

VIENTOS MAXIMOS DEBIDOS A CICLONES TROPICALES

JORGE SANCHEZ SESMA

TESIS

Presentada a la División de Estudios de
Posgrado

FACULTAD DE INGENIERIA

de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Como requisito para obtener
el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA
(MECANICA TEORICA Y APLICADA)

CIUDAD UNIVERSITARIA, A 11 DE JUNIO DE 1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.




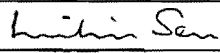
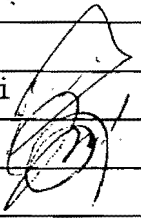
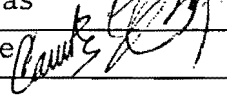
DEPFI

T. UNAM
1985
SAN

VIENTOS MAXIMOS DEBIDOS A CICLONES TROPICALES

Créditos asignados a la tesis 10 (diez)

APROBADOS POR EL JURADO

Presidente:	Dr. Enzo Levi Lattes	
Vocal:	Dr. Mihir Sen	
Secretario:	Dr. Jaime Cervantes de Gortari	
Suplente:	Dr. José Luis Fernández Zayas	
Suplente:	Dr. Carlos Rangel Nafaile	

Vientos máximos debidos
a ciclones tropicales

por

Jorge Sánchez Sesma

INDICE

	pagina
RESUMEN	3
NOMENCLATURA	4
1 INTRODUCCION	6
2 ANTECEDENTES	8
3 CARACTERISTICAS DE LOS CICLONES TROPICALES	10
3.1 Mediciones	
3.2 Descripción de las variables principales	
4 METODO PARA ESTIMAR VIENTOS CICLONICOS MAXIMOS	16
4.1 Modelos fluidodinámicos	
4.2 Modelos probabilistas	
4.3 El método propuesto	
5 EJEMPLO DE APLICACION	22
5.1 Información manejada	
5.2 Historia de los vientos ciclónicos máximos.	
5.3 Probabilidades asociadas al viento.	
6 COMPARACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	24
7 CONCLUSIONES	26
AGRADECIMIENTOS	27
REFERENCIAS	28
TABLAS Y FIGURAS	31

RESUMEN.

Se presenta un método para definir probabilidades de excedencia de las velocidades máximas del viento causadas por ciclones tropicales. En este método se reconstruye la historia de los vientos máximos anuales causados por los ciclones en los sitios de interés, directamente de la información de trayectorias e intensidades ciclónicas. Para ello se utiliza un modelo fluidodinámico del campo de vientos ciclónico. Un tratamiento probabilista de la historia reconstruida de vientos ciclónicos, permite estimar los valores máximos en un sitio específico asociados a diferentes probabilidades de excedencia. Estas estimaciones son de gran utilidad para el diseño estructural.

Se presentan los antecedentes del método, se discuten las características de interés de los ciclones tropicales, y los modelos utilizados para representar su comportamiento. Se describen los modelos fluidodinámicos y probabilistas empleados y se dan los pasos a seguir para llevar el método a la práctica.

Se aplica el método propuesto para determinar los vientos máximos en más de 50 sitios costeros de E.U.A. y México. Se discuten los resultados obtenidos y se comparan con dos juegos de resultados semejantes de investigadores extranjeros basados en otro método. Se discuten las ventajas y limitaciones del método aquí presentado y se recomiendan algunas acciones tendientes a mejorarlo.

NOMENCLATURA

A	coeficiente de la expresión probabilista lineal	
B	coeficiente de la expresión probabilista lineal	
c_1, c_2, c_3	coeficientes de la expresión del radio de velocidades máximas	
D	parámetro de la distribución de presiones atmosféricas superficiales del ciclón	
F I-J	relación entre velocidades del viento, sobre terrenos de diferentes características de rugosidad superficial, categorías I y J (ver tabla 3.1)	
G $\Delta t_1, \Delta t_2$	relación entre velocidades del viento para diferentes lapsos de promediación, Δt_1 y Δt_2	
H	relación entre velocidades a diferentes alturas	
f	coeficiente de Coriolis	
K	categoría de terreno, función de las condiciones superficiales (ver tabla 3.1)	
L	latitud geográfica	[grados]
N	periodo de retorno de las velocidades	[años]
p	presión atmosférica a una distancia r del centro.	[mb]
p_o	presión atmosférica en el centro del ciclón.	[mb]
p_n	presión atmosférica en la periferia del ciclón.	[mb]
$P(V > \hat{V})$	probabilidad anual de que la velocidad máxima \hat{V} , no sobrepase una velocidad V.	
r	radio de localización	[m]
r_n	radio normalizado ($r_n = r / R$)	
R	radio de velocidades máximas	[m]
$V(\Delta t, Z, K)$	velocidad del viento, correspondiente a un lapso de promediación t, a una altura sobre el terreno Z, y a un terreno tipo K.	[m/s]
\hat{V}	valor máximo anual de la velocidad del viento	[m/s]

V_g	velocidad del viento gradiente	[m/s]
V_t	velocidad de traslación del ciclón	[m/s]
V_c	velocidad ciclostrófica	[m/s]
X	variable auxiliar asociada a probabilidades	
Y	variable auxiliar asociada a velocidades	
Z	altura sobre el terreno	[m]
Z_g	altura gradiente sobre el terreno	[m]
α_I	exponente de variación del viento con la altura asociado a un terreno tipo I.	
β	ángulo que forman la dirección de traslación del ciclón con el radio de localización del sitio de interés, medido en sentido horario	
γ	parámetro de forma de las distribuciones extremas de probabilidad acumulada	[m/s]
Δt	lapso de promediación de la velocidad	[s]
θ	ángulo que forman la tangente al círculo concéntrico al ciclón y la dirección del viento superficial.	
μ	parámetro de localización de las distribuciones de probabilidad	[m/s]
ρ	densidad del aire	[kg/m ³]
σ	parámetro de escala de las distribuciones extremas de probabilidad acumulada	[m/s]

1 INTRODUCCION.

Los vientos que presentan los ciclones tropicales (huracanes y tormentas) al acercarse o entrar a las costas, son la causa de enormes daños humanos y materiales [1]. Con el fin de disminuir los daños causados por ciclones y otros fenomenos diferentes, sin recurrir a gastos extremos, recientemente se han utilizado métodos probabilistas en el diseño estructural [2]. Estos métodos, utilizando las probabilidades de la resistencia de la estructura y de las acciones externas (sismo, viento, temperatura, peso, etc), permiten diseños donde el riesgo o probabilidad de falla de la estructura a lo largo de su vida útil se puede cuantificar y manejar como variable de decisión. Con el fin de proporcionar datos suficientes para el diseño estructural en sitios afectados por ciclones es necesario definir en las costas distribuciones de probabilidad asociadas a los vientos máximos de ciclón.

Se han realizado numerosos estudios [3,4,6,7,8 y 12], para resolver este problema, de los cuales se han generado procedimientos y métodos para definir las probabilidades de excedencia de las velocidades ciclónicas máximas. Sin embargo, algunos de esos estudios presentan limitaciones y los otros requieren de información y estudios meteorológicos no siempre disponibles.

