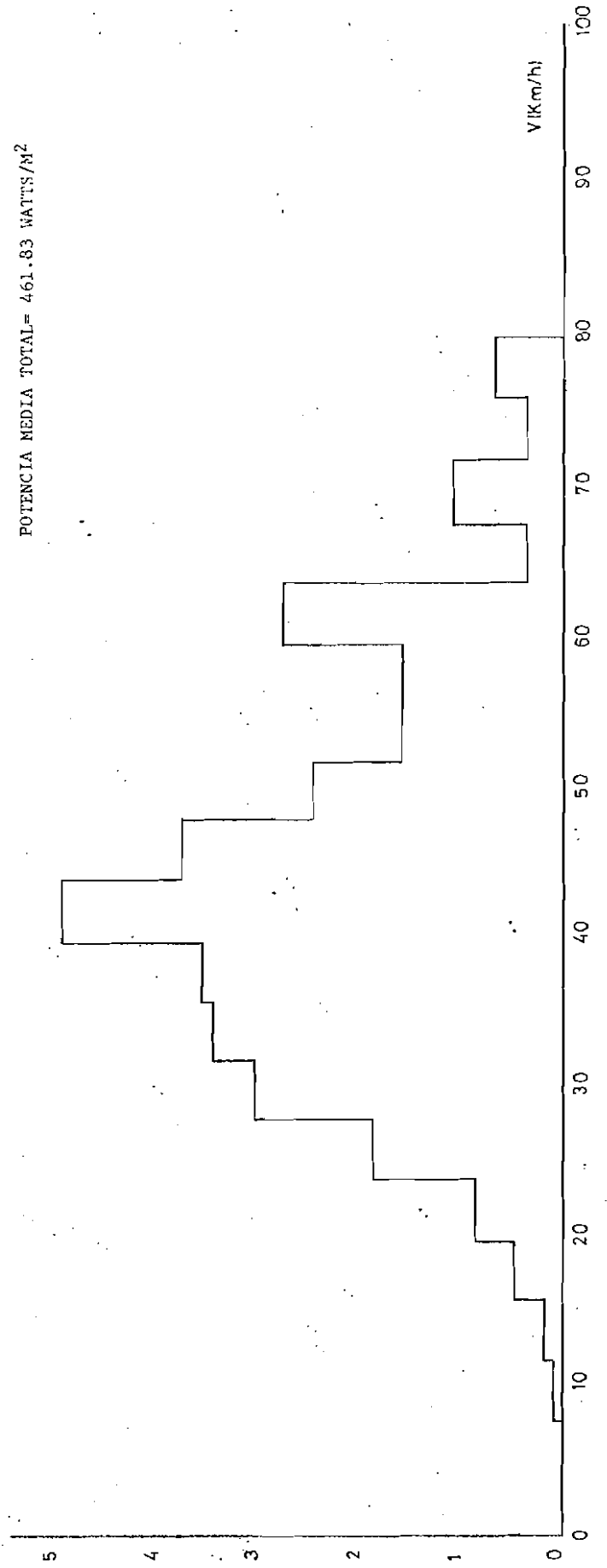


FIG. 15.- IDEN FIG. 13 - PERIODO: VERANO.

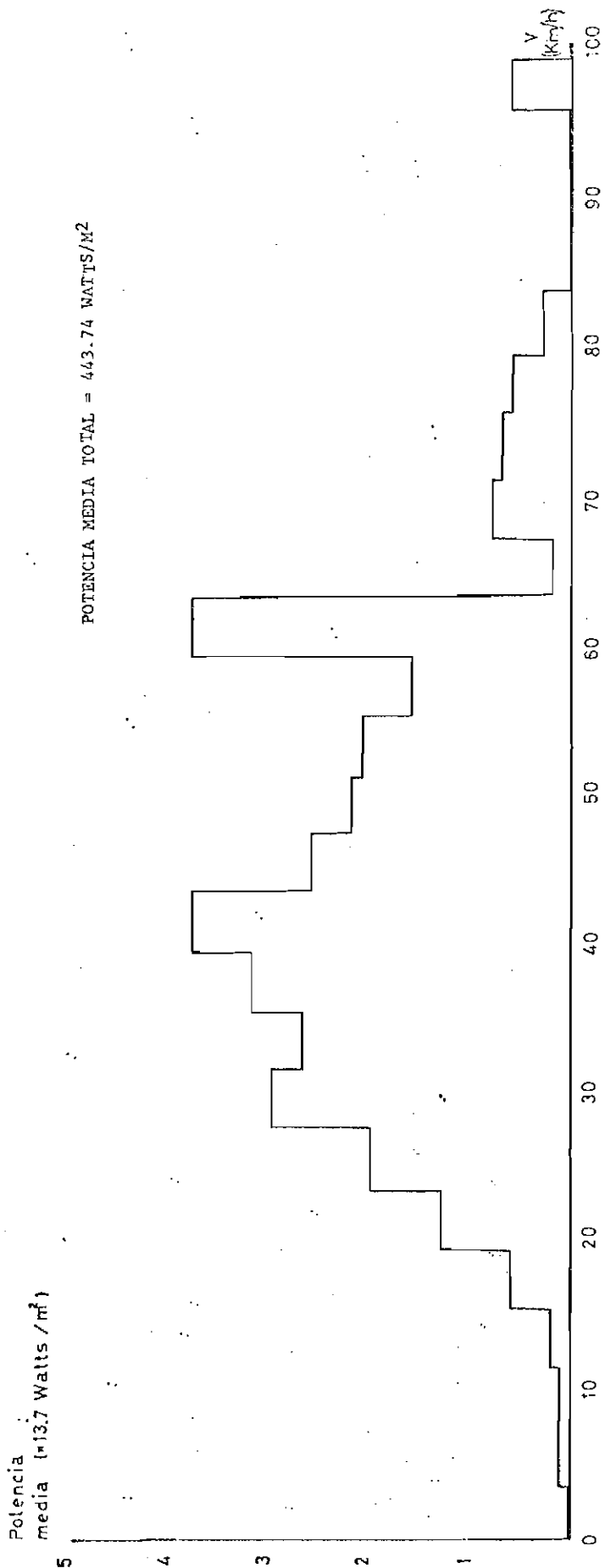


FIG. 16.- IDEM FIG. 13PERIODO: OTOÑO.

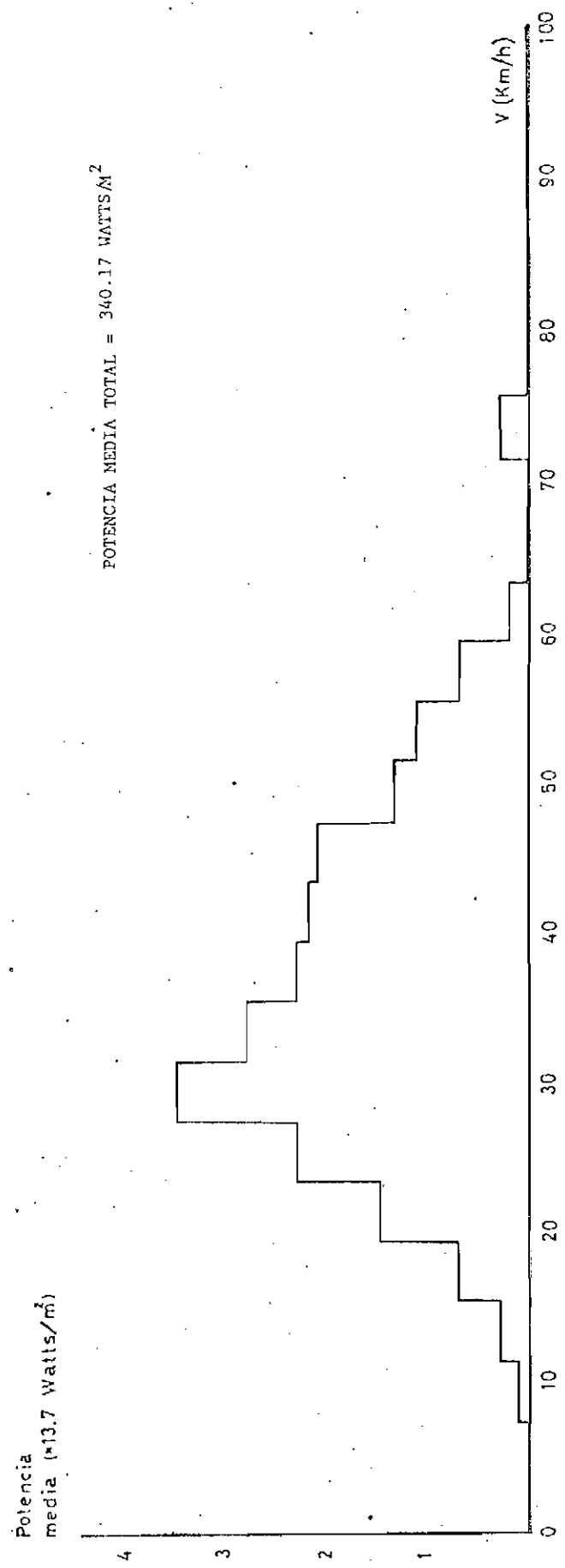


FIG. 17.- IDEM FIG. 13 - PERIODO: INVIERNO.

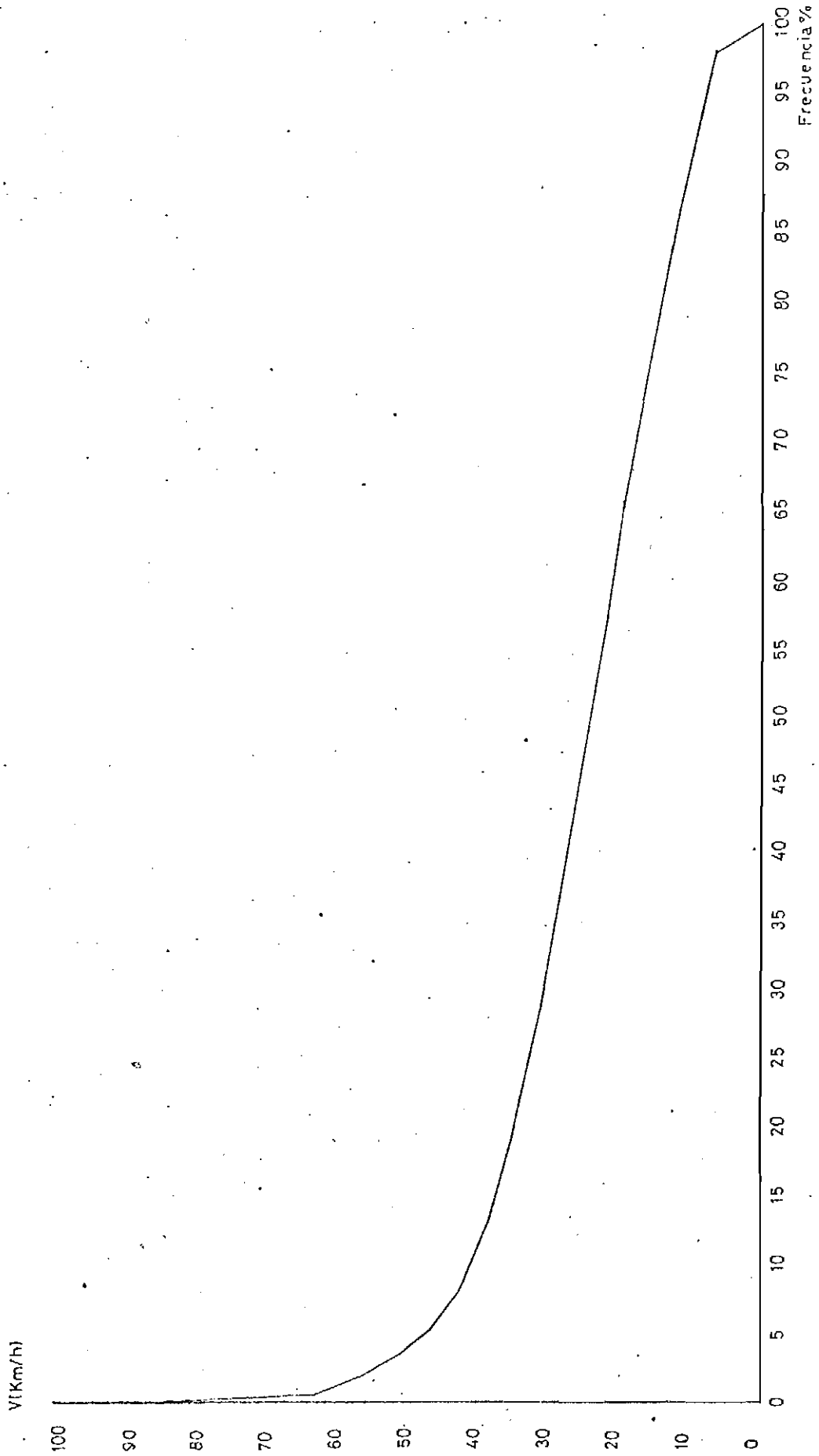


FIG. 18.- CURVAS DE DURACION PORCENTUAL DE LA VELOCIDAD - PERIODO: AÑO 1979.

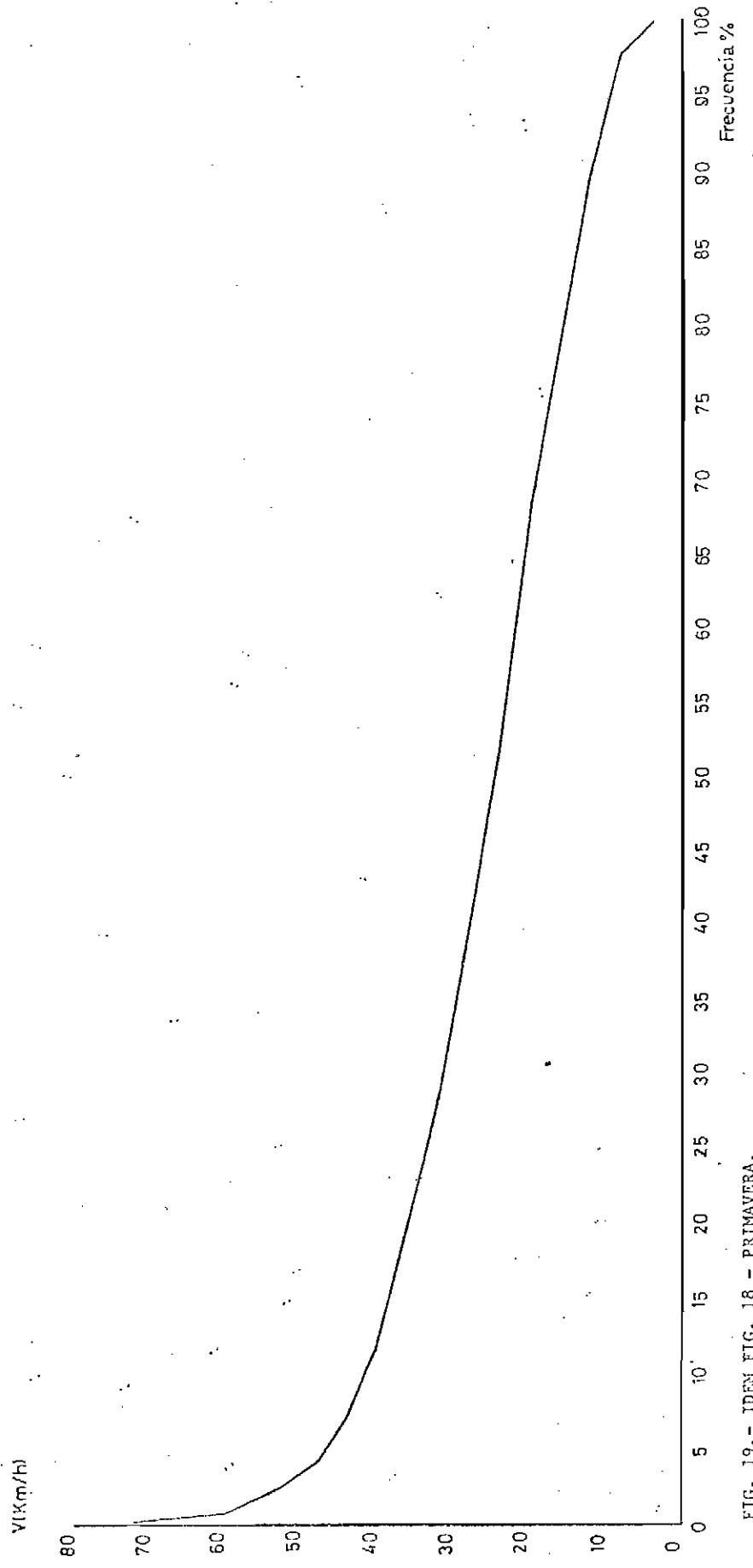


FIG. 19.- IDEN FIG. 18 - PRIMAVERA.

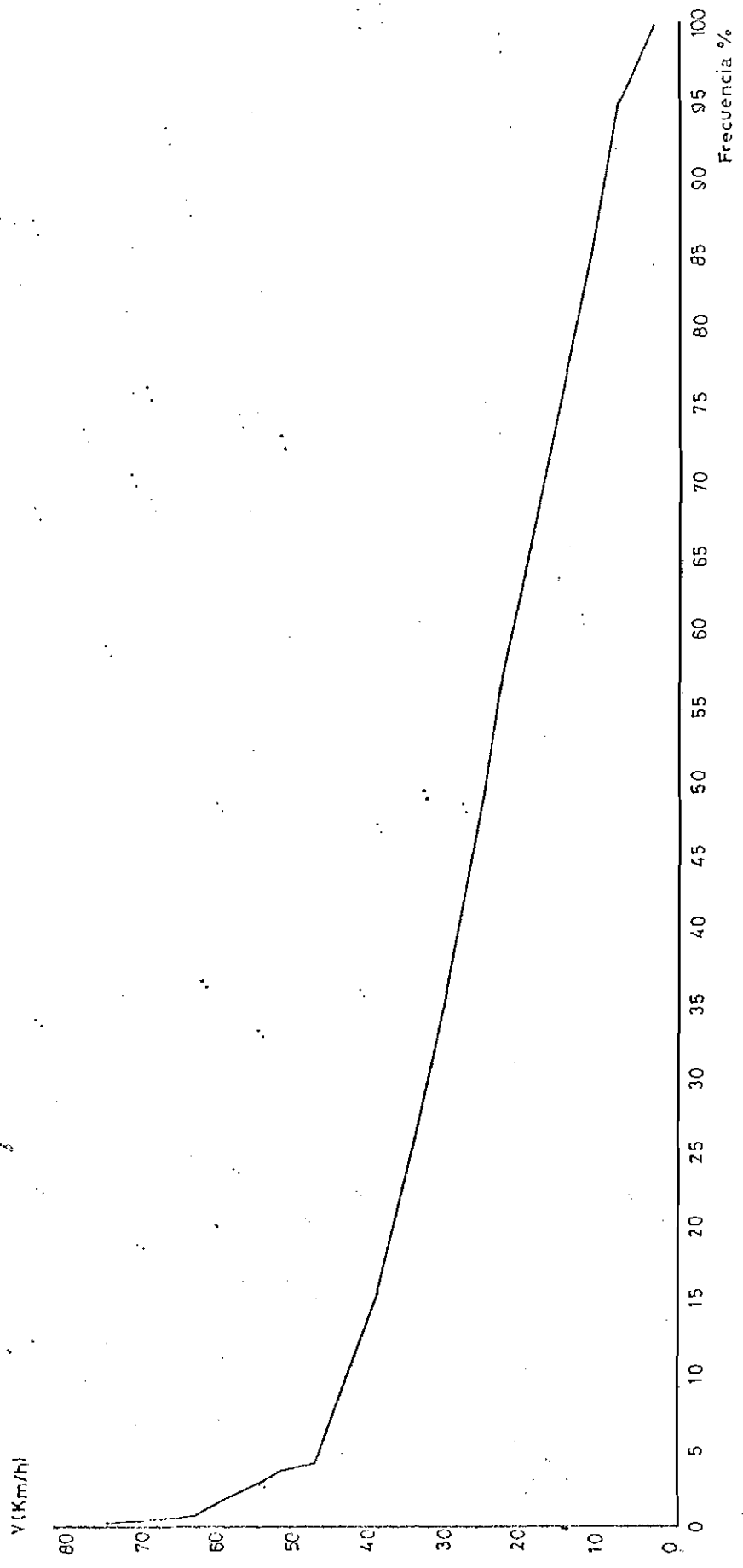


FIG. 20.- IDEM FIG. 18 - VERANO.