Esta tesis describe la la versión mejorada del método, desarrollado por el autor y presentado en la referencia 12, para obtener los valores máximos del viento ciclónico asociados a diferentes probabilidades de excedencia, partiendo de la información meteorológica disponible. La primera versión de este método ha sido aplicada favorablemente en el estudio probabilista de los vientos ciclónicos sobre las costas nacionales, [12].

La versión del método, que aquí se presenta, utiliza modelos fluidodinámicos del campo de vientos ciclónicos, mas completos que los utilizados en la primera versión. La comparación de los resultados obtenidos con la aplicación de la versión mejorada, en mas de 50 sitios a lo largo de la costa Atlántica de norteamérica, con otros resultados publicados basados en otro método, confirman la bondad del método presentado.

El método consiste en dos partes. Una parte, relativa a los procesos fluidodinámicos, consiste en reconstruir la historia de los vientos ciclónicos para determinar con ellos sus valores máximos. La reconstrucción se realiza mediante el empleo de modelos de las variables características del ciclón que permiten, a partir de la posición e intensidad de un ciclón dado, estimar el campo de vientos correspondiente. La parte relativa a los procesos probabilistas, consiste en ajustar a la información del viento los modelos empleados en el estudio de valores extremos considerando diferentes lapsos

de muestreo y en seleccionar, mediante un análisis numérico y gráfico, el mejor.

En el capítulo 2, se plantean los antecedentes del método. El capítulo 3, describe brevemente los estudios y modelos ciclónicos. El capítulo 4 presenta el método para determinar los vientos ciclónicos máximos. El capítulo 5 muestra una aplicación del método en 53 sitios de las costas atlánticas de Estados Unidos y México, y en el capítulo 6 se discuten y comparan los resultados obtenidos. Por último, en el capítulo 7 se dan las conclusiones.

2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Se han realizado varios estudios para definir los valores máximos que presenta el viento ciclónico en las costas. A continuación se señalan y comentan los estudios relativos al presente trabajo que se consideran mas importantes.

En 1968 Thom [3], presentó un método general para el cálculo de velocidades máximas del viento en zonas afectadas o no por ciclones. En ese método se recomiendan distribuciones de probabilidad, cuyos parámetros son función de los valores estadísticos de la velocidad del viento. Posteriormente el mismo autor [4] recomendó una versión modificada del mismo método y lo aplicó en la zona norte del Pacífico. Sin embargo, ese método es criticado por falta de bases meteorológicas en la definición de los parámetros utilizados y por la discordancia de resultados con otros estudios [5].

En 1971, Roussell [6], aplica el método de simulación probabilista para determinar las velocidades ciclónicas en un sitio de la costa de Texas. Este método se ha aplicado para la determinación de vientos ciclónicos en otras áreas de E.U.A. [7], Australia y Asia [8]. En 1983 Giorgiu et al [8] utilizaron también el método de simulación para la determinación de vientos ciclónicos, redefiniendo algunas de las distribuciones de probabilidad de las principales variables involucradas. En esa misma publicación se muestran los vientos ciclónicos a lo largo de la costa atlántica de E.U.A. Los métodos de simulación requieren de las distribuciones probabilistas de las variables que caracterizan al fenómeno en estudio. Para determinar las probabilidades de esas variables características se cuenta con estudios [9,10], donde se define en sentido probabilista a los ciclones que han afectado la costa atlántica de los E.U.A.

En 1981, se inició un proyecto de investigación en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), que tuvo por objeto actualizar y revisar los parámetros y métodos involucrados en el diseño ante viento de líneas de transmisión eléctrica. Como parte fundamental de dicho proyecto, se realizó un estudio exhaustivo de la información de vientos máximos para definir sus valores extremos en todo México. Para determinar los valores máximos del viento debidos a ciclones en las costas, se adquirió información de los vientos máximos mensuales, recabada por el Servicio Meteorológico Nacional a través de sus observatorios costeros, e información de la posición e intensidad de los ciclones tropicales en los Océanos Atlántico y Pacífico, recabada por el Centro Nacional de Huracanes de los E.U.A. [11]. Con la información de posición e intensidad de los ciclones se realizó una reconstrucción de sus vientos en las costas nacionales, mediante un procedimiento desarrollado por el autor y descrito en la referencia 12. Para ello, se utilizaron dos modelos muy simples del ciclón, uno de la distribución de las velocidades superficiales considerándolas axisimétricas y otro del radio

de vientos máximos considerado función de la velocidad máxima superficial y de la latitud del ciclón [12]. Los resultados de la reconstrucción fueron razonablemente cercanos a las mediciones hechas en tierra, como lo muestra para Tampico Tamps. la figura 2.1. En esa figura, un polígono une los valores de la historia reconstruida del viento ciclónico y con marcas se señalan los máximos registrados en el observatorio meteorológico de ese sitio.

También, como parte del proyecto de investigación antes mencionado, se determinaron las velocidades máximas de ciclón para diferentes probabilidades de excedencia, a lo largo de la costa mexicana, aplicando modelos probabilistas a la información del viento, tanto a la registrada directamente por los observatorios costeros como a la reconstruida a partir de la información extranjera de la posición e intensidades ciclónicas. Comparaciones de dichos resultados permitieron definir factores correctivos de los resultados del proceso de los vientos reconstruidas a lo largo de la costa que consideran tanto las imprecisiones de la información manejada, como las de los modelos utilizados. Los resultados finales de dichos estudios permitieron la creación de mapas de México con la distribución de velocidades máximas del viento de diferentes períodos de retorno [13]. En la figura 2.2 se muestra uno de dichos mapas de velocidades máximas, correspondiente a un período de retorno de 200 años, esto es, corresponde a los valores máximos del viento que se estima se exceden en promedio cada 200 años. Ese mapa muestra en las costas, diferencias muy grandes en las velocidades máximas, debidas fundamentalmente a la heterogenea influencia de la incidencia de ciclones a lo largo de las costas.

Cabe enfatizar que tanto los métodos de simulación probabilista utilizados en el extranjero [4,5,6,7 y 8], como el método de cálculo empleado en México [12] requieren para su uso de la historia de las velocidades ciclónicas máximas en los sitios costeros de interés. La forma en que estos métodos obtienen dicha historia es diferente. En los métodos de simulación se obtiene una historia ficticia de los vientos de ciclón con base en modelos probabilistas de la ocurrencia y de las variables fluidodinámicas de los ciclones. En el método empleado en México se obtiene, aunque en forma aproximada, la historia de los vientos máximos directamente de la información meteorológica.

La sencillez que presenta el método de obtención de la historia de vientos ciclónicos desarrollado por el autor y aplicado en las costas mexicanas [12], justificaron la revisión y mejora del mismo, que aquí se presenta.