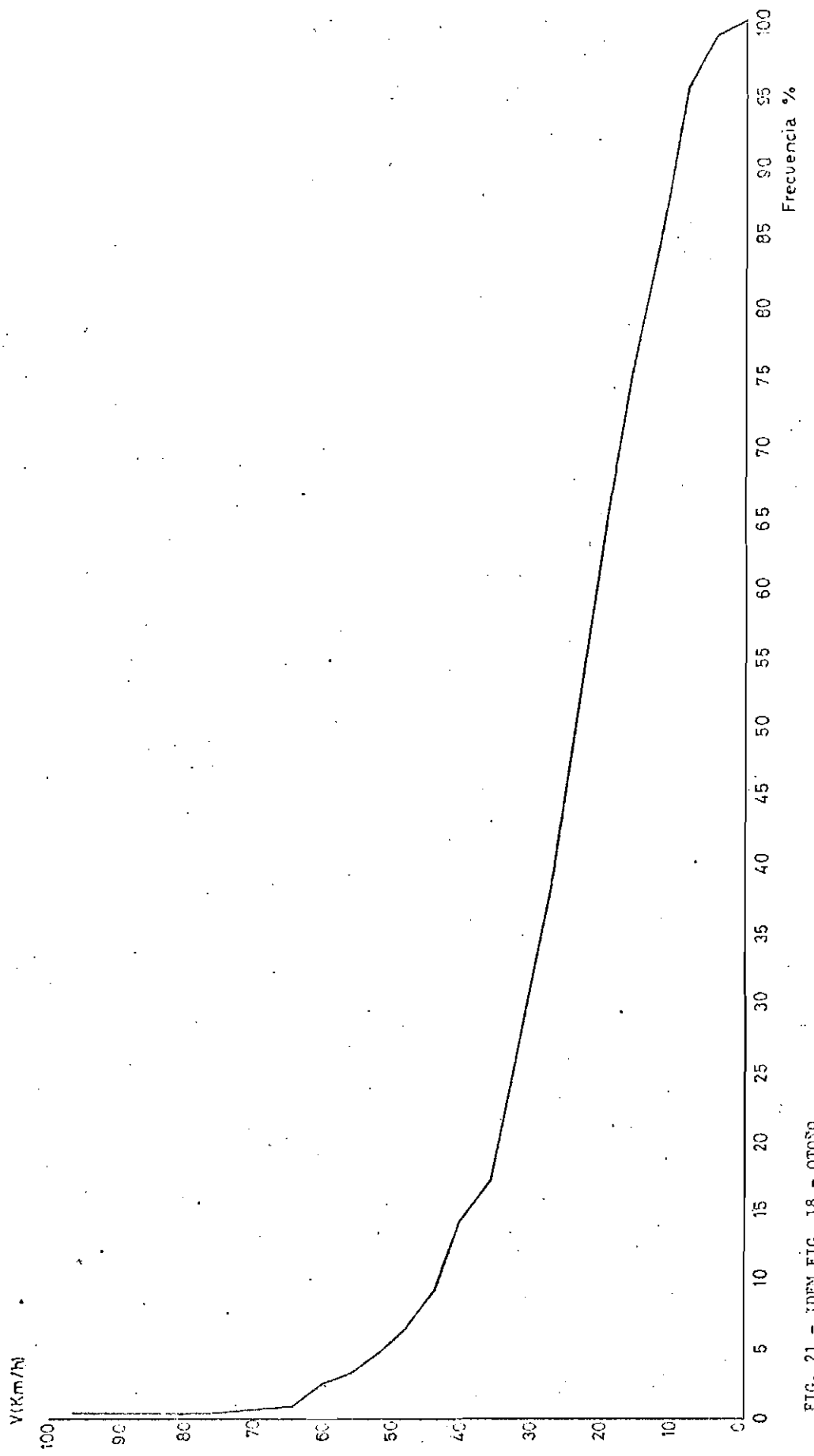


FIG. 21.- IDEN FIG. 18 - OTONO.

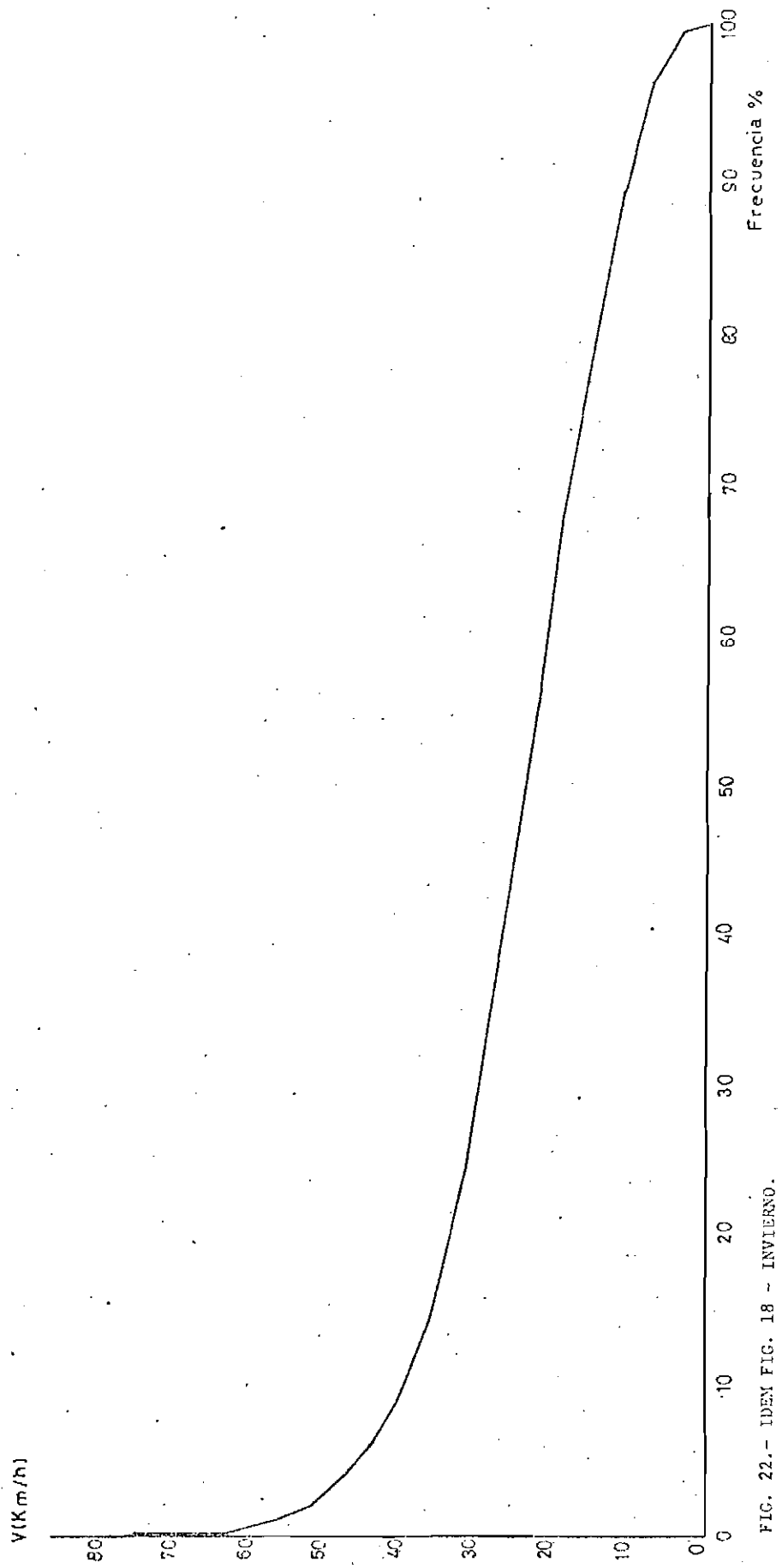


FIG. 22.- IDEM FIG. 18 - INVIERNO.

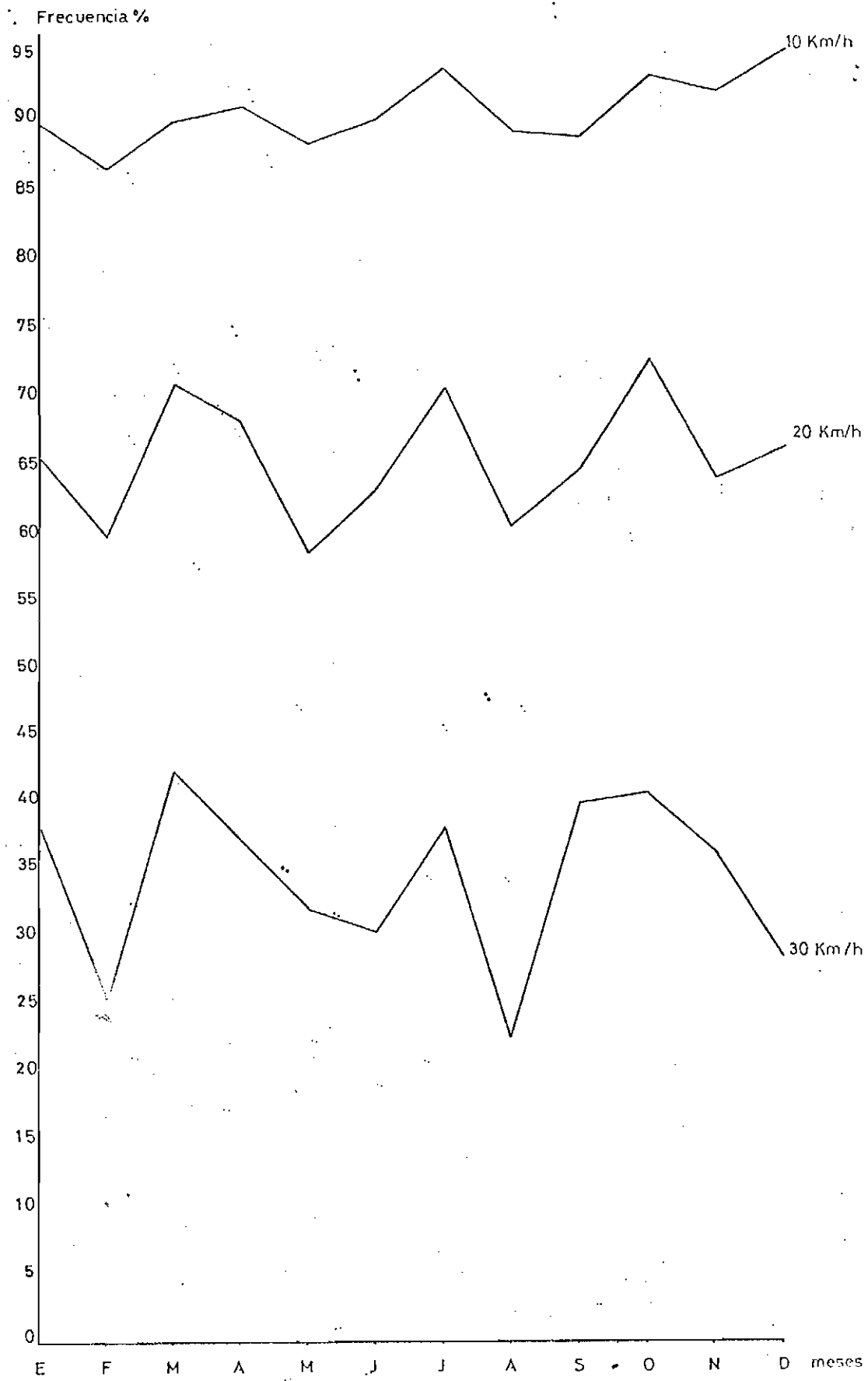


FIG. 23.- MARCHA ANUAL DEL PORCENTAJE DE DURACION DE DISTINTAS COTAS INFERIORES DE VELOCIDAD. -

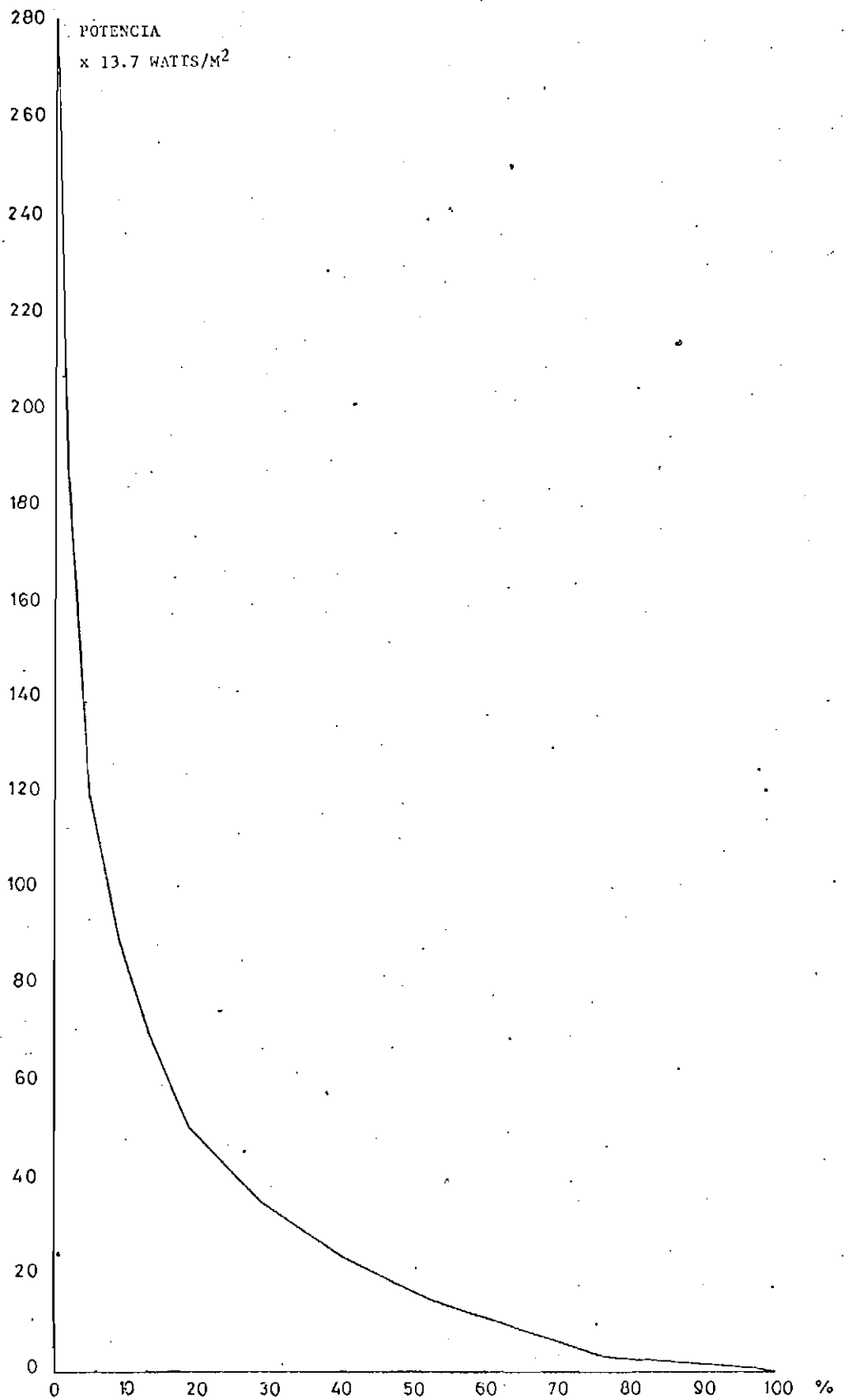


FIG. 24.- CURVAS DE DURACION PORCENTUAL DE LA POTENCIA - PERIODO: AÑO 1979.

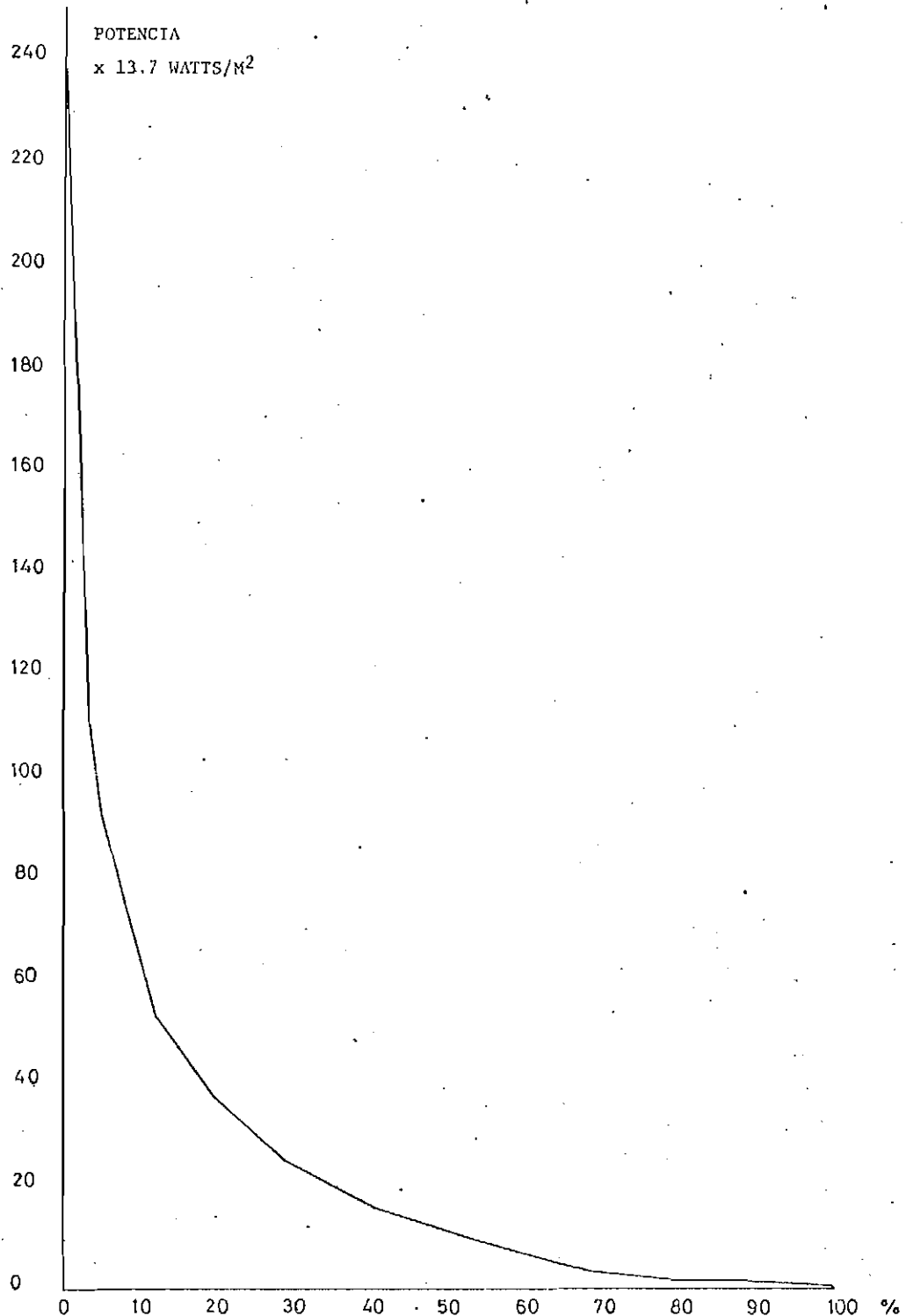


FIG. 25.- IDEM FIG. 24 - PRIMAVERA.

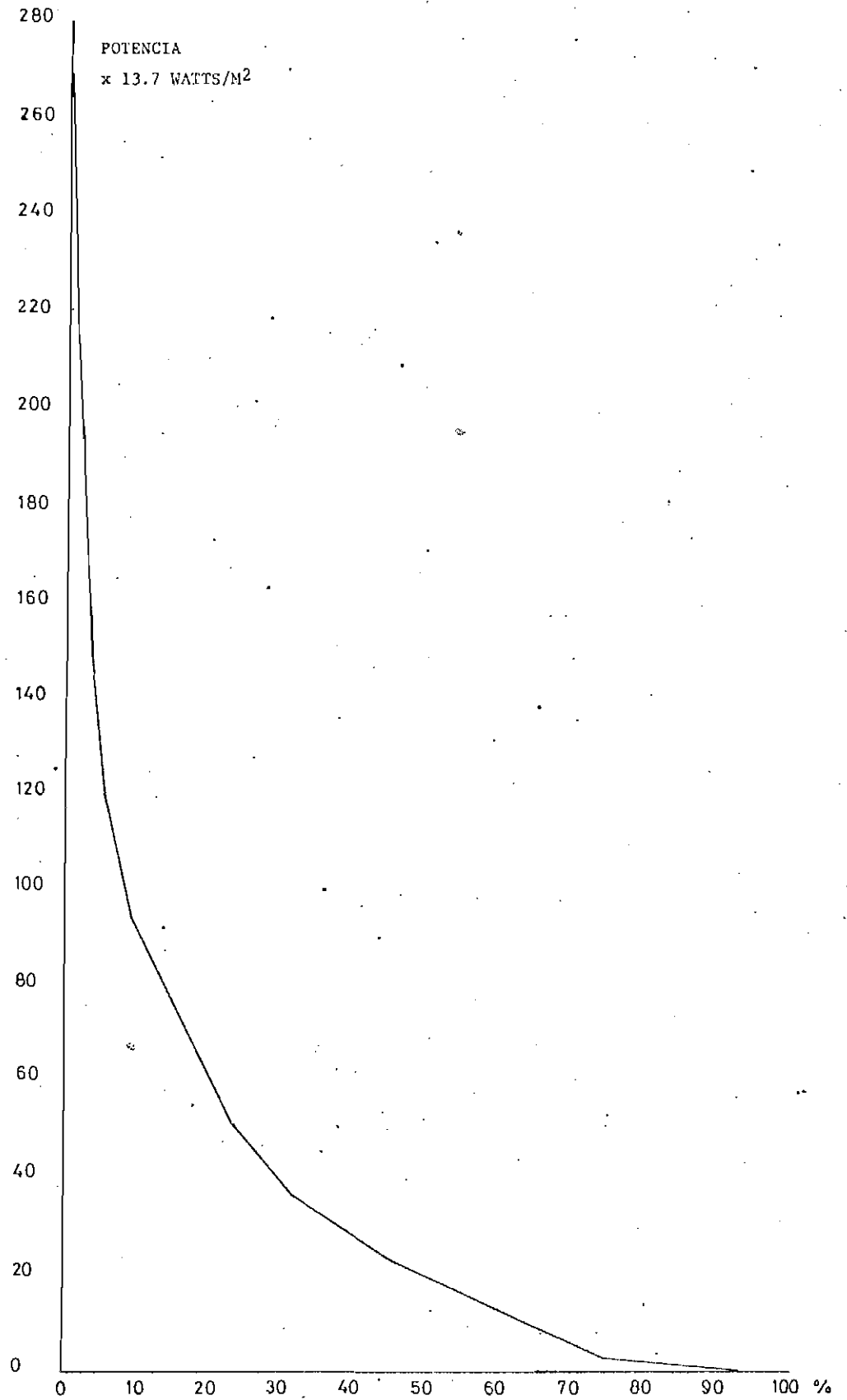


FIG. 26.- IDEM FIG. 24 - VERANO.

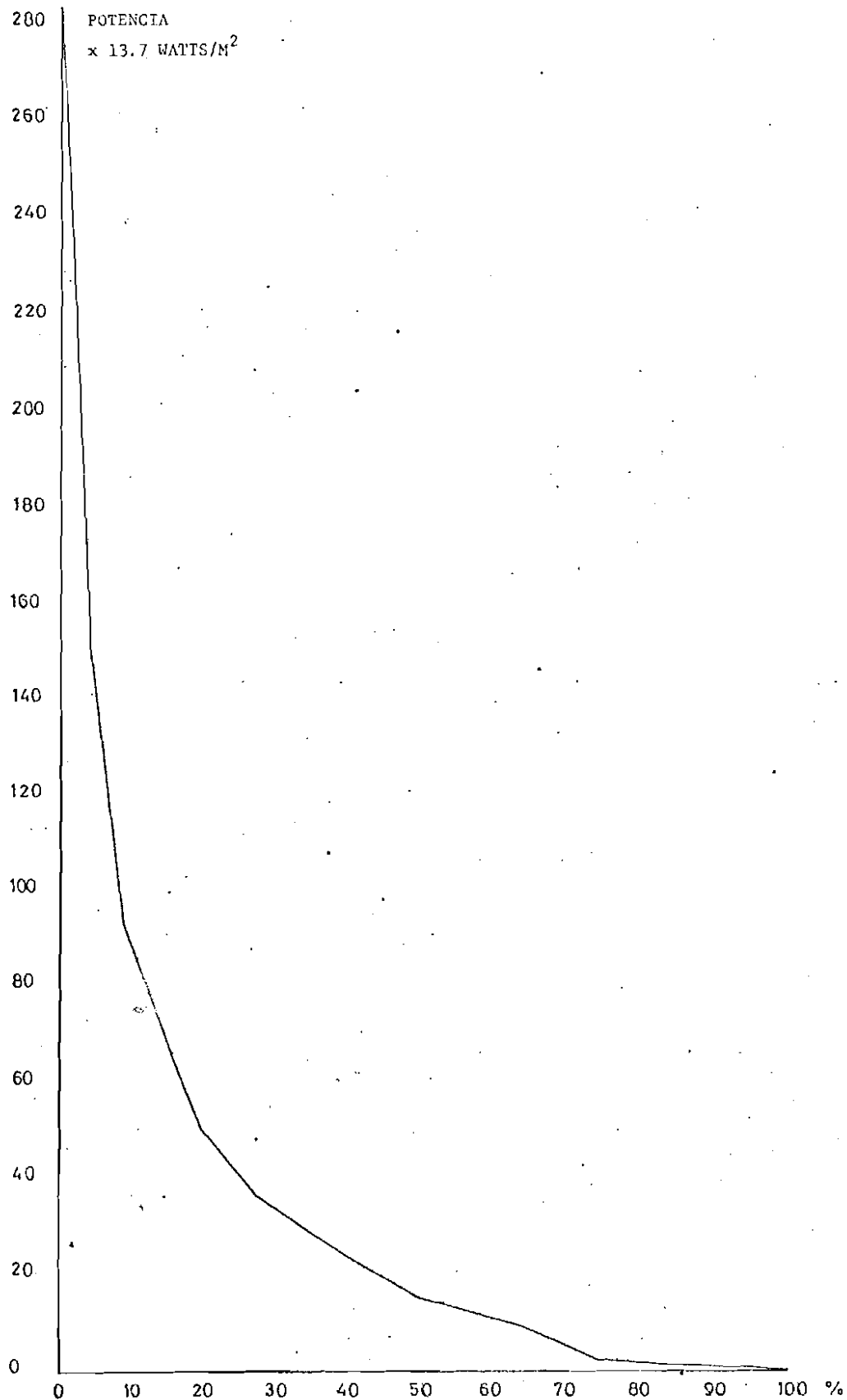


FIG. 27.- IBEM FIG. 24 - OTOÑO.

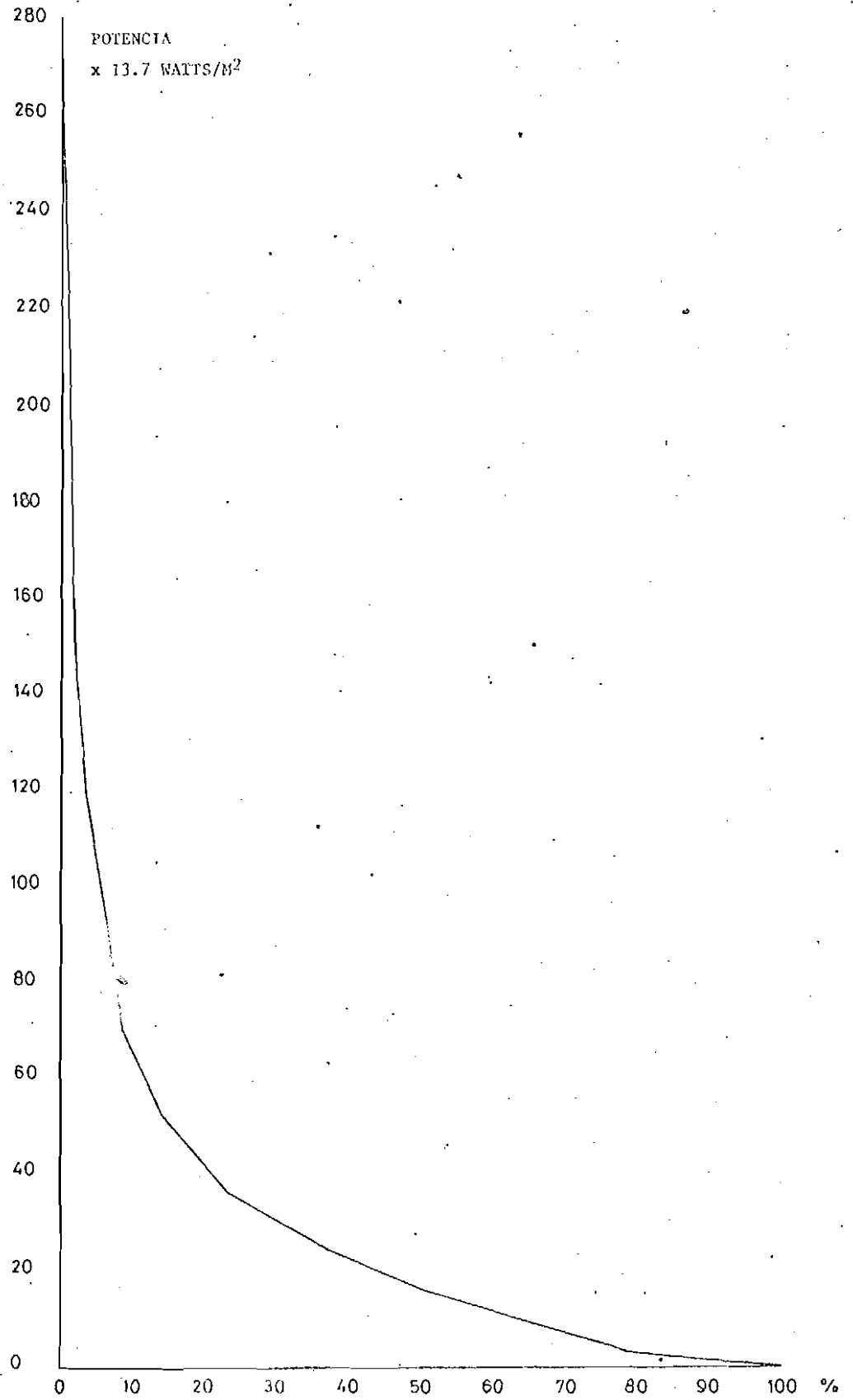


FIG. 28. - IDEM FIG. 24 - INVIERNO.

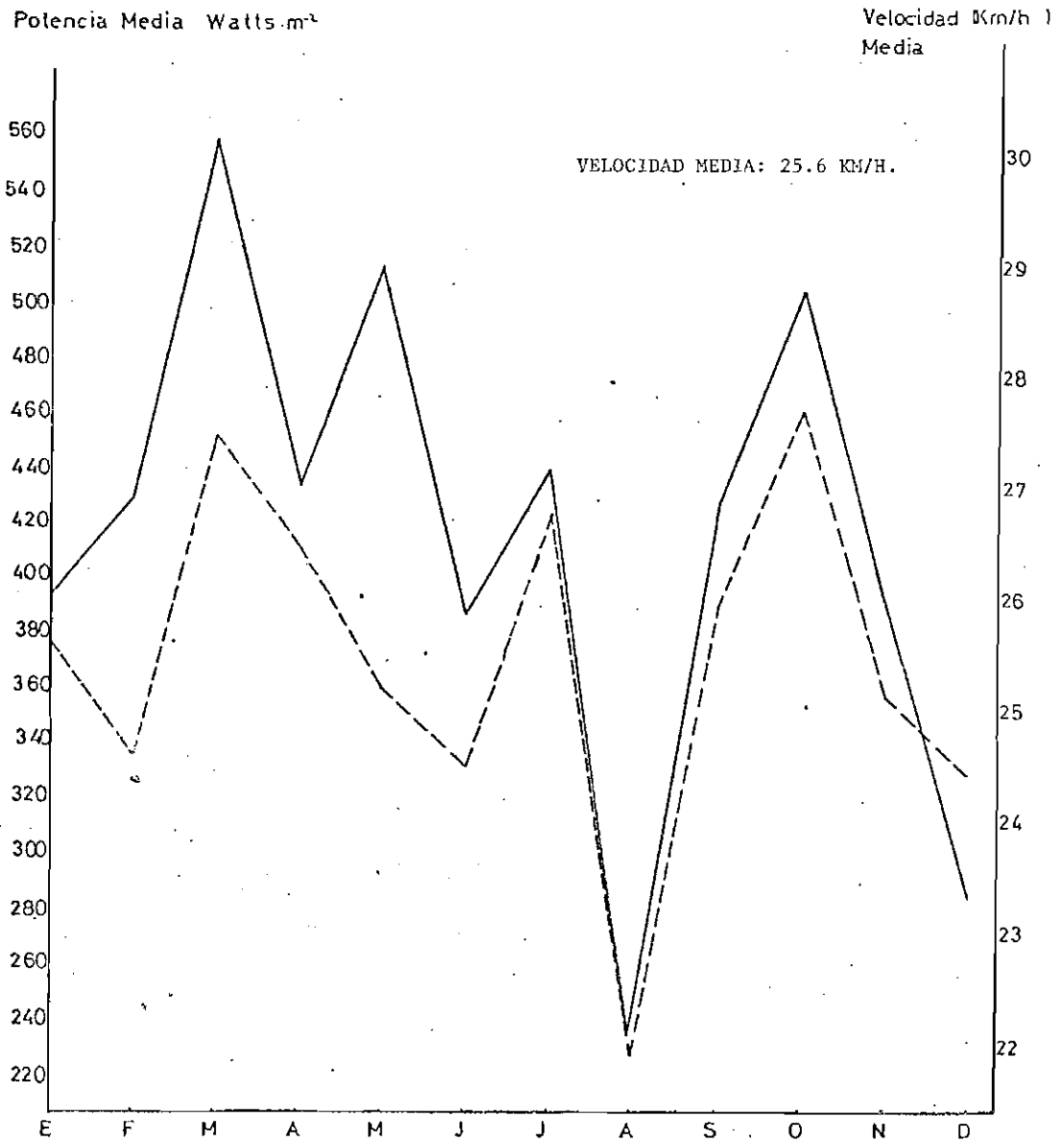


FIG. 29.- MARCHAS ANUALES DE LA POTENCIA Y VELOCIDAD MEDIA MENSUAL DEL VIENTO (LINEA CONTINUA: POTENCIA, LINEA DE TRAZOS: VELOCIDAD).-