3 CARACTERISTICAS DE LOS CICLONES TROPICALES

Los ciclones tropicales son movimientos giratorios de grandes masas de aire y agua, que se originan en el mar sobre aguas templadas y se trasladan siguiendo los movimientos atmosféricos. Llegan a alcanzar dimensiones en su etapa de madurez, hasta de 15 km en la dirección vertical y de 1,000 km en la dirección horizontal. Al entrar o acercarse al terreno firme, los ciclones causan innumerables daños, ya sea por los fuertes vientos causados, por sus fuertes precipitaciones que causan inundaciones en lugares bajos, o por las marejadas que en conjunto provocan el viento y las bajas presiones centrales. Los ciclones se disipan cuando se separan de su fuente energética primaria, o sea las aguas oceánicas templadas; ya sea que se trasladen al norte a aguas más frías, o bien entren a tierra.

Los ciclones son vórtices de eje vertical con flujo inferior convergente y superior divergente [14]. En el centro del ciclón, existe una zona con baja presión y aire relativamente en reposo y seco que se denomina "ojo". Alrededor de este "ojo", existe una zona anular central donde convergen las corrientes superficiales y donde se producen fuertes lluvias y flujos ascendentes. Es en esta zona donde se presentan las velocidades máximas del viento. El flujo convergente suministra calor al centro del ciclón, a través del calor latente que libera su vapor al condensarse. Este calor asegura la distribución de densidades y consecuentemente las presiones y flujos para que continúe la existencia del ciclón. Suponiendo simetría axial, un ciclón puede representarse sobre un corte radial vertical, en cuatro zonas [15] (ver Fig. 3.1). La zona I corresponde al "ojo del ciclón, con aire caliente y seco con poca recirculación. La zona II contiene a los vientos y lluvias más intensos y es donde existe un fuerte flujo ascendente donde se libera el calor latente del vapor de agua. La zona III engloba al flujo giratorio asociado al gradiente radial de presiones. La zona IV contiene a la capa límite atmosférica donde el flujo circulatorio interactúa con la superficie terrestre (océano o tierra), en esta zona se presenta un flujo radial de aire caliente y húmedo.

Hay que señalar que en las partes externas tanto de las zonas II como de la III existe un movimiento descendente, que es pequeño y que equilibra al flujo ascendente de la zona II.

En la zona IV los efectos de fricción superficial son sumamente importantes, ya que al retardar éstos al flujo giratorio, y conservarse el mismo gradiente radial de presiones que mantiene el flujo superior (zona III), la fuerza centrípeta resultante genera un flujo radial acelerado, que como se ha dicho alimenta al ciclón.

3.1 Mediciones.

Conforme el tiempo pasa los sistemas de adquisición de información son más confiables. Lo anterior, es especialmente válido para el estudio de los ciclones tropicales. Hace más de un siglo, mediante los reportes de barcos mercantes y de algunas estaciones terrestres, se inició el proceso de medición de ciclones tropicales. En 1831 Redfield [16], publicó su primer artículo acerca de ciclones. Este autor, fué el que dedujo con base en las observaciones, la naturaleza rotatoria alrededor del centro de los vientos de ciclón, y el hecho de que los ciclones se trasladen como un todo. Hoy en día, los ciclones son medidos directamente por aviones o indirectamente a través de radar y fotografías de satélite. En la Fig. 3.2 se muestra esquemáticamente el incremento de las diferentes fuentes de información de ciclones en el Océano Atlántico norte a lo largo de los últimos 100 años [28].

El avance en las mediciones de las variables características de los ciclones, además de permitir un mayor conocimiento de las estructuras ciclónicas internas, también consecuentemente, ha apoyado el desarrollo de modelos para determinar el comportamiento ciclónico mecánica y termodinámicamente.

3.2 Descripción de las variables principales.

Esta sección describirá los modelos teóricos y experimentales que reporta la literatura, para definir las variables más significativas del campo de vientos ciclónico.

Presiones atmosféricas superficiales.

Una de las características más importantes de los ciclones es la distribución de presiones superficiales. Esta es aproximadamente axisimétrica, con sus valores mínimos en la parte central y que aumentan con el radio. La distribución de presiones superficiales, cuyo gradiente radial permite contrarrestar las fuerzas centrípetas dentro del ciclón, ha sido aproximada, según Scholoeimer [17], a la siguiente expresión:

$$p = p_o + (p_n - p_o) \cdot \exp\left(-r_n^D\right) \quad (3.1)$$

con esta expresión, el gradiente radial de presiones superficiales es:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -(p_n - p_o) \cdot D \cdot r_n^{-(D+1)} \cdot R^{-1} \cdot \exp\left(-r_n^D\right) \quad (3.2)$$

El mismo autor [17], recomienda un valor de 1 parámetro D de 1.0. Se sugieren en la literatura [18], valores teóricamente admisibles del mismo parámetro D, entre 1.0 y 2.5.

Viento gradiente.

El viento gradiente, es el viento que se presenta en la atmósfera, libre de la influencia de las rugosidades superficiales. El viento gradiente se presenta, en donde se dice que acaba la capa límite atmosférica, esto es a una altura que se le denomina "altura gradiente", Z_g .

Considerando el balance radial de fuerzas de presión, de inercia y de Coriolis y la influencia de la traslación en la geometría del flujo para la zona de vientos gradientes o zona III anteriormente descrita, se tiene [19]:

$$\frac{V_g^2}{r} + \left(f - \frac{V_t \cdot \text{sen} \beta}{r} \right) \cdot V_g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} = 0 \quad (3.3)$$

sustituyendo en esta expresión la (3.2) y despejando de ella al viento gradiente V_g , se tiene:

$$V_g = -k \cdot r / 2 + \left[(k \cdot r / 2)^2 + V_c^2 \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

donde:

$$k = f - (V_t \cdot \text{sen} \beta) / r \quad (3.5)$$

$$V_c^2 = \frac{-1}{\rho} \cdot (p_n - p_o) \cdot r_n \cdot \exp\left[-\frac{D}{r_n} \right] \quad (3.6)$$

Radio del viento máximo.

Una variable muy importante para definir el campo de vientos ciclónico es el radio del viento máximo, R , donde se presentan las velocidades mas elevadas. Los valores del radio del viento máximo dependen de varios factores como son la presión central mínima, la traslación, la latitud y la cercanía y forma de la tierra firme. Por ello, las mediciones del radio de viento máximo cuando no consideran las variables asociadas en conjunto no presentan patrones bien definidos [9,10]. Sin embargo, las mediciones del radio muestran la tendencia a incrementar conforme la presión central y la latitud aumentan, veanse las figuras 3.3 y 3.4.

Variación del viento en la capa límite.

Un estudio realizado recientemente [20], donde se analiza la estructura de los vientos ciclónicos, que considera las ecuaciones de movimiento, continuidad y turbulencia, ha determinado que no existen diferencias significativas entre las estructuras de la capa límite atmosférica de los vientos

ciclónicos y de los barostróficos hasta los 400 m de altitud. Gracias a esto, las expresiones siguientes (3.7 a 3.9), obtenidas del estudio de vientos intensos no ciclónicos, se consideran válidas para algunas de las variaciones de los vientos ciclónicos.