AÑO	PROMEDIO
1976	25.42
1978	24.15
1979	25.85

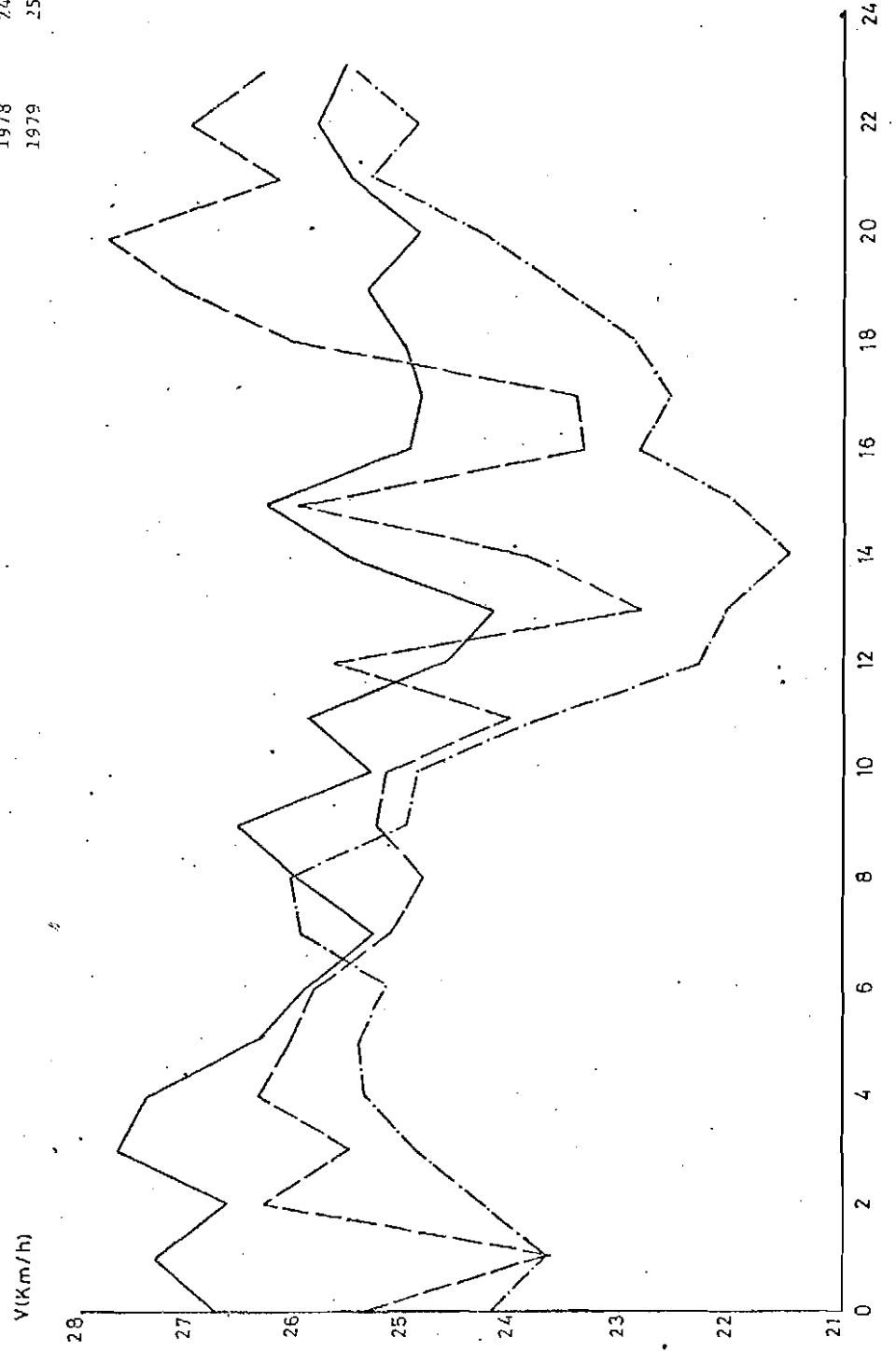


FIG. 30.- MARCHA DIURNA DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO - PRIMAVERAS 1976-78-79.-

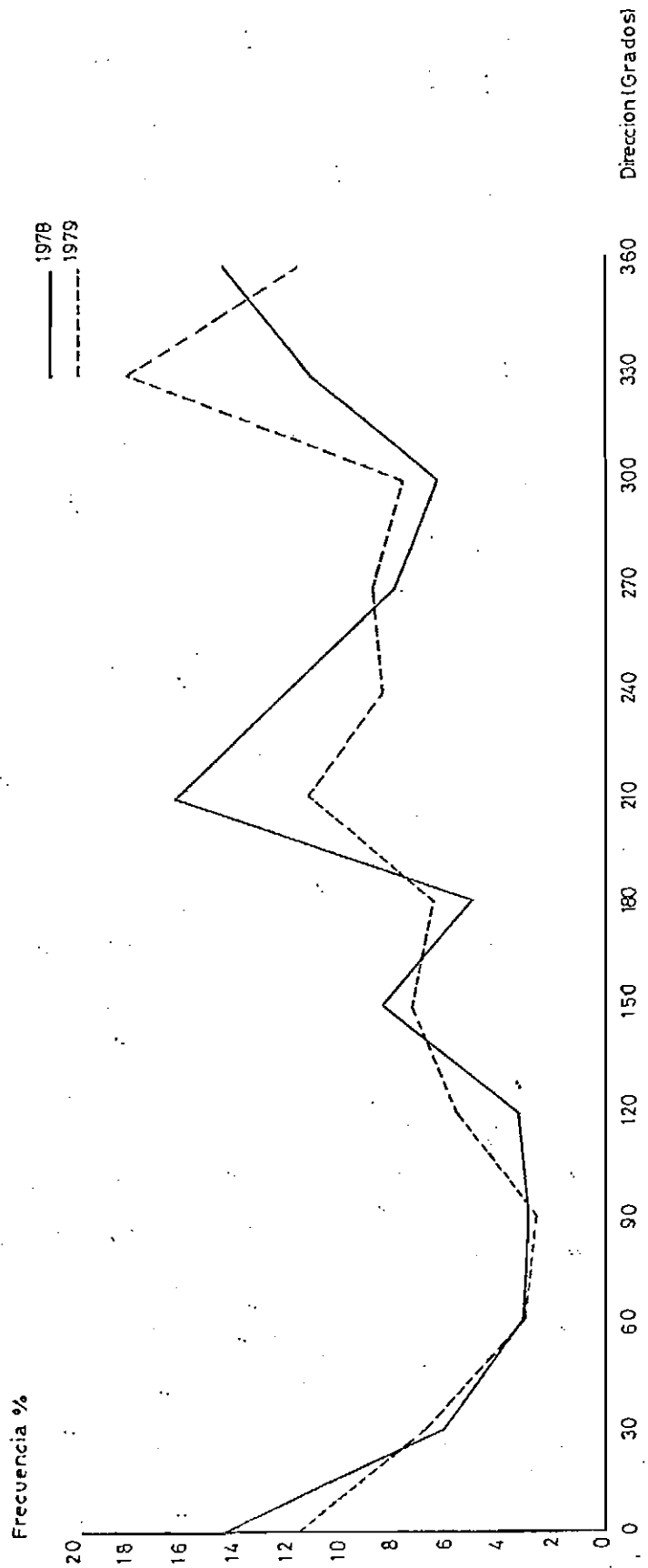


FIG. 31.- DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA DE DIRECCIONES PARA LAS PRIMAVERAS DE LOS AÑOS 1978 Y 1979.-

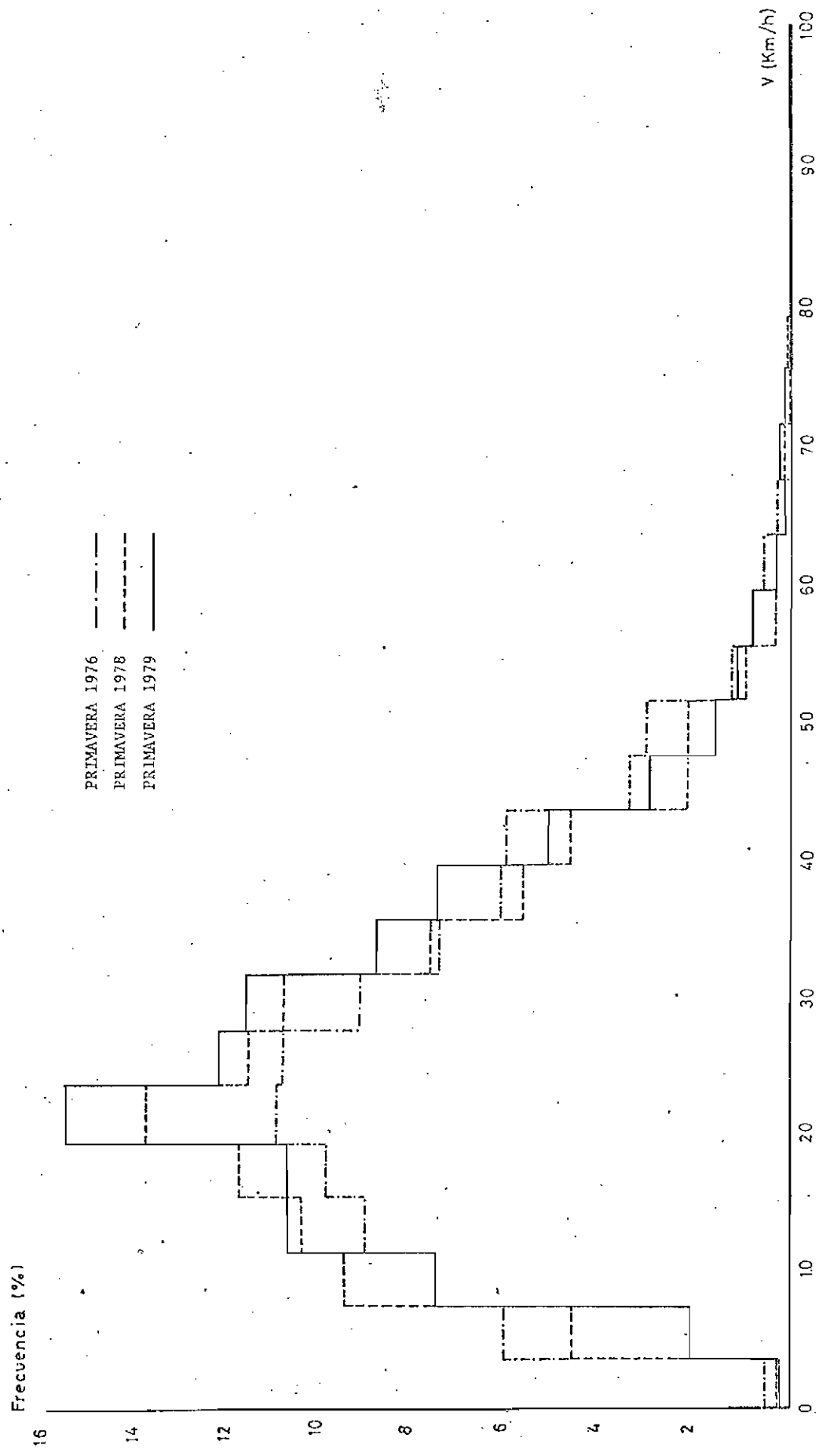


FIG. 32.- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE VELOCIDADES DE VIENTO - PRIMAVERA 1976/78/79.-

ESTUDIO SOBRE LA PERSISTENCIA DE LA INTENSIDAD  
DEL VIENTO EN PUERTO MADRYN

MARIA MA. RIVERO\*

\* CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS  
CENTRO NACIONAL PATAGONICO  
PROGRAMA DE FISICA AMBIENTAL

## RESUMEN

A los efectos del aprovechamiento del viento con fines energéticos se estudiaron las características de las rachas de intensidad por encima y por debajo de distintos valores.

El estudio se hizo para las observaciones horarias de tres años (octubre 74 - setiembre 77).

Se obtuvo la persistencia condicional de las rachas respecto de la duración de rachas anteriores. Se concluyó que el tiempo durante el cual el viento permanece por encima (o debajo) de cierta intensidad no está afectado por el tiempo durante el cual previamente estuvo por debajo / (o encima) de la misma.

Para vientos débiles la mayor persistencia se da en invierno y para // vientos fuertes durante la primavera y verano.

La función de autocorrelación de los datos del mismo período muestra altos valores, particularmente en invierno, en comparación con resultados de la misma latitud del hemisferio norte.

Esto abre una interesante perspectiva al pronóstico de la intensidad / del viento por métodos estadísticos en lapsos de hasta 48 horas.

### 1. INTRODUCCION

En la elección de una máquina eólica para un determinado lugar se busca que la misma optimice el aprovechamiento del viento. En general estas máquinas funcionan a partir de un cierto umbral y dejan también de trabajar por encima de ciertas velocidades que ponen en peligro su integridad. Estos dos límites constituyen parámetros que varían de un // sistema conversor de energía a otro y que conviene tener presente en /

el momento de la elección,

Otro parámetro de significación es el de la velocidad nominal a partir de la cual la máquina entrega potencia constante y máxima. Estos parámetros discriminan cuatro tipos de rangos de viento de diferente efecto para el sistema conversor dado,

En ciertas localidades de Chubut estos parámetros pueden evaluarse a partir de las estadísticas de la red del Centro Nacional Patagónico. En particular está finalizado un estudio de Puerto Pirámides, V. Barros y J.C. Labraga, 1980.

Una vez en funcionamiento la máquina convertora de energía, es de mucho interés saber en cada momento cual es la probabilidad de que un / dado régimen de viento se mantenga o cambie luego de un determinado / número de horas. Por ello se ha visto la necesidad de preparar un programa que contabiliza el número de casos correspondientes a distintas duraciones de rachas por encima y por debajo de un cierto número de / niveles. Aunque en cada caso particular estos niveles pueden ser distintos según las máquinas convertoras de energía, en el presente estudio se tomaron todos los niveles, que van de 7 en 7 Km./h. hasta 91 / Km./h.. Esta información presentada en cuadros adecuados permite, a / través de las frecuencias relativas, estimar las probabilidades sobre la duración de cada racha.

Otra aproximación a la necesidad de contar con una estimación de la / probabilidad de duración de una determinada racha es utilizando las / frecuencias condicionadas a información inmediatamente precedente. Cosa que también se programó con el mismo tipo de niveles. Por último, / de este tipo de probabilidad podría disponerse si se tuviera un método objetivo de pronóstico estadístico de la intensidad del viento de por lo menos 24 horas.

Esto se ve como muy factible en la región del Chubut a la luz de resultados de la función de autocovarianza que son presentados en la última sección.

## 2. DATOS UTILIZADOS

Se trabajó con un conjunto de datos de intensidad media horaria tomados por el Centro Nacional Patagónico con una anemógrafo registrador/ a 10 metros de altura en el predio de la firma ALUAR S.A. en Pto. Madryn.

Los datos cubren el período 1° de octubre de 1974 hasta el 30 de septiembre de 1977 y constituyen un conjunto de 20,742 datos. Esto indica que en los tres años se dispuso de observaciones en el 80% del tiempo.

## 3. PROGRAMA PARA EL ANALISIS DE LA PERSISTENCIA

Se sigue la metodología de Corotis, 1976. Se agrupan los datos por estaciones del año tomando el 1er. trimestre como verano, el 2° como otoño y así siguiendo. En cada uno de estos agrupamientos se clasifican/ los datos de rangos de velocidad que van de 7 en 7 Km./h. hasta 91 // Km./h.

Todas las rachas se inician al comienzo de cada estación de cada año / y se descartan todas las rachas que no finalizan al terminar la estación.

Se compara cada rango con el de la hora anterior. Si el actual es más alto entonces todas las rachas por debajo de niveles menores al del / actual rango se dan por finalizadas y se acumulan. Y se comienzan las de rango intermedios.

Si el rango actual es más bajo que el anterior todas las rachas ya comenzadas con rango superior a los niveles que están por debajo del nuevo rango se consideran finalizadas y se computan.

Si el rango de la hora actual es el mismo que el de la hora anterior no se da por terminada ninguna racha,

En el caso de dato faltante se dan por terminadas todas las rachas comenzadas y no se las contabiliza,

Después de un dato o una serie de datos faltantes se trabaja como si se tratara del comienzo de una estación,

Para cada estación del año se obtienen dos tablas, una para rachas // por encima de los niveles fijados y otra por debajo de los mismos,

La tabla I muestra para la primavera el número de casos de rachas por encima de cada rango. Estos están indicados en la primera columna y / las respectivas duraciones en la primera fila.

El factor C es el indicado para multiplicar estos resultados de forma que la información representa el N° de casos esperados en un mes tipo/ (30 días) de primavera.

Las restantes 7 tablas se encuentran en el Centro Nacional Patagónico a disposición de los usuarios.

Las interrupciones en las series alteran en forma desigual a las ra- / chas efectuando más a las largas que a las cortas, por lo que, debe / esperarse que la información presentada sea más representativa en el caso de estas últimas y sólo parcialmente indicativa en el caso de ra- chas mayores de 74 hs.

Para el caso de frecuencias condicionales se trabaja de la misma forma pero asociándole a cada duración por encima (por debajo) de cada nivel la duración de la serie que le precede por debajo (por encima). No se computan las rachas que están al comienzo de la estación y las que es tán precedidas por datos faltantes. La Tabla II es una de las 70 ta- / blas preparadas de esta forma.

#### 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la figura 1, se presenta en la ordenada la frecuencia relativa de / rachas con velocidades menores de 7 Km./h. (calmas) cuya duración es / mayor que la de la hora indicada en la abscisa.

La frecuencia relativa se calcula en base al total de rachas menores // que 7 Km./h de modo que los valores de la ordenada son estimadores de la probabilidad de que iniciada una racha menor de 7 Km./h dure más de lo indicado en la abscisa.

Sólo se presentan los resultados a partir de duraciones mayores de 4 / horas.

Se aprecia una mayor persistencia de vientos débiles en invierno y en verano.

La figura 2 es similar a la figura 1 pero para rachas menores que 14 / Km./h.

Las mayores persistencias de estos vientos relativamente débiles se dan en otoño e invierno.

La figura 3, también similar a las figuras 1 y 2, se refiere a las rachas de vientos superiores a 35 Km./h. y muestra que éstas son más persistentes en primavera y verano.

Muy importante es señalar que prácticamente no se dan casos de calmas / que duren más de 24 horas.

Cuando se toma el límite de 14 Km./h. el viento permanece por debajo de ese límite en menos del 2% de los casos por más de 24 horas y sólo en / invierno y otoño.

Estos resultados son muy alentadores porque indicarían que las calmas / prolongadas son de muy poca importancia en la región.

En cuanto a los casos de persistencia condicional, el análisis de las /

70 tablas similares a la tabla II muestra que si para cada tabla se // comparan entre sí las distribuciones de frecuencia de velocidad condicionadas por la duración de la racha precedente no hay mayores apartamientos.

Aplicando el test de la mediana con un nivel de significación del 10% no se observan diferencias.

Esto está indicando que la duración de la racha es independiente de la duración de la racha anterior y en este sentido se coincide con resultados similares del medio oeste de E.E.U.U.,

Este resultado no permite mejorar la estimación del comportamiento de una racha por encima de los resultados producidos por las tablas similares a la N°1, los cuales se hallan ajemplificados en las figuras 1 / a 3.

Sin embargo los resultados de la sección siguiente permiten alentar esperanzas para el mejoramiento de esta estimación en base a una predicción estadística del viento a partir de los datos de las horas precedentes.

## 5. FUNCION DE AUTOCORRELACION

La figura 4 presenta la función de autocorrelación para el verano y la figura 5 lo hace para el invierno.

Las correspondientes funciones de otoño y primavera muestran comportamientos intermedios aunque más cercanos al invierno que al verano.

En el verano se aprecia un marcado ciclo diurno con máximas en los múltiplos de 24 hs. y mínimos en 12, 36, 60 etc.,

Debe señalarse que la autocorrelación es muy pronunciada en 24 hs. al presentar un valor de 0.3. El promedio para varias estaciones de Montana (Corotis, 1976) es alrededor de 0.15.

La función prácticamente no cae a cero aún después de una semana,

En invierno el ciclo diurno sólo se manifiesta por inflexiones muy suaves en la curva.

Lo interesante es el alto valor de esta función con 0,8 a 4 hs. de intervalo y con 0,35 para 72 hs. Estos valores se hallan muy por encima de los correspondientes a E.E.U.U.; por ejemplo, en 30 horas ya la función de autocorrelación de invierno cae a cero para las estaciones del medio oeste, cosa que en Pto. Madryn sólo ocurre al cabo de una semana.

Este comportamiento es también un indicador de la persistencia del viento y abre una muy importante perspectiva para realizar pronósticos mediante técnicas estadísticas que incluyan de alguna forma los valores precedentes del viento.

Esta característica que parece en cierta medida exclusiva de la Patagonia agrega a un nuevo atractivo al uso de la energía eólica en la misma.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio de las rachas de viento por encima y por debajo de dados niveles indica que las calmas (viento  $< 7\text{Km./h}$ ) son más persistentes en invierno y verano mientras los vientos fuertes lo son en primavera y verano.

Cuando la cota se establece en  $14\text{ Km./h}$ . la persistencia por debajo de la misma se hace mayor en invierno y otoño.

De cualquier modo la duración de las calmas rara vez alcanza a superar las 24 horas y aun la cota de  $14\text{ Km./h}$ . no es superada por más de 24 hs. en un muy pequeño número de casos y eso solo en invierno y otoño.

El estudio de la persistencia de las rachas muestra que no está condicionada por las duraciones de las rachas anteriores.

La autocorrelación del viento es muy elevada y con excepción del verano presenta valores que permiten suponer que la predicción cuantitativa del viento en la Patagonia es muy posible.

## 6. REFERENCIAS

V. Barros y J.C. Labraga,- Evaluación de la Energía Eólica en Pto. Pirámides; Mediciones y Comentarios. Informe a la Iera. Reunión de Energía Eólica del // I.U.T. Trelew. 1980.

R.B. Corotis,- Stochastic Modelling of Site Wind Characteristics. North Western University ERDA/NSF 00357/761.

TABLA I

DURACION EN HORAS DE RACHAS MAYORES CON NIVEL EN KM./h. INDICADO EN PRIMERA COLUMNA

	1-3	4-7	8-13	14-19	20-25	25-31	32-37	38-49	50-73	74-97	98-143	144
7	71	20	16	31	23	7	2	17	15	7	4	2
14	159	65	66	52	21	7	3	12	2	1	2	0
21	206	80	58	34	7	2	3	5	1	0	0	0
28	152	52	37	14	2	2	0	1	0	0	0	0
35	85	25	16	3	1	0	0	0	0	0	0	0
42	28	14	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
49	19	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

C = 0,125

TABLA II

FRECUENCIA DE RACHAS POR ENCIMA DE 21 KM/h, SIGUIENDO A UNA POR

DEBAJO DE ESE NIVEL

$C = 0,125$

	1-3	4-7	8-13	14-19	20-25	26-31	32-37	38-49	50-73
1-3	49	50	26	12	8	3	3	1	1
4-7	31	28	13	9	8	2	1	3	0
8-13	18	13	10	10	0	2	0	1	2
14-19	10	10	10	5	1	0	0	0	0
20-25	4	4	2	0	0	0	0	0	0
26-31	2	0	0	0	0	0	0	0	0
32-37	1	1	0	0	0	0	0	0	0
38-49	4	1	1	0	0	0	0	0	0
50-73	1	0	0	0	0	0	0	0	0

La primera columna se refiere a la duración de las rachas y la primera fila a la duración de las respectivas precedentes.

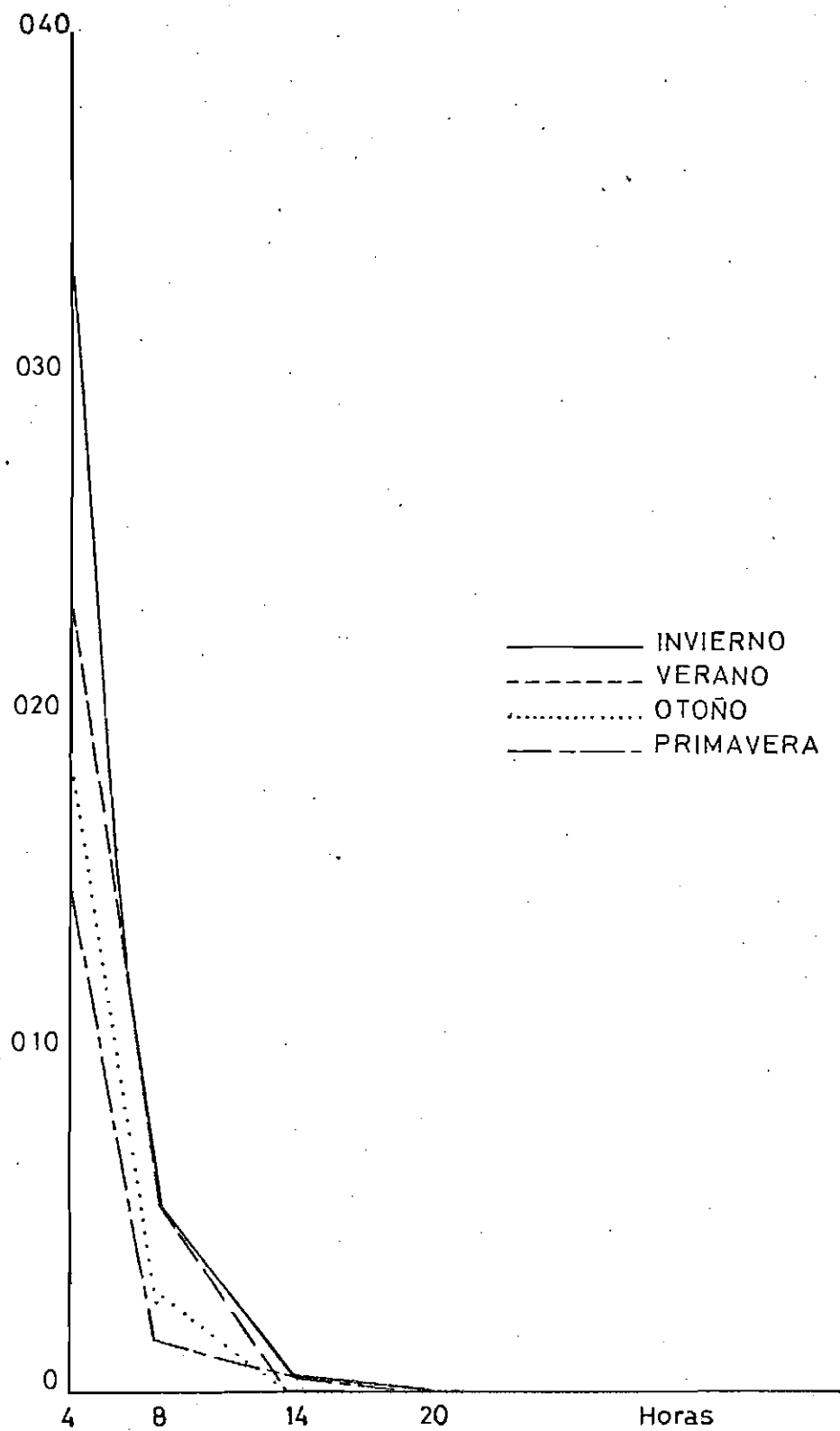


Fig 1 Frecuencia relativa de rachas  $V < 7$  km/h cuya duracion es mayor que las horas indicadas

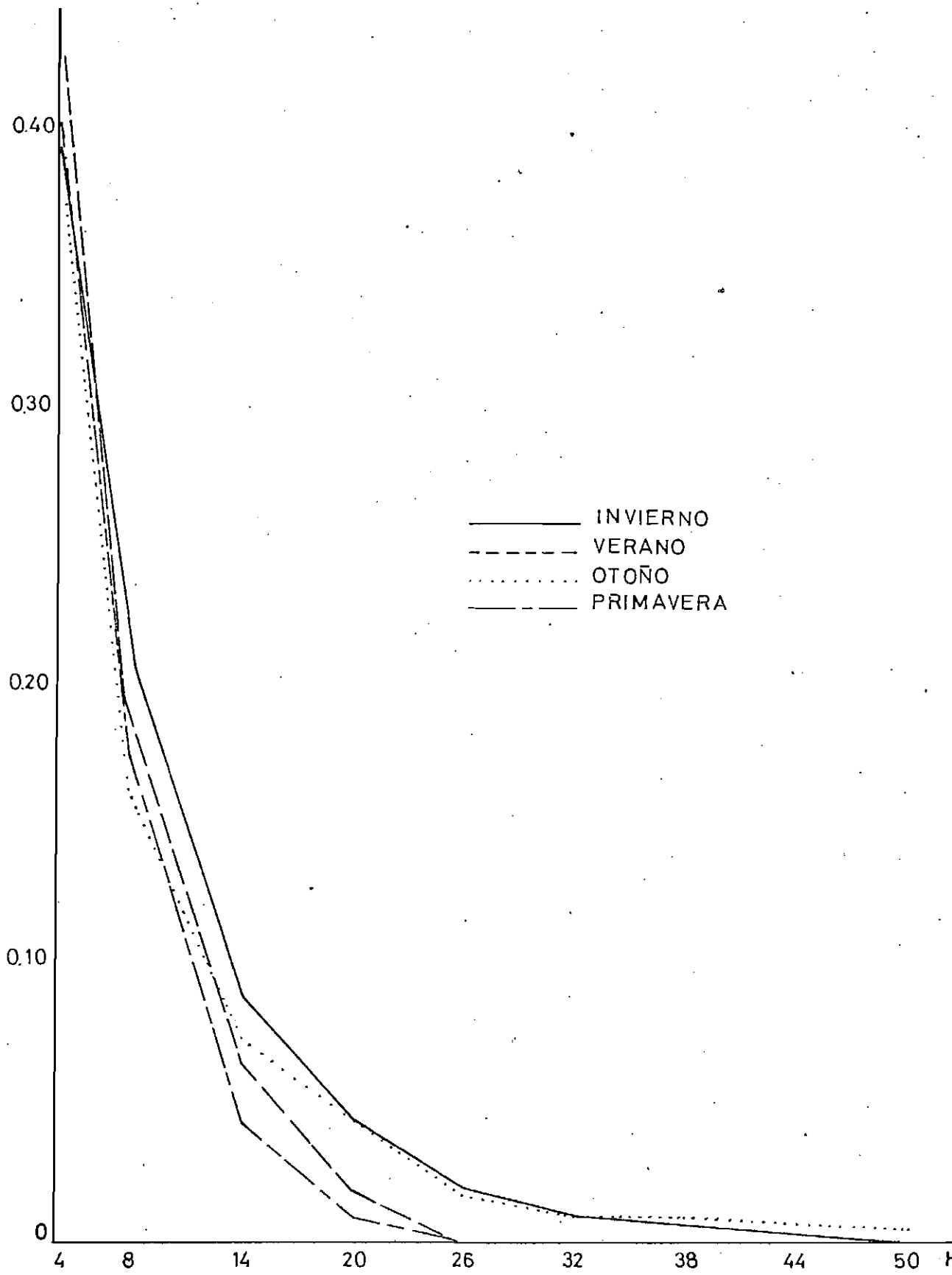


Fig. 2 Frecuencia relativa de rachas  $V < 14$  km/h cuya duracion es mayor que las horas indicadas

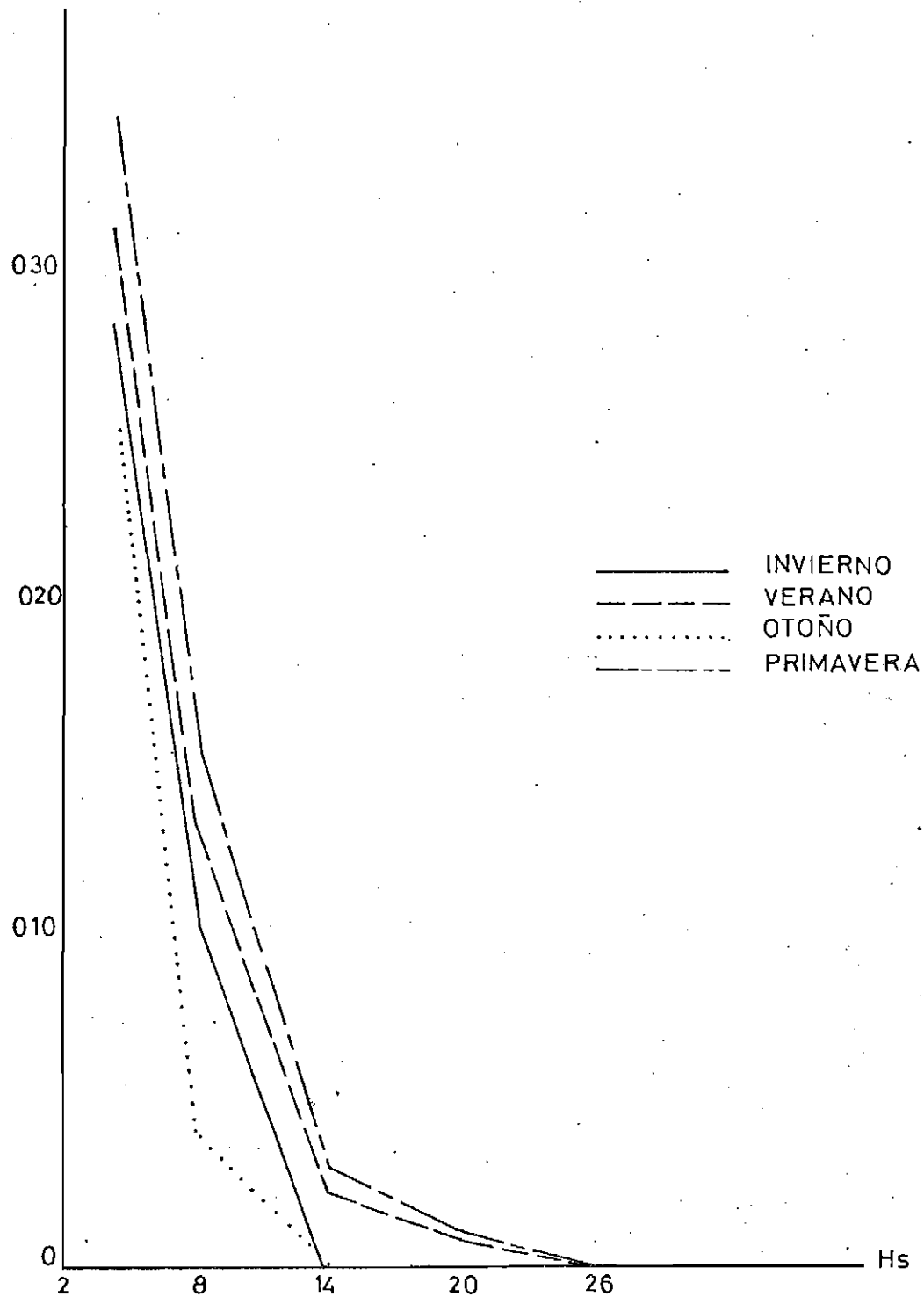


Fig. 3 Frecuencia relativa de rachas  $V > 35$  km/h  
 cuya duracion es mayor que las horas  
 indicadas

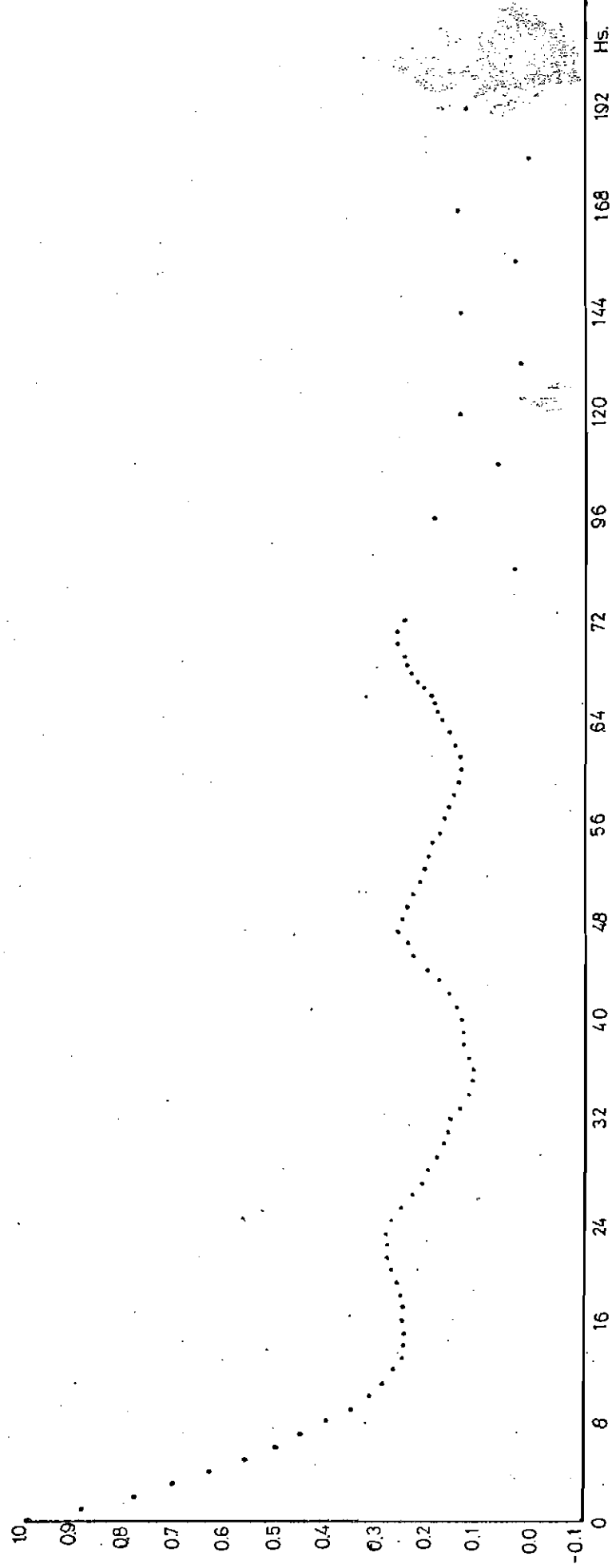


Fig.4 Funcion de autocorrelación VERANO

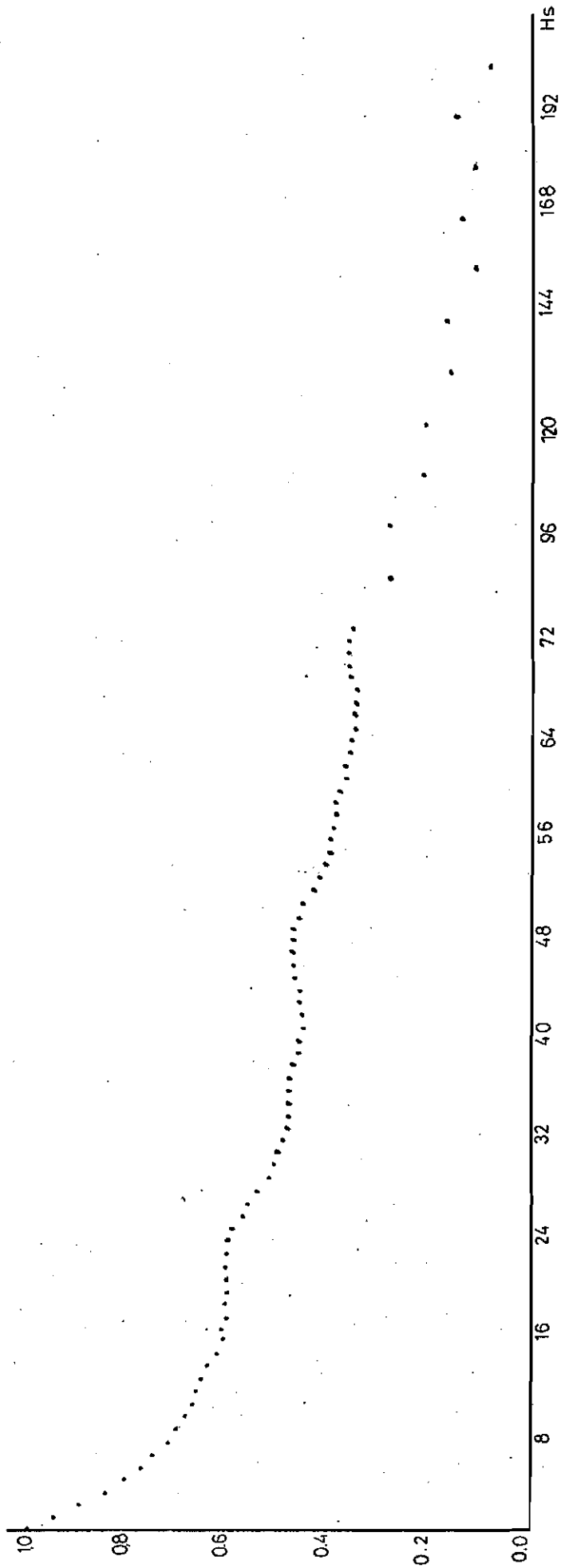


Fig. 5 Funcion de autocorrelación INVIERNO

FUNDAMENTOS METODOLOGICOS PARA UNA ESTIMACION RAPIDA DE LA INTENSIDAD  
MEDIA DEL VIENTO Y SU VARIACION ANUAL

\* JUAN A. RODRIGUEZ SERO

\* VICENTE R. BARROS

\* PROGRAMA DE FISICA AMBIENTAL

CENTRO NACIONAL PATAGONICO

CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS

## R E S U M E N

Se propone un método que permita la estimación del valor medio anual del viento y de sus principales fluctuaciones a lo largo del año a partir de sólo dos ó tres meses de medición. Esta basado en la minimización del error cuadrático medio, respecto de los datos observados, de un desarrollo en funciones ortogonales empíricas. Estas son calculadas a partir de un conjunto de series completas de datos que conforman una red de medición regular en la región.-