La velocidad del viento dentro de la capa límite superficial está asociada a otras variables. Por ello, la velocidad del viento en la capa límite superficial se acostumbra señalarla de la siguiente forma:

$$V(\Delta t, Z, K)$$

donde, las variables asociadas son: t el lapso de promediación, Z la altura sobre el terreno, y K el tipo de las rugosidades superficiales en el terreno (descritos más adelante, ver tabla 3.1)

Con base en estudios teóricos y experimentales se han definido expresiones para la variación de las velocidades del viento con la altura. Una de esas expresiones es la siguiente [22]:

$$V(\Delta t, Z_2, I) = V(\Delta t, Z_1, I) \left(Z_2 / Z_1 \right)^{\alpha_I} \quad (3.7)$$

El exponente α_I , depende tanto de la rugosidad superficial del terreno I , como del tiempo de promediación t , asociados [21]. Esta expresión es válida dentro de la capa límite atmosférica, cuya altura se le denomina "altura gradiente" o Z_g . La clasificación de los tipos de terreno conforme a sus rugosidades superficiales y los valores de los parámetros asociados se muestran en la tabla 3.1.

Aceptando la expresión 3.7 como válida para el campo de vientos ciclónicos, se puede con ella determinar la relación entre las velocidades superficiales en dos sitios cercanos a las mismas alturas Z , pero con diferentes condiciones de rugosidad superficial. Para ello se iguala las velocidades gradiente en los dos sitios y se despeja de esa ecuación la expresión buscada. Realizando lo anterior queda:

$$F_{I-J} = \frac{V(3600, Z, I)}{V(3600, Z, J)} = \frac{[Z_{gJ} / Z]^{\alpha_J}}{[Z_{gI} / Z]^{\alpha_I}} \quad (3.8)$$

Los valores del factor de ráfagas, o relación de velocidades máximas de diferentes tiempos de promediación, determinados para los vientos barostróficos se consideran válidos para los vientos ciclónicos. Así el factor de ráfagas a 10 metros de altura sobre el mar, para tiempos de promediación de 60 y 3600 seg, calculado según la ref 5, es igual a 1.14, esto es:

$$G_{60-3600} = \frac{V(60, 10, 0)}{V(3600, 10, 0)} = 1.14 \quad (3.9)$$

Vientos superficiales.

La máxima velocidad del viento ciclónico superficial registrada, para un tiempo de promediación de 1 min es de 90 m/s [13], y fué causada por el ciclón tropical "Inez", en 1961.

El flujo superficial que presentan los ciclones es causado por los flujos en las capas superiores. A diferencia de los vientos barostróficos donde existe una relación constante entre el viento gradiente y el viento superficial, los flujos ciclónicos superficiales no son proporcionales al flujo gradiente calculado por la expresión (3.4). Estas diferencias se deben como lo muestran los modelos numéricos de los ciclones [18], a la distorsión o influencia causada al flujo gradiente por el flujo radial descrito al inicio del capítulo.

Considerando lo anterior, para determinar la magnitud del viento superficial a partir de las velocidades gradiente se han obtenido diversas mediciones que han permitido relacionar al viento gradiente con el viento superficial. Resultados de unas de esas mediciones se muestran en la Fig. 3.5 [8]. Cabe mencionar que estos resultados concuerdan con los valores que se pueden calcular con los resultados del modelo anteriormente reportado [18].

Para el manejo de los resultados antes señalados entre el viento superficial y la velocidad del viento gradiente se define la siguiente expresión:

$$H = \frac{V(60, 10, 0)}{V_g} \quad (3.10)$$

Numerosas mediciones han sido llevadas a cabo para determinar el ángulo que forma el viento superficial en un sitio dentro del ciclón con la tangente al círculo concéntrico al ciclón en ese mismo sitio, 0. Algunas mediciones anteriormente señaladas se muestran en la gráfica 3.6 [19]. Estos valores medidos también concuerdan con los resultados de la ref. 15 obtenidos con modelos numéricos.

Ocurrencia.

Gracias a un estudio realizado de la frecuencia de ciclones en las costas japonesas de más de 1200 años [23], (Fig 3.7), se cuenta con el espectro de frecuencias de la ocurrencia de ciclones. Dicho espectro de frecuencias, señala bandas de frecuencias de mayor densidad alrededor de varios periodos, cercanos a los 100, 18, 6 y 3 años, (Fig. 3.8).

Un estudio también de la ocurrencia de ciclones, pero realizado para la costa de Texas [24] señala, con base en un estudio de autocorrelación de la información de mas de 150 años, frecuencias cuyos periodos son 3, 6, 12, 33, 44 y 85 años.

La ocurrencia de ciclones en su etapa inicial, está asociada a elevadas temperaturas oceánicas superficiales, mayores de 27 grados centígrados, las cuales se presentan en las latitudes bajas, como se muestra en la figura 3.9.

Una vez generados los ciclones se trasladan en trayectorias con patrones muy poco definidos. Se han analizado las trayectorias ciclónicas, para determinar sus frecuencias de ocurrencia para cada sitio o región y sus direcciones de movimiento principales [25,26]. En la Fig. 3.10 aparecen flechas que indican las direcciones promedio de ciclones y el grosor de esas mismas flechas indica la frecuencia de ocurrencia. Para las latitudes bajas, la dirección de los ciclones es generalmente hacia el oeste y para latitudes mayores de los 30 grados, el movimiento tiende a ser hacia el este. Estas tendencias en los movimientos de los ciclones, son las que presentan también los vientos superficiales a escala global denominados vientos alisios.

4 METODO PARA ESTIMAR VIENTOS CICLONICOS MAXIMOS.

La definición probabilista de los vientos ciclónicos en un sitio se puede realizar si se ajustan modelos probabilistas a la historia de los vientos ciclónicos máximos en el sitio de interés.

Considerando lo anterior, se consideró adecuado proponer un método en el que se reconstruyeran las intensidades máximas causadas en el pasado por los ciclones en los sitios de interés, para analizarlas de manera probabilista. Para ello, es necesario conocer la historia de las trayectorias e intensidades de los ciclones, y mediante un modelo de la distribución espacial o campo de velocidades, determinar los vientos consecuentes en los sitios de interés. Un posterior proceso probabilista de esos vientos permitirá asociar probabilidades con valores extremos de velocidad.

Este método intenta evitar al máximo los procesos indirectos y los consecuentes errores asociados. Para ello se recomienda valorar la variable de interés directamente de la información registrada de ciclones, a diferencia de lo que realizan los métodos de simulación, donde se obtiene una historia ficticia de los vientos ciclónicos máximos con base en procesos aleatorios y en modelos probabilistas de las variables de ocurrencia y del campo de viento ciclónicos.

Se señalan a continuación los modelos fluidodinámicos y probabilistas, necesarios para la aplicación de este método. Posteriormente se describe el método propuesto para la obtención de los vientos ciclónicos máximos asociados a diferentes probabilidades de excedencia.