Se realizó una simulación con datos de una región del Este y Medio/Oeste de los Estados Unidos.-

El valor medio del viento fue reproducido con errores aún menores// del 3% en ciertos casos.-

Se reprodujo también la serie anual del viento medio semanal con un alto grado de ajuste comprobado con varios estimadores cuantitativos.-

## A B S T R A C T

A method of estimating the annual mean value and the annual variation of the wind, based upon observations during only two or three // months, is presented.-

It is based on the minimization of the RMS error between observations and a representation by means of empirical orthogonal functions. These are obtained from a set of complete series from a regular observing network in the same area.-

A simulation was made using a data set from the East and Middle West of the U.S.A.. The annual mean value was estimated with error smaller/ than 3% in some cases. The annual variation is also well reproduced, as several quantitative estimators show.-

\* \* \*

## INTRODUCCION

El uso inminente del viento como fuente de energía hace indispensable/ la elaboración de una metodología que permita la mejor evaluación posi- ble de sus características en plazos relativamente cortos (preferible- mente no mayores que dos ó tres meses) en aquellos sitios en que se // proyecta instalar máquinas conversoras de energía eólica.-

Como es muy poco probable que en cada uno de los posibles sitios de // una dada región donde se proyecte utilizar esta fuente de energía se// cuente con información suficiente, se deberá recurrir a alguna forma// de correlaciones espaciales para relacionar así, las características// del viento en cada uno de los sitios de interés con la información pre- existente en un número limitado de localidades de la zona que confor- man una red de observación.-

Se ha visto, sin embargo, que la correlación espacial del viento no es muy alta, a menos que las estaciones se hallen a muy corta distancia y en terreno homogéneo (por ejemplo, Corotis, 1978). En las experiencias realizadas para el presente trabajo también se encontró que esta corre- lación no es muy buena (Tabla I) a menos de algunos casos particulares de difícil conocimiento a priori. Aún en el caso de estaciones cerca- nas, por las condiciones locales diferentes (topografía, característi- cas del suelo, etc.), pueden encontrarse correlaciones relativamente ba- jas. Sin embargo esto no descarta que buena parte de la información de dos sitios de observación de viento tengan información correlacionada/ en cierto grado pese a estar separados por cientos de kilómetros (a ve- ces más de mil); véase Tabla I y Fig. 1.-

Esto sugiere que las características del viento en un lugar pueden ser/ conocidas mediante un período de observación limitado, como el menciona- do, si se utiliza un método que involucre las múltiples correlaciones// posibles con las estaciones de observación regular en un área adecuada. En este trabajo se han realizado experiencias exitosas para determinar/ la factibilidad de esta propuesta. Para ello, se ha aplicado un método/ ya planteado por los autores para el aprovechamiento de series de datos relativamente cortas (Barros y Rodríguez Seró, 1978) utilizando los au- tovectores de la matriz de covarianza de las series de datos de 22 esta

ciones del Este y Medio Oeste de los EE.UU.,. Se eligió esta área por-  
que tiene altadensidad de series de datos completas a lo largo de un//  
año, lo que es difícil encontrar en otros lugares, por ejemplo, en ///  
nuestra región de interés directo que es la Patagonia. Es precisamente  
el interés creciente por la energía eólica,el que está motivando la //  
instalación en ella de redes de observación por parte del Centro Nacio  
nal Patagónico y de otras Instituciones.-

Es deseable que estas redes obtengan de manera óptima información del/  
viento. Desde el punto de vista de los autores, se entiende como ópti-  
ma a la luz de las posibilidades que abre este trabajo, una red que //  
permita en cualquier sitio de la región describir de manera aceptable/  
las características de viento, a partir de un período de medición no//  
superior a dos ó tres meses.-

La experimentación con datos de los EE.UU. y el análisis comparativo /  
de la información ya existente en la Patagonia, permitirá como conti-  
nuación del presente trabajo el diseño de tal red de observación ópti-  
ma.-

#### DESCRIPCION DEL METODO

El método propuesto utiliza como base de la descripción a los autovec-  
tores de  $VV^T$ , donde  $V$  es una matriz cuyas columnas son las series con  
datos en todo el período considerado, y  $V^T$  su transpuesta. Se supone/  
previamente una descripción multilíneal de la intensidad del viento de  
la siguiente manera:

$$V = AM$$

1

Donde la matriz  $V$  ya ha sido descripta,  $A$  es una matriz ortogonal y  $M$ //  
es una matriz cuyos elementos corresponden a las proyecciones de los da  
tos de cada estación sobre cada fila de  $A$ .-

Si se exige ortogonalidad en la representación, es decir:

$$MM^T = D$$

2

Siendo  $D$  una matriz diagonal, se puede probar que  $A$  es la matriz forma-  
da por los autovectores  $VV^T$  (Grimmer, 1963).-

En consecuencia, el viento de la localidad j en el período i, está dado por:

$$V_{ij} = \sum_{k=1}^T a_{ik} m_{kj} \quad 3$$

Donde k representa el número de autovector y T es la cantidad de autovectores, igual al número de series de datos.

En general se puede producir una representación bastante fiel del viento utilizando un número reducido de autovectores. Ello equivale a adoptar un modelo de la forma:

$$V_{ij} = \sum_{k=1}^N a_{ik} m_{kj} \quad 4$$

Donde  $N < T$  es el número de autovectores utilizados.-

Cuando se compara el valor observado  $O_{ij}$  con el propuesto por el modelo, se encuentra en general un error:

$$\epsilon_{ij} = O_{ij} - \sum_{k=1}^N a_{ik} m_{kj} \quad 5$$

Si ahora se considera una serie incompleta de la misma región, no incluida en la matriz V, es plausible utilizar una representación similar, basada en los mismos autovectores. La determinación de los multiplicadores  $m_{kq}$  para cada estación, se obtiene minimizando el error cuadrático de la representación para los períodos en los cuales hay datos:

$$F_q = \sum_{i=L}^p \epsilon_{iq}^2 = \sum_{i=L}^p \left( O_{iq} - \sum_{k=L}^p a_{ik} m_{kq} \right)^2 \quad 6$$

Donde L y p son los índices extremos de la serie incompleta.

Puesto que se puede ver que las derivadas con respecto de los multiplicadores son siempre positivas, la condición de mínimo es:

$$\partial F_q / \partial m_{kq} = 0 ; k=1, \dots, N \quad 7$$

Lo que dá lugar a un sistema de N ecuaciones con N incógnitas, los  $m_k^q$ ; sistema lineal cuya teoría es bien conocida y cuya solución numérica no ofrece mayores dificultades (Ver por ejemplo Forsythe y Moller, 1967).

$$\left( \sum_{i=L}^P a_{i1}^2 \right) m_{1q} + \left( \sum_{i=L}^P a_{i1} a_{i2} \right) m_{2q} + \dots + \left( \sum_{i=L}^P a_{i1} a_{iN} \right) m_{Nq} = \sum_{i=L}^P O_{iq} a_{i1}$$

$$\left( \sum_{i=L}^P a_{i2} a_{i1} \right) m_{1q} + \left( \sum_{i=L}^P a_{i2}^2 \right) m_{2q} + \dots + \left( \sum_{i=L}^P a_{i2} a_{iN} \right) m_{Nq} = \sum_{i=L}^P O_{iq} a_{i2}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & 8 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \end{array}$$

$$\left( \sum_{i=L}^P a_{iN} a_{i1} \right) m_{1q} + \dots + \left( \sum_{i=L}^P a_{iN}^2 \right) m_{Nq} = \sum_{i=L}^P O_{q2} a_{iN}$$

es de hacer notar la estructura que presentan los coeficientes del sistema. En primer lugar se trata de una matriz cuasi diagonal por cuanto los elementos no diagonales son parte de los productos escalares de los autovectores (que son ortogonales entre sí); en el caso límite en que se incluyera una serie completa,  $i$  variaría de 1 a N y la matriz de coeficientes del sistema sería estrictamente diagonal. En segundo lugar, los términos independientes son los productos escalares de la serie de datos y de los autovectores; por ello, en el caso límite mencionado, se obtendrían para los multiplicadores valores consistentes con el modelo propuesto por la ecuación 4. En efecto, los multiplicadores serían evaluados como proyecciones de los datos sobre los autovectores.

ESTIMACION DE LA INTENSIDAD MEDIA DEL VIENTO Y SU VARIACION ANUAL EN  
BASE A PERIODOS DE OBSERVACION CORTOS,

Para aplicar el método descrito en la sección anterior se utilizaron/ datos de un conjunto de 22 estaciones de los EE.UU. comprendidas en- / tre 38°N y 42°N y 77°W y 88°W (Figura 1). Este conjunto fue elegido // por presentar a lo largo de un año (1978) observaciones adecuadas con muy pocas omisiones. En ninguna semana las observaciones realizadas a/ las horas sinópticas principales fueron menos de 23, y en el 90% de/ los casos se cuenta con las 28 posibles.

Los valores utilizados para la construcción de la matriz V fueron los/ promedios semanales; utilizando el método de Jacobi se obtuvo la ma- / triz de autovectores A. Se efectuó luego la evaluación de los multipli- / cadores con el método descrito en la sección anterior, y la subsecuen- / te reconstrucción de las series, suponiendo que se disponía de datos / sólo para una parte del período. Estos subconjuntos de la serie "conocidos" se tomaron con longitudes y posiciones relativas variables.

En función de las magnitudes relativas de los autovalores (Figura 2) se aprecia que a partir del tercer autovector las contribuciones de los siguientes se hacen menos significativas (Buell, 1978). Se han realiza- / do reconstrucciones de series anuales suponiendo conocidos segmentos / de longitud variable de 9 a 13 semanas; en todos los casos se los si- / tuó al principio y al fin del año de trabajo. En cada caso se ensayó / las reconstrucciones con 3 y 5 autovectores por lo mencionado anterior- / mente.

Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran las series observadas correspondien- / tes a cuatro localidades y las respectivas reconstrucciones con tres y cinco autovectores, suponiendo conocidas las últimas trece semanas. Es- / tas reconstrucciones son típicas de las restantes; siendo dos de ellas, WMO 72405 y la WMO 72422 de las peores; y la WMO 72524 y la ORD de las mejores. Evidentemente en la última parte de la serie el ajuste de la reconstrucción es siempre bueno, pues allí se han utilizado los datos observados, pero es notable como se reproducen aceptablemente las fluc- / tuaciones mas significativas aún al principio del año.

Una medida del ajuste que es posible obtener entre la serie original y sus reconstrucciones, está dada por los coeficientes de correlación. Esos son presentados en la tabla 11 para las 22 estaciones. Como se puede ver la correlación promedio tanto para reconstrucciones con 3 como con 5 autovectores, es muy superior a la que se podría obtener por correlaciones simples con una estación cercana como surge de la inspección de la Tabla I.

La figura 7 muestra los coeficientes de correlación promedio de las 22 estaciones en función de la longitud (expresada en semanas) y ubicación del período supuesto conocido.

A la izquierda de la figura se muestra el caso de invierno (primeros meses del año) y a la derecha el otoño (últimos meses del año). Por lo que se aprecia, al menos en esta región de los EE.UU., la información del invierno parece ser más significativa que la del otoño. Se ve también que con 3 autovectores se pueden obtener reconstrucciones bastante buenas a partir de 9 semanas de datos.

Resulta muy interesante la capacidad de este método para calcular el valor medio anual. En la figura 8 se presentan los módulos de los errores relativos en la estimación del valor medio, promediados para las 22 estaciones y presentado en la misma forma que en la figura anterior. En todos los casos es de 5% ó menor; llegando al 3% en invierno a partir de 10 semanas con datos, y a la misma cifra a partir de 11 semanas y 5 autovectores en otoño. La figura 9 muestra los errores relativos en el valor medio anual para la estación WMO 72524.

Otra medida del ajuste está dada por el error relativo cuadrático medio, del que también se ha calculado el promedio sobre las 22 estaciones, que se presenta en la figura 10. Se ve que también con este parámetro se encuentra un buen ajuste tomando período conocidos adecuados. La figura 11 es la correspondiente para el caso particular de la estación WMO 72524.

Se puede ver que todas estas medidas de error dan resultados satisfactorios al aplicarlas a las series reconstruidas.

## CONCLUSIONES.-

Se ha mostrado que es posible evaluar con un error menor que 5% el valor medio anual del viento en un lugar dado de la región considerada, contando para ello con observaciones en ese sitio de 2 ó 3 meses de duración.

Igualmente se puede reproducir la serie anual con alto grado de fidelidad, obteniendo con respecto de la serie real (cuando se la conoce) coeficientes de correlación y errores relativos cuadráticos medios, mejores que 0,9 y del orden de 0,1 respectivamente.

La naturaleza de los procesos físicos relacionados con la circulación atmosférica permite suponer que estos resultados obtenidos para una región determinada de los EE.UU., puedan extenderse al menos cualitativamente a otras regiones similares del planeta, y en particular a la Patagonia que se halla en una latitud semejante.

Esto hace aún mayor la importancia de disponer de una red de observación de calidad adecuada en esta última región.

## REFERENCIAS.-

- 1.- COROTIS, R.B. Stochastic modelling of site wind characteristics; Rann Document Nr. ERDA/NSF-00357/76/1UC60, Northwestern University, Evanston, Illinois; 1976, 297 pp.
- 2.- BARROS, V.R., RODRIGUEZ SERO, J.A.; Asimilación de datos de períodos relativamente cortos en el análisis climatológico de la precipitación de la Provincia del Chubut; Meteorológica, Vol. 8/9, 1977/78, pp. 217-226.
- 3.- GRIMMER, M.; The space filtering of monthly surface temperature data in terms of pattern, using empirical orthogonal // functions; Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 89, 1963, pp. 395-408.
- 4.- FORSYTHE, G.E., y MOLER, C.B.; Computer solution of linear algebraic systems, Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc. 1967.

5.- BUELL, C;E.; The Number of Significant Proper Functions of Two-Dimensional Fields, Journal of Applied Meteorology, Vol. 17, N° 6, 1978, pp. 717-722.

T A B L A I

Coeficiente de correlación entre las 22 estaciones.-

	WMO 72405	WMO 72414	WMO 72422	WMO 72423	WMO 72425	WMO 72439	WMO 72432	WMO 72438	WM 725 0	WMO 72524	WMO 72533	
WMO 72405	.47	*****.66	.58	.67	.69	.35	.63	.47	.6	.42	.46	
WMO 72414	.53	.65	*****.76	.71	.88	.55	.72	.70	.8	.64	.70	
WMO 72422	.71	.71	.77	*****.86	.82	.72	.84	.83	.8	.74	.78	
WMO 72423	.70	.65	.78	.72	*****.80	.65	.85	.84	.8	.70	.75	
WMO 72425	.68	.67	.84	.71	.61	*****.60	.80	.74	.8	.68	.68	
WMO 72429	.68	.74	.59	.78	.81	.73	*****.60	.84	.7	.82	.81	
WMO 72432	.71	.62	.73	.64	.68	.75	.68	*****.80	.7	.60	.70	
WMO 72438	.78	.82	.72	.85	.86	.87	.82	.76	*****.8	.86	.89	
WMO 72520	.74	.80	.86	.82	.74	.78	.84	.83	.85	*****.82	.82	
WMO 72524	.77	.91	.77	.94	.87	.86	.90	.75	.70	.7	*****.89	
WMO 72533	.78	.90	.72	.90	.87	.86	.86	.75	.66	.63	.85	*****
WMO 72534	WMO 72535	AOG	FDY	FFO	LAF	MFA	WGW	MRB	OF	ZZV		



T A B L A II

COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE SERIE OBSERVADA Y RECONSTRUCCION  
CON TRECE SEMANAS

ESTACION	3 AUTOV.	5 AUTOV.
WMO 72405	.887	.932
WMO 72414	.924	.921
WMO 72422	.863	.790
WMO 72423	.883	.923
WMO 72425	.931	.927
WMO 72429	.800	.906
WMO 72432	.845	.900
WMO 72438	.934	.867
WMO 72520	.946	.890
WMO 72524	.959	.974
WMO 72533	.955	.955
WMO 72534	.944	.865
WMO 72535	.928	.949
ADO	.935	.940
FDY	.941	.955
FFO	.921	.915
LAF	.951	.953
MFD	.927	.846
MGW	.935	.923
MRB	.915	.918
ORD	.964	.959
ZZV	.928	.918
PROMEDIO	.919	.915