4.1 Modelos fluidodinámicos

Se acepta el modelo de la distribución de presiones superficiales señalado en la expresión (3.1), utilizando, con base en las mediciones [17], el parámetro $D = 1$. Con esto, el gradiente radial de presiones superficiales es:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -(p_n - p_o) \cdot r_n^{-2} \cdot R^{-1} \cdot \exp(r_n^{-1}) \quad (4.1)$$

Para determinar la velocidad gradiente se acepta la expresión (3.3) valuada con $D=1$, [17].

$$V_g = -k \cdot r / 2 + \left[(k \cdot r / 2)^2 + V_c^2 \right]^{1/2} \quad (4.2)$$

donde:

$$k = f - (V_t \cdot \text{sen} \beta) / r \quad (4.3)$$

$$V_c^2 = \rho^{-1} \cdot (p_n - p_o) \cdot r_n^{-1} \cdot \exp[-r_n^{-1}] \quad (4.4)$$

Se acepta que la velocidad máxima del viento gradiente está asociada a la velocidad superficial máxima, y que se presenta en el radio del viento máximo con β igual a $\pi/2$.

Para el cálculo de la velocidad del viento superficial a partir de la velocidad gradiente y viceversa, se obtuvo de la grafica 3.5 [8], la siguiente expresión:

$$H = 0.64 + \exp[-r_n - 0.56 / r_n] \quad (r > 1) \quad (4.5.b)$$

$$H = 0.85 \cdot r_n^{2.5} \quad (r < 1) \quad (4.5.a)$$

Considerando las figuras 3.3 y 3.4 [9], se propone conservadoramente una expresión dimensional para el radio de velocidades máximas que es la siguiente:

$$R = 15 + 4 \left(p / 33.86 - 25 \right) + c_1 \left[(L - 35) / c_2 \right]^{1.8} c_3 \quad (4.6)$$

donde:

$$c_1 = 27, \quad c_2 = 8, \quad c_3 = 2.0; \quad (L > 35)$$

$$c_1 = -5.4, \quad c_2 = -12, \quad c_3 = 1.3; \quad (L < 35)$$

Para obtener el valor de R, con base en la ecuación 4.6 es necesario conocer el valor de la presión central p_o . En el caso que solo se cuente con registros de velocidades, el procedimiento para el calculo de R es el siguiente:

- I) asúmase $p_o = p_n$
- II) valúese R_o con la expresión 4.6.
- III) calcúlese el viento ciclotrófico máximo correspondiente a V_g y R, utilizando la expresión 4.2.
- IV) calcúlese el valor de p_o con la expresión 4.4
- V) regrésese al paso II

En los cálculos realizados se ha visto que este proceso converge en menos de 4 iteraciones.

Considerando la expresión 3.9, se acepta un factor de ráfagas sobre el mar, de 60 a 3600 s dado por la expresión siguiente:

$$G_{60-3600} = 1.14 \quad (4.7)$$

Considerando la expresión 3.8 y los valores del exponente α , tomados de la tabla 3.1, para las condiciones de mar y terreno abiertos se tiene:

$$F_{0-2} = 1.3 \quad (4.8)$$

La dirección del viento superficial, considerando los resultados experimentales de la figura 3.9 [19], puede ser aproximada a las siguientes expresiones:

$$\theta = \pi / 5 ; (rn > 1) \quad (4.8.a)$$

$$\theta = rn \cdot \pi / 5 ; (rn < 1) \quad (4.8.b)$$

4.2 Modelos probabilistas empleados

Se consideran tres diferentes distribuciones probabilistas que han mostrado un buen comportamiento en el análisis de valores extremos [5,27].

Se presentan a continuación los tres modelos recomendados:

a) Distribución de probabilidad de extremos del tipo I o de Gumbel (DPE I) Esta distribución se puede representar por la siguiente expresión [5]:

$$P(V > \hat{V}) = \exp \{ - \exp [-(V - \mu_I) / \sigma_I] \} \quad (4.9)$$

b) Distribución de probabilidad de extremos del tipo II o de Fréchet (DPE II) Esta distribución se puede representar por la siguiente expresión [5]:

$$P(V > \hat{V}) = \exp (- [(V - \mu_{II}) / \sigma_{II}]^{\gamma_{II}}) \quad (4.10)$$

c) Distribución de probabilidad de Weibull (DPE W) Esta distribución se puede representar por la siguiente expresión [27]:

$$P(V > \hat{V}) = 1 - \exp (- [(V - \mu_w) / \sigma_w]^{-\gamma_w}) \quad (4.11)$$

Los valores de la función P, se acostumbra manejarlos con otra variable denominada período de retorno y que se define de la siguiente forma:

$$N = [1 - P(V > \hat{V})]^{-1} \quad (4.12)$$

Para conocer los parámetros de las distribuciones de probabilidad se pueden transformar las ecuaciones 4.9 a 4.11 a expresiones lineales del tipo $Y = AX + B$, mediante los siguientes cambios de variable:

a) Distribución de probabilidad del tipo I (DPE I)

$$\begin{aligned} Y &= V \\ X &= -\ln(-\ln[P(V > \hat{V})]) \\ A &= \sigma_I \\ B &= \mu_I \end{aligned}$$

b) Distribución de probabilidad del tipo II (DPE II)

$$\begin{aligned} Y &= \ln(V - \mu_{II}) \\ X &= \ln(-\ln[P(V > \hat{V})]) \\ A &= -1/\gamma_{II} \end{aligned}$$

$$B = \ln(\sigma_{II})$$

c) Distribución de probabilidad del tipo III (DPE W)

$$Y = \ln(V - \mu_w)$$

$$X = \ln(-\ln[1 - P(V > \hat{V})])$$

$$A = -1/\gamma_w$$

$$B = \ln(\sigma_w)$$

Aplicando el método de mínimos cuadrados para ajustar una recta a la información, se encuentran los parámetros A y B de la recta y con ellos a los parámetros de la distribución en cuestión.

Para saber cual de los tres distribuciones se ajusta mejor a los datos, se utiliza el coeficiente de correlación de los ajustes. Entre más cercano este el valor del coeficiente de correlación a la unidad mejor se ajustará la distribución de probabilidad al comportamiento de los datos.

Sin embargo, debido a que el coeficiente de correlación es un indicador de carácter general, esto es, depende del comportamiento global de la información, en el análisis de resultados de ajustes probabilistas es conveniente considerar además de los valores del coeficiente de correlación las tendencias y errores de los modelos principalmente en la zona de valores mayores.

4.3 Descripción del método.

El método consiste en dos procesos básicos, uno consiste en valuar las velocidades ciclónicas máximas superficiales en los sitios de interés, y el otro en ajustar a esos valores los modelos probabilistas.

Es recomendable, por las características periódicas y aleatorias de la ocurrencia de los ciclones, manejar información recabada durante más de 85 años. Mientras más información se considere, aunque sea en la práctica muy difícil de realizar, se podrán tomar en cuenta mejor las influencias de las componentes periódicas que presenta la ocurrencia de ciclones a bajas frecuencias.

Cálculos fluidodinámicos

Para determinar la velocidad superficial en los sitios de interés a partir de la posición e intensidad de la tormenta, se realizan los siguientes cálculos:

1. Se calculan las posiciones, velocidades de traslación e intensidades ciclónicas para cada hora de vida de esas tormentas, se recomienda para ello el uso de funciones "spline" o algún otro método de interpolación, vease figura 4.1.



DEPFI

2. Para cada posición e intensidad ciclónica se deben calcular los vientos superficiales en los sitios de interés, con el siguiente procedimiento.
 1. Se calcula la velocidad gradiente máxima a partir de la velocidad superficial máxima, (expresión 4.5).
 2. Se calcula el radio del viento máximo, (expresión 4.6).
 3. Se calcula el viento ^{gradiente} ~~ciclotrónico~~ correspondiente, (expresión 4.2).
 4. Se valua el viento ciclotrónico para cualquier posición dentro del ciclón, esto es para diferentes valores de r_n y β , (expresión 4.4).
 5. Se valua el viento gradiente, (expresión 4.2).
 6. Se valua el viento superficial, (expresión 4.5).
 7. Se valua el viento promedio horario superficial con el factor de rafaga señalado en la expresión 4.7.
 8. Se valua la velocidad promedio horaria debida a ciclón sobre tierra, (expresión 4.8).
 9. Se almacenan los valores máximos anuales del viento ciclónico.

Cálculos Probabilistas.

Una vez con la información reconstruida de los vientos máximos anuales en los sitios de interés se procede a ajustar a ésta modelos probabilistas que representen su ocurrencia.

Para el ajuste de modelos probabilistas, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se ajustan a la información los 3 modelos probabilistas recomendados, utilizando lapsos de muestreo de 3 y 6 años.
2. Se selecciona el mejor de los ajustes recomendados, mediante un análisis gráfico y numérico. En ese análisis, se debe considerar lo siguiente:
 1. Coeficiente de correlación del ajuste
 2. Tendencias y errores del modelo en el rango de velocidades elevadas.

Una vez definida la distribución probabilista de las velocidades ciclónicas máximas, se cuenta con las herramientas necesarias para definir probabilísticamente las acciones que se espera generen los vientos ciclónicos.

Por otro lado, en la mayoría de los casos, además de los vientos ciclónicos otros vientos de origen diferente afectan a las estructuras. En esos casos, una de las posibilidades para definir las acciones del viento que se consideran en el diseño estructural, es, definir la distribución de probabilidades conjunta de cualesquier tipo de vientos, a partir de las distribuciones de probabilidad tanto de los vientos ciclónicos como de los no debidos a ciclón [5].

5 EJEMPLO DE APLICACION

Se ha aplicado el método propuesto para determinar las probabilidades de excedencia asociadas a los vientos ciclónicos máximos a lo largo de la costa atlántica de los E.U.A. y parte de la de México, véase figura 5.1. Para ello, se emplearon 3 algoritmos numéricos, (VELCIC, PROVELCIC, y GRAFAJEXT) desarrollados por el autor, en el Instituto de Investigaciones Eléctricas.

A partir de la información de trayectorias e intensidades de ciclones tropicales en el Atlántico Norte, el algoritmo VELCIC regeneró en mas de 50 sitios localizados en las costas, los vientos ciclónicos máximos de 1886 a 1981. Mediante el algoritmo PROVELCIC, se ajustaron distribuciones de probabilidad a los vientos regenerados, para estimar así los valores asociados a diferentes probabilidades anuales de excedencia. Los resultados del proceso fueron gráficos automáticamente mediante el algoritmo GRAFAJEXT, lo que facilitó el análisis de resultados.

5.1 Información manejada.

El Centro Nacional de Huracanes de E.U.A. ha recabado información de ciclones para el Oceano Atlántico Norte de 1886 a la fecha [28]. De esa información la correspondiente al periodo 1886-1981 fué proporcionada al Instituto de Investigaciones Eléctrica por el Centro Nacional de Huracanes de los E.U.A. en una cinta magnética, la cual es descrita en la tabla 5.1.

5.2 Historia de los vientos ciclónicos máximos.

La obtención de los vientos máximos en los sitios de interés se realizo mediante el algoritmo VELCIC. A partir de la información meteorológica, se calcularon mediante las expresiones mostradas en 4.2, los vientos en los sitios costeros para cada hora de la vida de los ciclones estudiados. Se generaron archivos que almacenaron los efectos máximos de los ciclones, la tabla 5.2 muestra parte de uno de esos archivos.

5.3 Probabilidades asociadas al viento.

Mediante el algoritmo PROVELCIC, se ajustaron distribuciones de probabilidad a la historia de vientos máximos, previamente regenerada y almacenada. Los ajustes se realizaron por el método de mínimos cuadrados previo cambio de variables, según lo planteado en 4.2. En las Figs. 5.2 y 5.3, obtenidas con el algoritmo GRAFAJEXT, se muestran gráficamente los ajustes probabilistas efectuados a la historia reconstruida de los vientos ciclónicos en 2 diferentes sitios de la costa. En esas figuras se señalan con curvas las estimaciones de velocidad de los 3 modelos ajustados a la información y con marcas la información utilizada.

En la Fig. 5.4, se muestran los resultados obtenidos para las velocidades ciclónicas máximas en parte de las costas mexicanas y norteamericanas, para 3 diferentes períodos de retorno. Los resultados están referidos a los sitios correspondientes, mediante la distancia de localización en millas náuticas a lo largo de la costa cuyos valores se indican en la figura 5.1. Los resultados fueron calculados utilizando la distribución extrema II, seleccionada del análisis numérico y gráfico de los resultados y corresponden al uso de un lapso de muestreo de 3 años. Los resultados escogidos presentaron coeficientes de correlación en promedio superiores a 0.98, sus valores se muestran en la figura 5.5.

6 COMPARACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos para el ejemplo de aplicación descrito en el capítulo anterior, se comparan y se discuten a continuación.

Los modelos fluidodinámicos y la información meteorológica empleados permitieron reproducir los vientos ciclónicos en los sitios costeros de interés en forma aproximada a lo registrado en tierra. Lo anterior se muestra en la figura 2.1 donde aparecen las velocidades máximas anuales para Tampico Tamps., estimadas utilizando el método que aquí se presenta [12], y las registradas en el sitio por el observatorio meteorológico.

No obstante ser baja la aproximación de los vientos ciclónicos máximos reproducidos en las costas, a los valores registrados, cuando se les considera individualmente, sus valores permitirán, mediante procesos probabilistas, estimar por lo menos, las tendencias de los valores máximos del viento ciclónico con mejor aproximación. Para mostrar lo anterior, se muestran en la figura 6.1 dos modelos probabilistas ajustados a las velocidades máximas anuales en Tampico Tamps. en el periodo 1941-1976. Los dos modelos de esa figura, corresponden a la distribución extrema II, uno se ajustó a las velocidades ciclónicas, reproducidas con el método aquí presentado, y el otro se ajustó a las velocidades registradas en el sitio por el observatorio meteorológico. En la figura, también aparecen los dos juegos de datos empleados. Las diferencias entre velocidades que señalan los 2 modelos obtenidos, son menores al 10%, para periodos de retorno hasta de 2000 años.

Respecto a los modelos probabilistas empleados, se puede decir que, en general presentaron un buen apego a la información, sin embargo en la zona de los valores mas elevados existían diferencias entre uno y otro modelo y con la información base. Lo anterior se muestra en las figuras 5.3 y 5.4. Se observa también en esas figuras que para los valores elevados de la velocidad del viento ciclónico, mientras la Dist. extrema I brinda estimaciones conservadoras y la Dist. Weibull las brinda arriesgadas, la Dist. extrema II brinda velocidades mas apegadas a la información siendo menos conservadora que la Dist. extrema I, pero sin dejar de serlo.