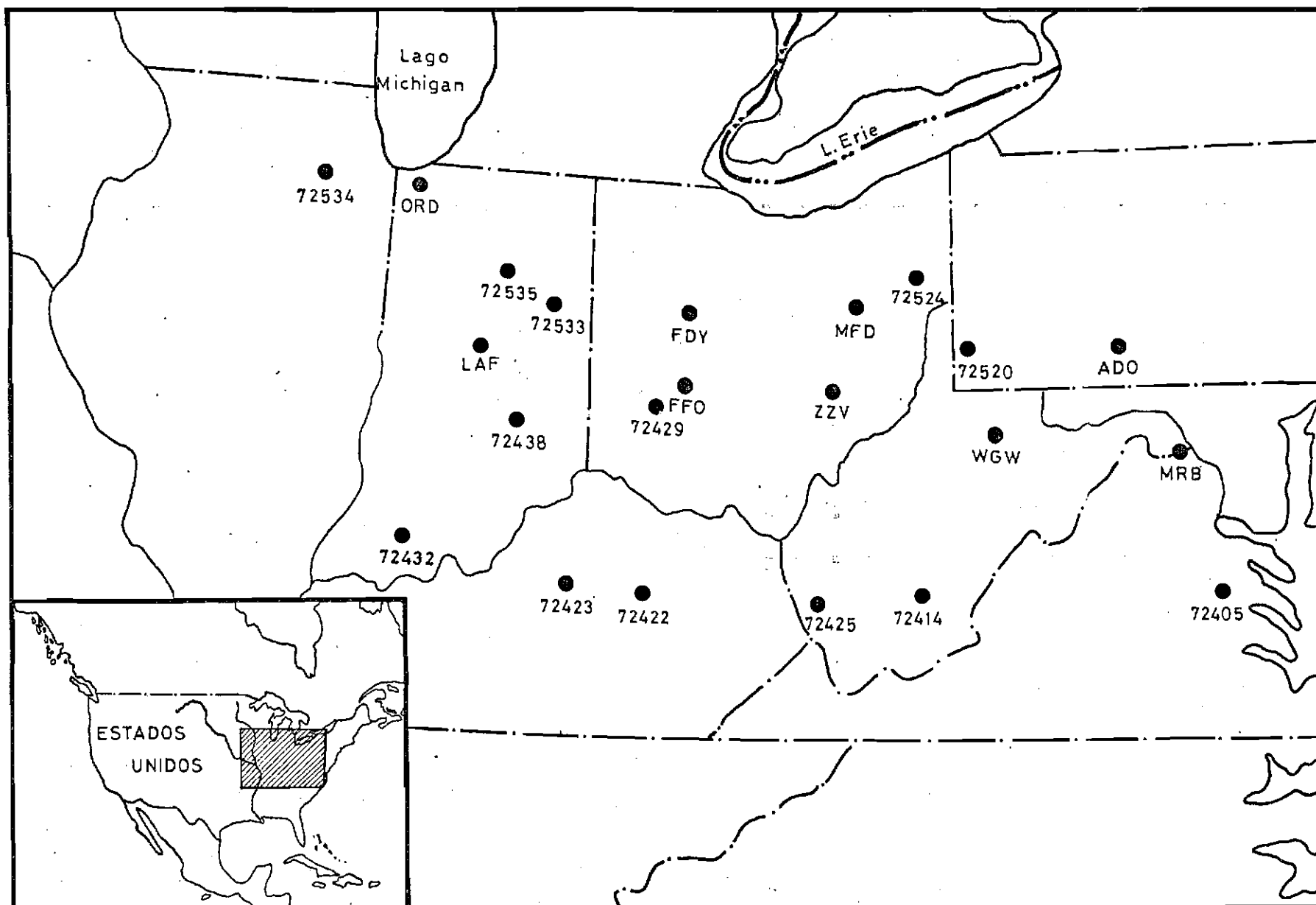


Fig.1 Ubicacion de las estaciones utilizadas

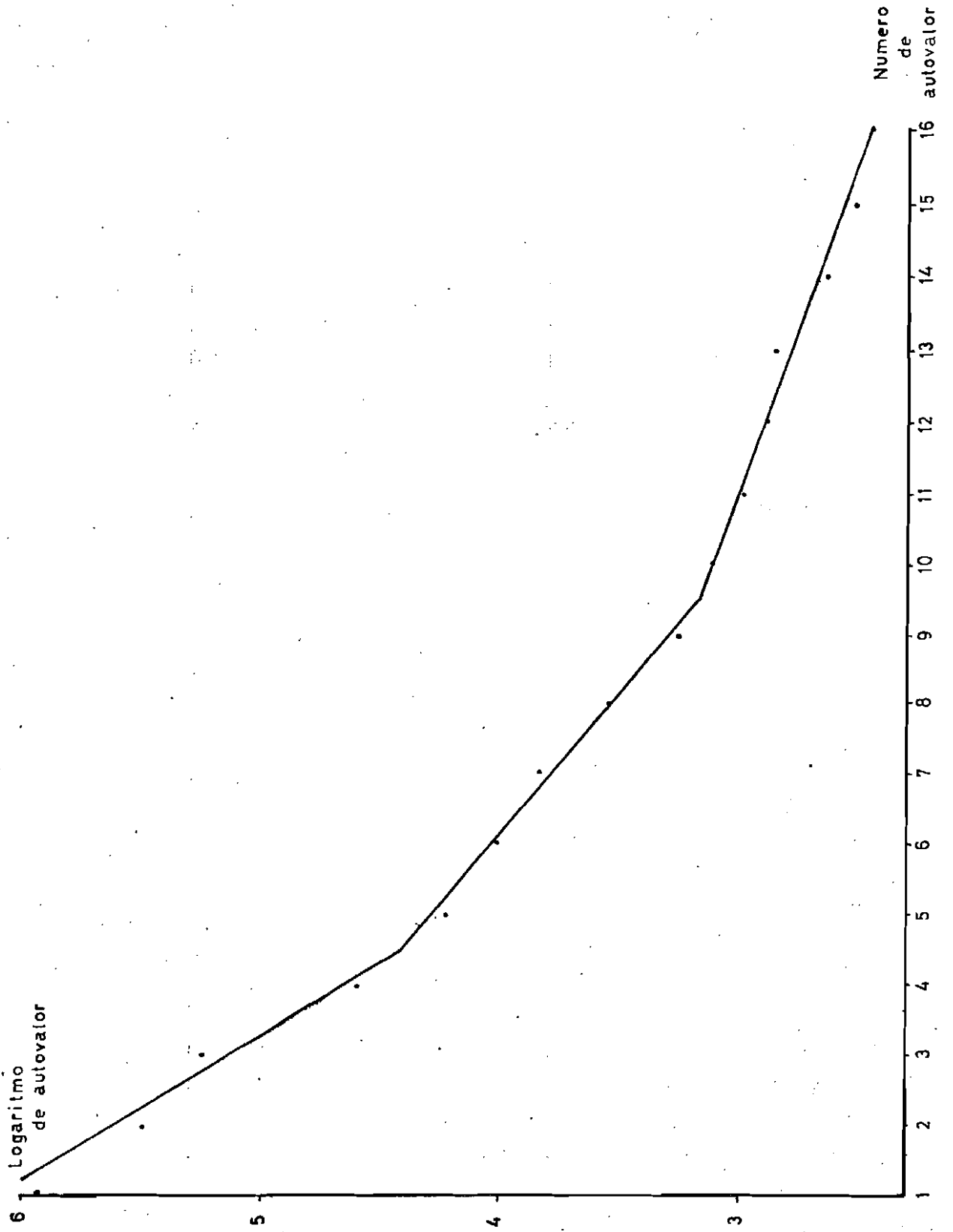


Fig.2 Magnitud de los valores

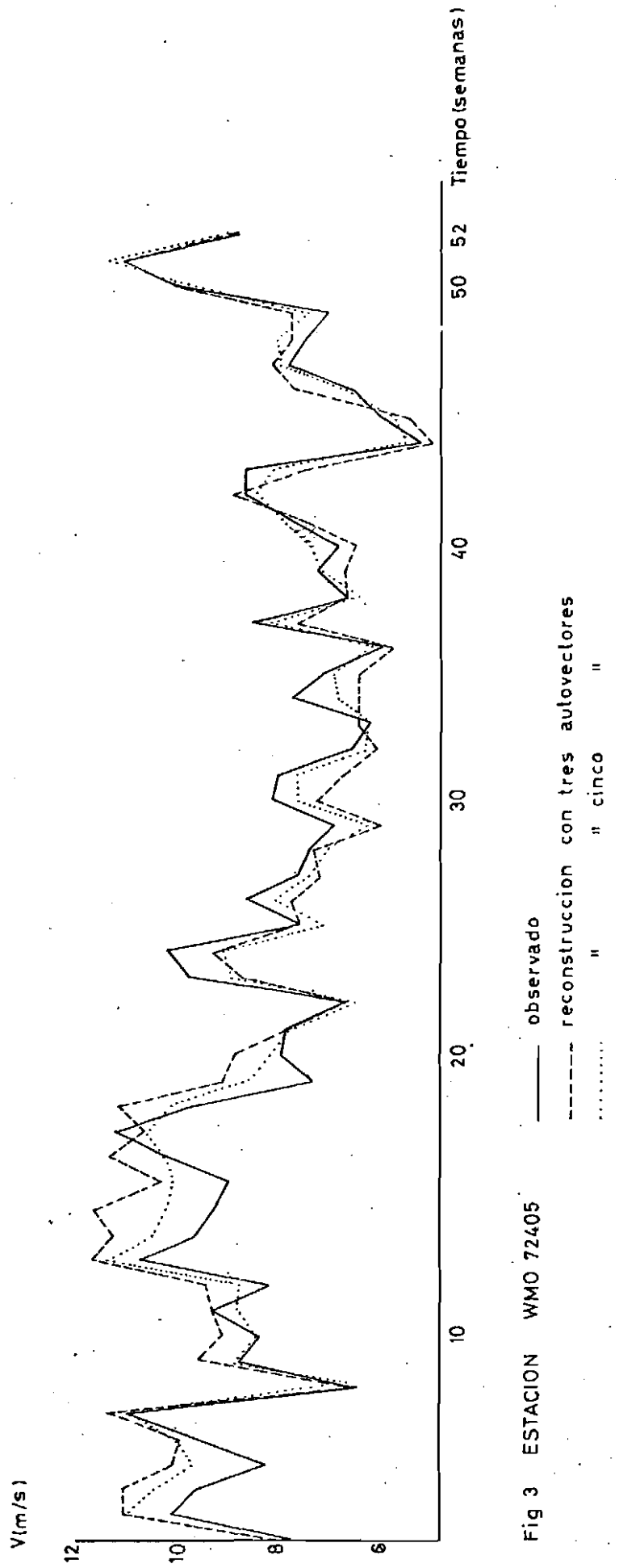


Fig 3 ESTACION WMO 72405

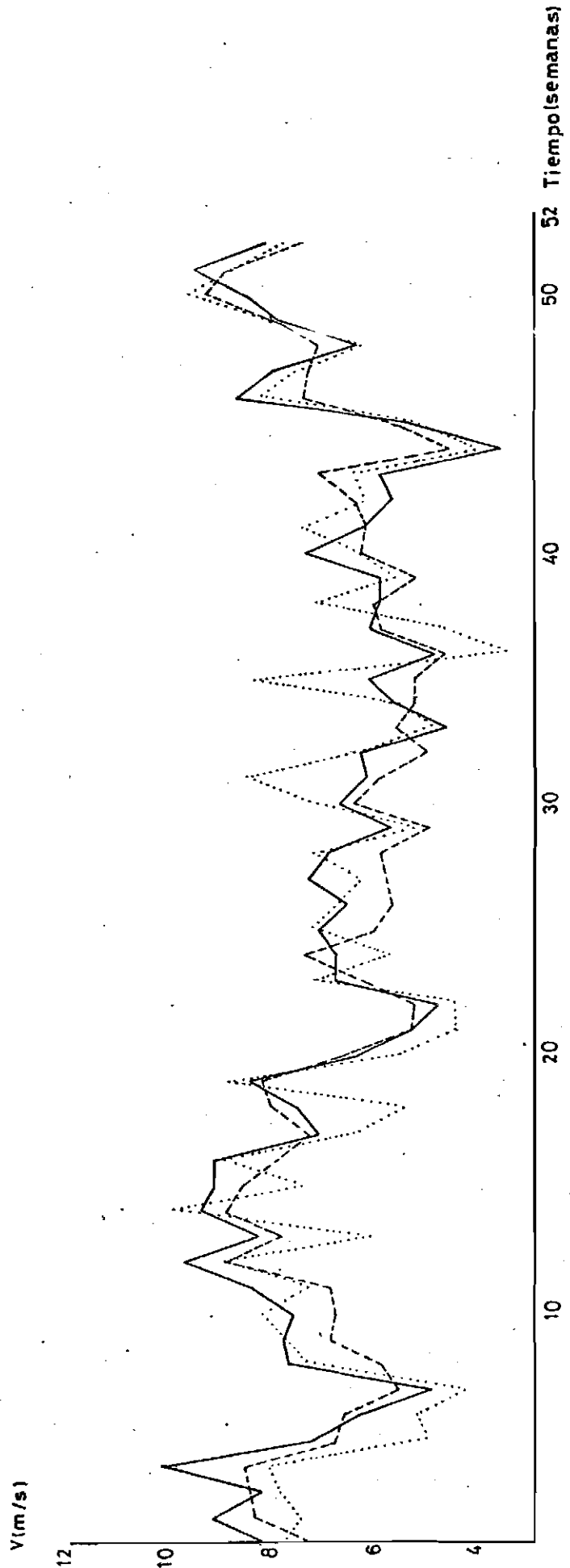


Fig 4: ESTACION WMO 72422 — observado  
 ----- reconstrucción con tres autovectores  
 ..... " " cinco  
 -.-.-.- " " diez

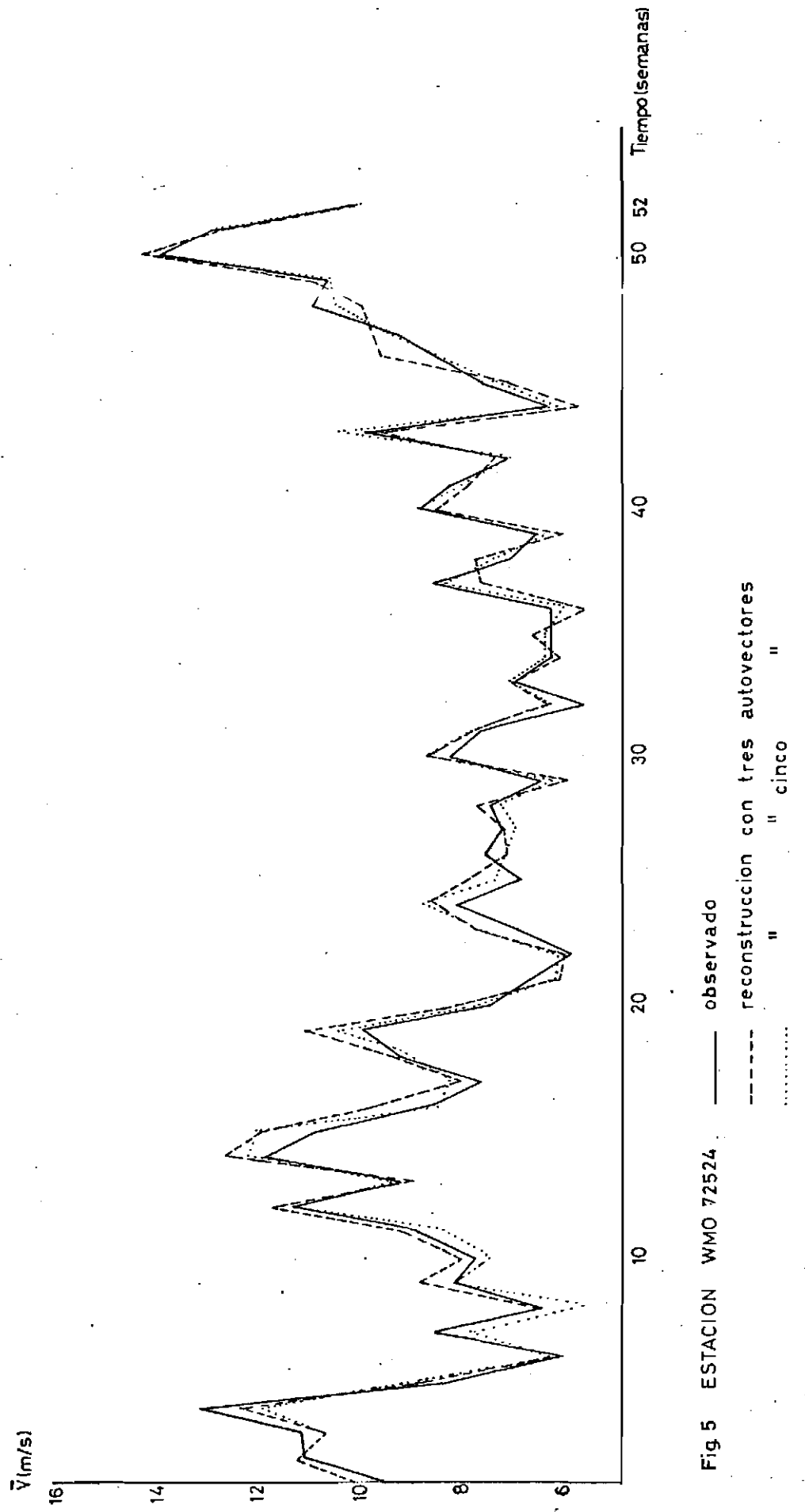


Fig 5 ESTACION WMO 72524. — observado  
 - - - - - reconstrucción con tres autovectores  
 ..... " " cinco  
 - · - · - " " cinco

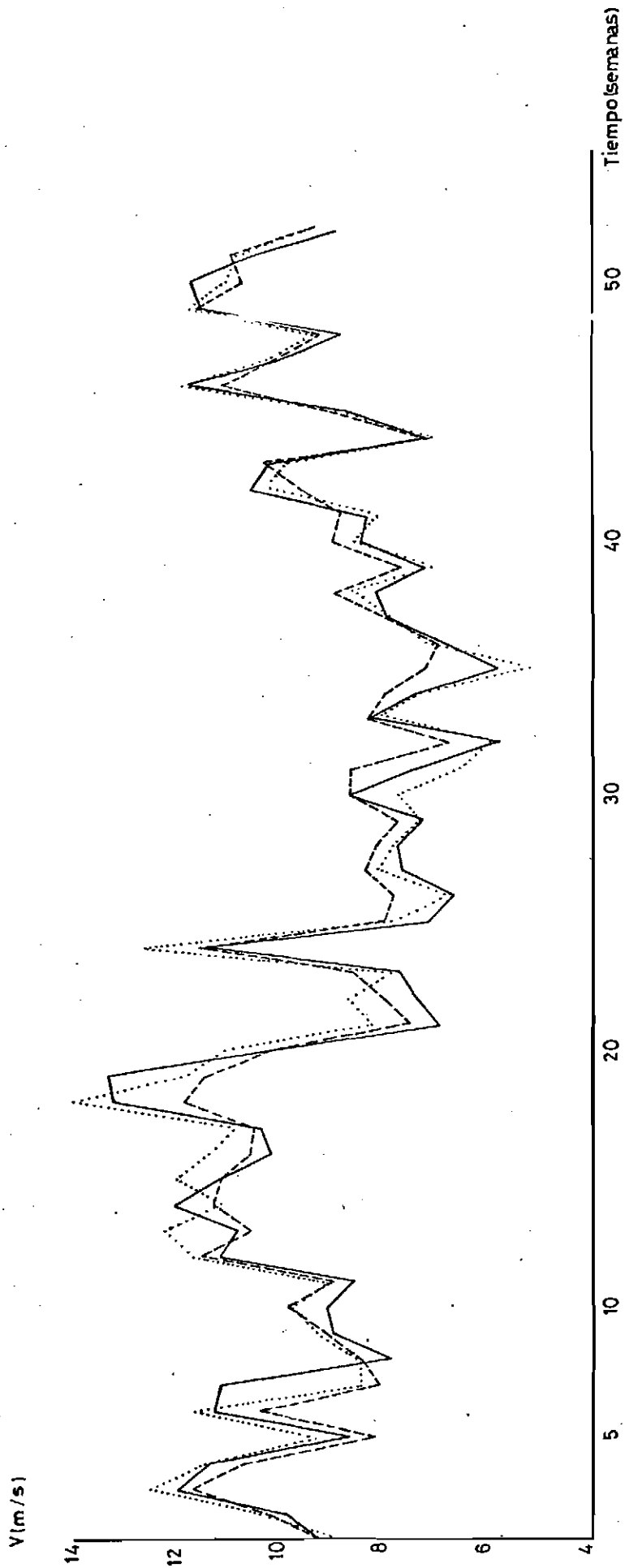


Fig 6 ESTACION ORD

- observado
- - - reconstrucción con tres autovectores
- ..... " " cinco "