Para comparar los resultados obtenidos en el capítulo anterior, con los de otros métodos, en las figuras 6.2 y 6.3 se muestran tres juegos de valores del viento ciclónico máximo para la costa Atlántica de México y de E.U.A, correspondientes a periodos de retorno de 100 y 2000 años respectivamente. En dichas figuras aparecen las estimaciones del viento ciclónico realizadas con base en el método propuesto, y dos juegos de valores publicados en la literatura y obtenidos con el método de simulación probabilista [7,8]. Las estimaciones valuadas con el método propuesto, muestran las mismas tendencias que

presentan las estimaciones del método de simulación.

Las diferencias que presentan los resultados del método propuesto, con los de los métodos de simulación reportados en las referencias 7 y 8 se muestran en las tablas 6.1 y 6.2 para periodos de retorno de 100 y 2000 años respectivamente. Para el período de retorno de 100 años las diferencias calculadas con respecto a las referencias 7 y 8 fueron: en promedio de un 0.2 y -3.2% respectivamente, en promedio de los valores absolutos de 7.1 y 7.5 % respectivamente y los máximos de 27 y -23 % respectivamente. Para un periodo de retorno de 2000 años las diferencias que presentan en el mismo orden de comparación son en promedio de un 1.8 y -2.6% respectivamente, en promedio de los valores absolutos de 8.3 y 7.9 % respectivamente y los máximos de 37 y -23 % respectivamente.

Las diferencias antes comentadas, de los resultados del método propuesto con los publicados en la referencia 7, se deben en parte, a que éstos se reportan como "suavizados", o sea, con sus diferencias atenuadas, a lo largo de la costa. Puede pensarse que los resultados de la referencia 8, utilizados también en la comparación, hallan sido suavizados, pues aunque en esa referencia no se comenta nada al respecto, en la misma se comparan sus resultados con los de la referencia 7.

El apego y comportamiento similar de los resultados obtenidos a los publicados y obtenidos con el método de simulación eran de esperarse, pues tanto los resultados obtenidos aquí, como los resultados de la literatura se basan en las mismas fuentes de información y en los modelos fluidodinámicos disponibles. Sin embargo, la precisión y confiabilidad de los resultados aquí obtenidos se estima mayor que las correspondientes a los métodos de simulación. Esto se fundamenta en que los métodos de simulación requieren, con respecto al método aquí presentado, de mas información y de un número mayor de cálculos numéricos.

Los métodos de simulación al emplear las distribuciones probabilistas de las variables del campo de vientos (posición, magnitud y dirección de traslación, presiones centrales mínimas o velocidades máximas, y radio de velocidades máximas), requieren para su definición de mas información no siempre disponible, que la que el método aquí presentado utiliza. Estas distribuciones de probabilidad, además de las suposiciones implícitas en la aleatoriedad, presentan incertidumbres adicionales a las de la información manejada para su definición. El número de cálculos realizado con la información, primero para definir su distribución probabilista, y segundo para reconstruir con procesos aleatorios las velocidades máximas implica la realización de procesos mas elaborados que los realizados al calcular la velocidad del viento ciclónico directamente de la información, como lo plantea el método que aquí se presenta.

7 CONCLUSIONES

Se ha presentado un método que permite obtener de manera directa y simple estimaciones de las probabilidades de excedencia anual del viento ciclónico máximo en sitios de interés. La precisión de los resultados obtenidos con el método propuesto depende de la exactitud tanto de la información meteorológica empleada como de los modelos fluidodinámicos del campo de vientos utilizados.

El método propuesto brinda resultados para la costa Este de los E.U.A. y de México similares a los reportados en la literatura recientemente y obtenidos con el método de simulación. Sin embargo los procesos numéricos realizados con la información y los modelos fluidodinámicos cuando se utiliza el método aquí recomendado, son mas simples y directos que los realizados con los métodos de simulación empleados para obtener los resultados publicados. Se argumenta que esta simplificación, contribuye a evitar errores y a ampliar su aplicación a situaciones con relativamente escasa información.

Considerando tanto la comparación de velocidades máximas hecha para un sitio de la costa mexicana, mostrada en la figura 6.1, como la comparación de estimaciones de velocidades máximas a lo largo de la costa atlántica de E.U.A., mostradas en las figuras 6.2 y 6.3, se puede decir que, la aproximación actualmente alcanzable con el método propuesto para estimar probabilidades del viento ciclónico es del orden del 10%.

Para mejorar las estimaciones que se pueden hacer con el método propuesto, es necesario, principalmente, llevar a cabo las dos acciones siguientes: 1) verificar y ampliar en la medida de lo posible la historia meteorológica de los ciclones, y 2) mejorar los modelos ciclónicos para que consideren mejor entre otros, los efectos en el campo de vientos debidos tanto a la traslación como al terreno firme. Así, en la medida que el método incluya información y modelos ciclónicos mas actualizados y completos, se obtendrán mejores resultados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto de Investigaciones Eléctricas en general y al Dr. Andrés Rothhirsh en particular, el apoyo en tiempo y equipo de computo necesarios para la realización de este trabajo.

Se agradece al Dr. Mihir Sen su apoyo, comentarios y sugerencias para la realización de esta tesis.

Muy especialmente se agradece, al Dr. Jorge Aguirre Romano su apoyo, interés, críticas y sugerencias para el buen desarrollo de esta tesis.

REFERENCIAS

- 1 Thompson, P., y O'Brien, R., "Fenómenos Atmosféricos", Colección Científica Time Life, México, 1979.
- 2 Kachaturian, N., et al., "An introduction to structural optimization", Cohn M. Editor, University of Waterloo, 1969.
- 3 Thom, H.C.S., "Toward a universal climatological extreme wind distribution", Proceedings of Int. Res. Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, Ottawa, 1967; Univ. of Toronto Press, Vol. I, pp. 669 - 684, 1968
- 4 Thom, H.C.S., "Engineering climatology of wind speed with special reference to the Pacific area", Proceedings of USA-Japan Research Seminar, Hawaii, October 1970.
- 5 Simiu, E. and Scanlan R.H., "Wind effects on structures: an introduction to wind engineering". John Wiley & Sons, New York, 1979.
- 6 Russell, L.R., "Probability distributions for hurricane effects", Journal of the Waterways Harbors and Coastal Engineering Division, Proceeding of ASCE, Vol 97, No WW1, Feb. 1971.
- 7 Batts, M.R., Russell, L.R., and Simiu, E., "Hurricane wind speeds in the USA", NBS Building Science Series 124. Nat. Bur. of Standards, Washington 1980.
- 8 Georgiu, P.N., Davenport, A.G. and Vickery, B. J., "Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 13, pp. 139-152, 1983.
- 9 Graham, H.E. and Nunn, D.E., National Hurricane Research Project, Report No 33, Weather Bureau, US Dept. of Commerce, Washington D.C., 1959.
- 10 Ho, F.P., Schwerdt, R.W. and Goodyear, H.V., "Some climatological characteristics of hurricane and tropical storms, Gulf and East coasts of the United States", NOAA Tech. Rep. NWS 15, Washington D.C., 1975.
- 11 Aguirre, R.J., Sánchez-Sesma, J. y Villegas, V.A., "Las velocidades máximas del viento en México", III Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Morelia, Mich., Abril, 1982.