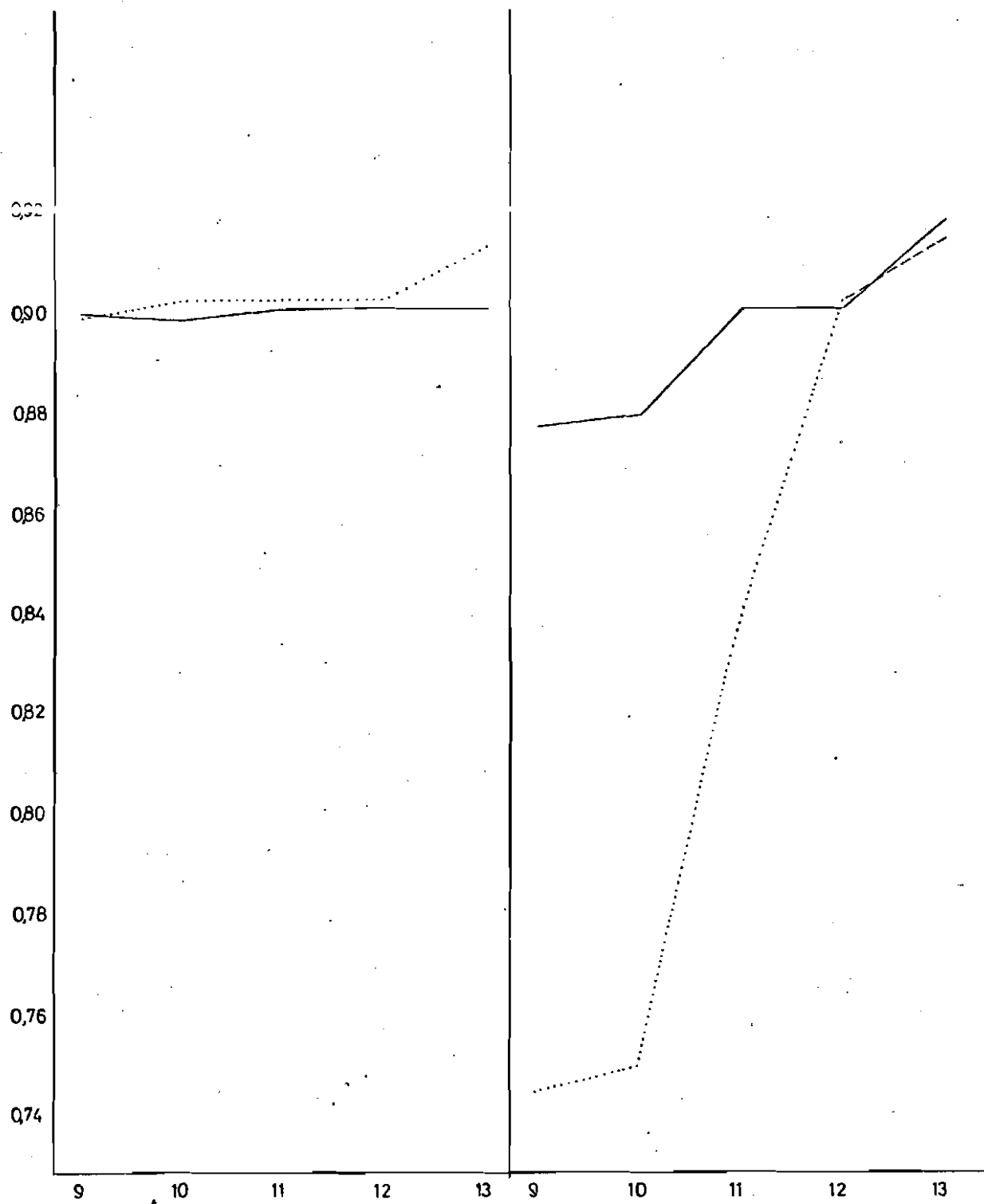


Fig 7 Coeficientes de correlacion en funcion del número de semanas  
 Promedio de todas las estaciones — 3 autovectores  
 ..... 5 "

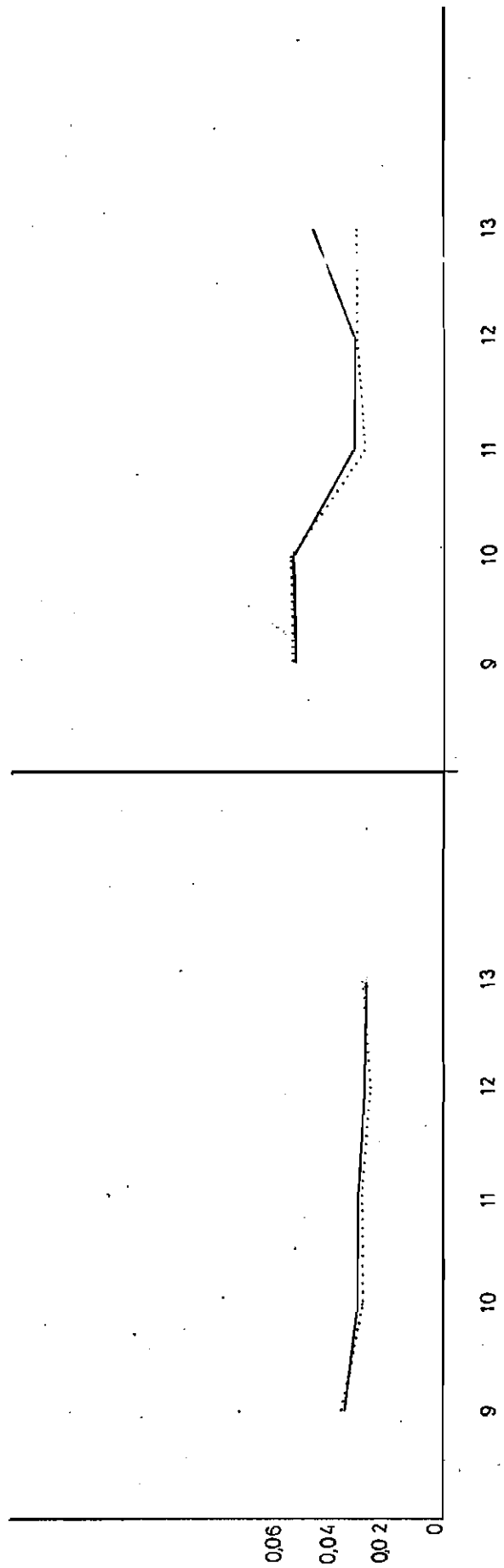


Fig 8 Promedio de los modulos de los errores relativos del valor medio para las 22 estaciones en funcion del numero de semanas — 3 autovectores ..... 5 "

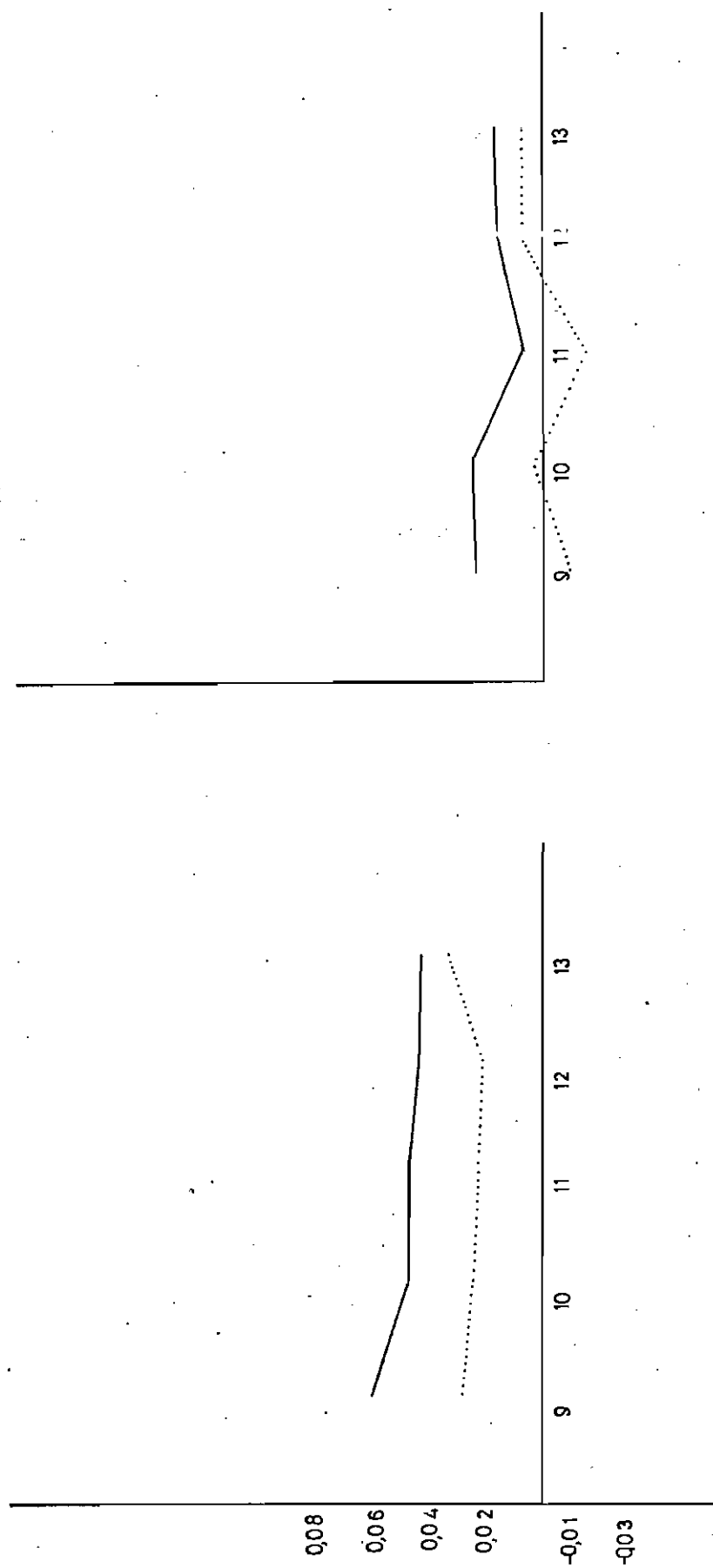


Fig.9 Error relativo del valor medio Estacion WMO 72524 en funcion del numero de semanas

— 3 autovectores  
 ..... 5

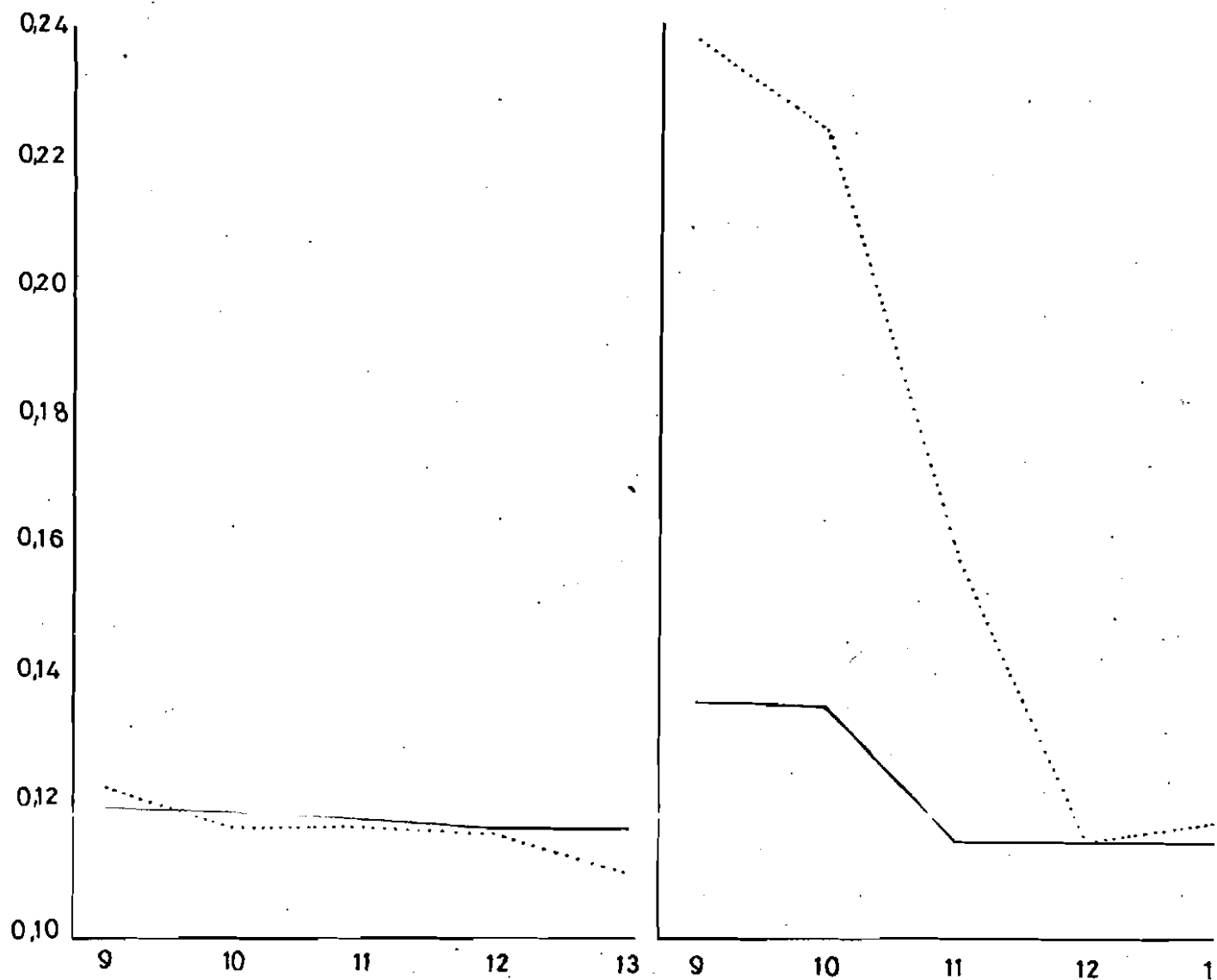


Fig.10 Error relativo cuadrático medio  
 Promedio para todas las estaciones ——— 3 autovalores  
 ..... 5 " "

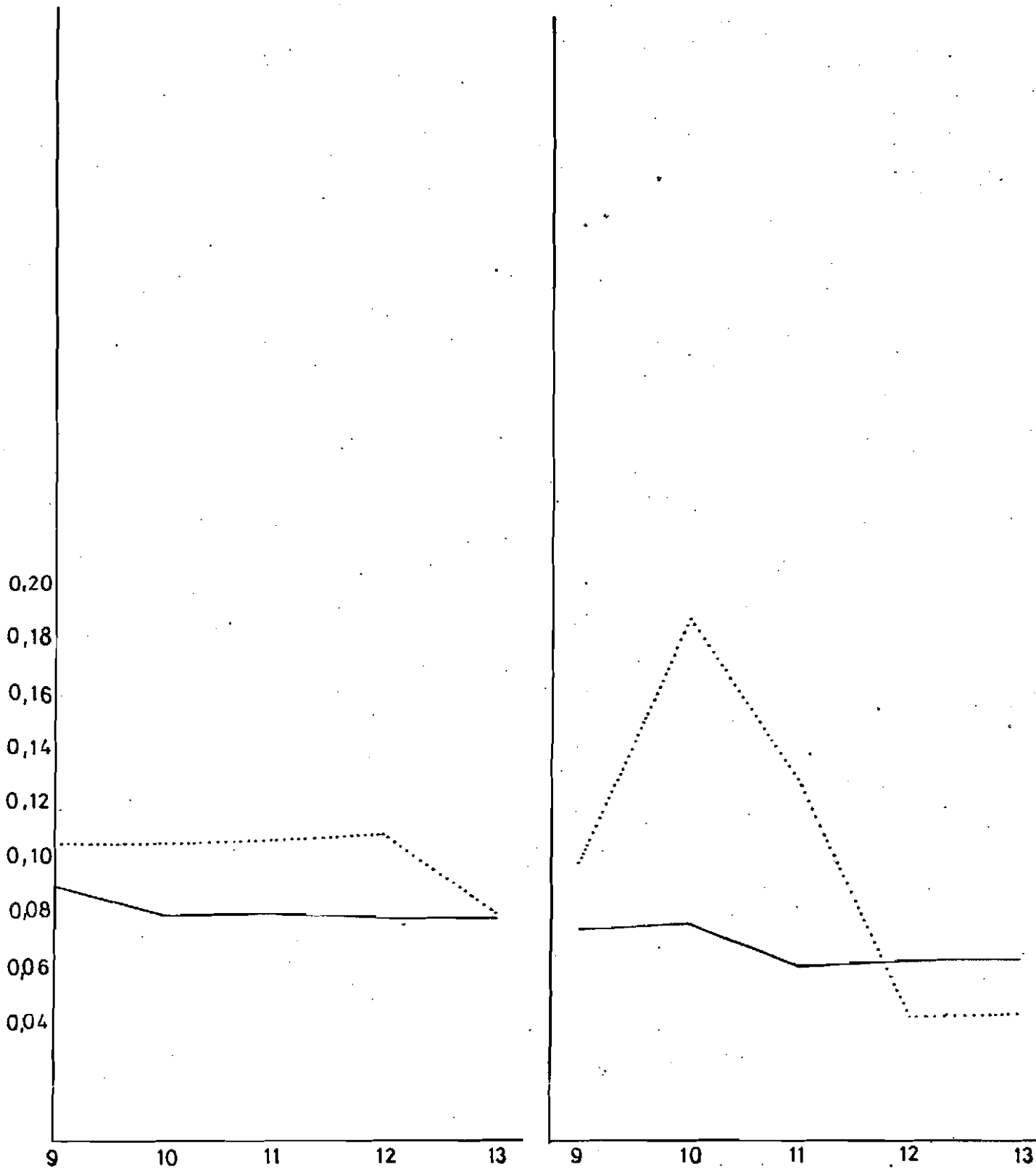


Fig 11 Error relativo cuadratico medio  
ESTACION WMO 72524

— 3 autovectores  
 ..... 5 " "