- 12 Aguirre, R.J., Sánchez-Sesma, J. y Villegas, V.A., "Procesamiento de la Información", Reporte Interno No. 6, Proyecto 3245, Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1982.
- 13 Sánchez-Sesma, J., Aguirre R.J. y Villegas, V.A., "Valores para el diseño de la velocidad máxima del viento en México", IV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Leon Gto., Marzo, 1984.
- 14 Miller, B.I., "Characteristics of hurricanes", Science, Vol. 157, No. 3795, pp 1389-1399, Sept. 22 1967.
- 15 Carrier, G.F., Hammond A.L., and George, O.D., "A model of the mature hurricane", J. Fluid. Mech., 47, 145-170, 1971.
- 16 Antes, R. "Tropical Cyclones". Monografía en Ciencias Atmosféricas e Hidrológicas, Vol. 1, Editor Omar A. Luero, Universidad Veracruzana, Fac. de Física, Centro de Meteorología Aplicada, 1979.
- 17 Scholoeimer, R.N., "Analysis and synthesis of hurricane wind paterns over Lake Okeechobee, Florida", U.S. Weather bureau, Hydrometeorological Report, No 31, March , 1954.
- 18 Holland, G.J., "An analytical model of the wind and pressure profiles in hurricanes", AMS, Monthly Weather Review, Vol 108, No. 8, August 1980.
- 19 Springall, R.G., "Estudio y análisis estadístico del oleaje producido por huracanes en el Sureste del Golfo de México", Instituto de Ingeniería, UNAM, Reporte No. 361, Diciembre 1975.
- 20 Simiu, E., Patel, V.C., and Nash J.F., "Mean wind profiles in hurricanes", J. Eng. Mech. Div. ASCE, Vol. 102, No. EM2, Proc. paper 12044, April 1976.
- 21 Australian Standard, Minumum design loads on structures (SAA Loading Code). Part 2, Wind Forces AS 1170, Part 2-1981.
- 22 Davenport, A.G., "Wind structure and wind climate", Safety of structures under dynamic loading, Norwegian Institute of Technology, Trondheim, 1978.
- 23 Ishizaki, H., "Wind damage and wind load problems in Japan", Proceedings of USA-Japan Seminar, Wind Loads on Structures, Hawaii, 1980.
- 24 Russell, L.R., and Schueller, G.F., "Probabilistic models for the Texas Gulf coast hurricane - ocurrences", Journal of Petroleum Technology,



DEPFI

March 1974.

- 25 Colón, J.A., "A study of hurricane tracks for forecasting purposes", AMS, Monthly Weather Review, Vol. 81, No. 3, March 1953.
- 26 Crutcher, H.L., and Quayle, R.G., "Mariners worldwide climate guide to tropical storms at sea", NAVAIR 50-ic-61, Naval Weather Service Command. March 1974.
- 27 Weibull, W., "A statistical theory of the strength of materials", Ing. Vetenskaps Akademan, Honlinger, Stockholm, No. 151, 1939.
- 28 Jarvinen, B.R. and Caso, E.L., "A tropical cyclone data tape for the north atlantic basin, 1886-1977: contents, limitations and uses". NOAA Tech. Mem. NWS NHC 6. National Hurricane Center, Miami, 1978.

CATEGORIA (I)	DESCRIPCION	EJEMPLOS	α_I	Z_g [m]
0	terreno plano sin obstáculos	mar abierto	0.09	220
1	terreno plano con obstáculos pequeños y esca- sos, menores de 1.5 m	desiertos pantanos playas	0.12	250
2	terreno plano con obstáculos medianos, con al- turas de 1.5 a 10 m.	sembrados campo abierto	0.16	320
3	terreno plano con obstáculos con dimensiones de 10 a 30 m.	bosques, zonas indus- triales, orillas de ciudades	0.24	380
4	terreno plano con obstáculos con dimensiones mayores a los - 30 m.	centros de grandes ciudades	0.33	450

Categorías de terrenos atendiendo su rugosidad superficial, y parámetros asociados. El lapso de promediación asociado al exponente α_I , es una hora.

Tabla 3.1

año	velocidad máxima anual [m/s]							
	N-NE	NE-E	E-SE	SE-S	S-SW	SW-W	W-NW	NW-N
1886	22.5	18.6	2.8	1.8	1.4	1.0	20.0	21.4
1887	3.4	0.0	0.8	0.3	0.3	3.6	3.6	2.1
1888	11.6	3.2	1.8	24.3	25.6	12.9	31.7	33.3
1889	0.0	14.9	15.7	11.8	14.4	13.6	1.3	1.2
1890	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1891	23.3	2.1	12.4	18.9	17.9	5.3	0.2	24.5
1892	0.0	0.0	2.3	7.6	8.4	7.0	1.1	0.0
1893	0.0	0.0	0.2	0.6	0.7	4.5	6.3	3.1
1894	0.0	5.2	7.0	6.2	4.0	1.1	0.8	0.8
1895	17.2	16.5	13.8	9.7	9.2	7.4	11.3	16.2
1896	0.0	0.0	1.9	6.5	7.3	6.0	1.8	2.2
1897	0.0	0.0	4.3	3.7	3.6	0.9	0.6	0.0
1898	0.0	0.0	0.0	5.4	7.9	9.3	7.0	2.9
1899	3.7	0.0	0.4	0.8	0.8	10.0	10.9	10.5
1900	0.0	4.9	4.9	2.6	0.6	0.3	0.8	1.2
1901	0.0	0.0	0.8	2.6	12.0	13.2	13.0	10.9
1902	0.0	0.0	0.9	1.1	0.7	0.1	0.0	0.0
1903	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	20.2	19.7	15.0
1904	14.1	0.0	12.0	19.0	20.0	21.9	21.0	18.8
1905	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1906	3.9	17.7	34.1	35.9	32.3	33.1	20.7	2.1
1907	2.9	3.2	2.8	0.9	0.5	0.4	0.0	0.0
1908	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	9.1	9.7
1909	0.0	0.0	3.3	4.4	4.4	9.6	11.5	4.9
1910	0.0	0.0	6.2	9.2	7.8	0.5	0.0	0.0
1911	0.0	0.0	0.5	3.2	0.4	0.5	0.5	0.0
1912	0.0	0.0	0.5	0.9	1.0	0.6	0.5	0.0
1913	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0
1914	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.7	1.7	1.0
1915	0.0	0.0	1.3	1.2	1.5	2.5	0.0	0.0
1916	10.8	0.0	0.1	0.2	1.4	7.9	8.3	10.2
1917	0.0	0.0	0.6	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0
1918	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0
1919	5.2	5.6	3.8	0.8	0.3	0.0	0.0	2.6
1920	0.0	0.0	1.2	0.7	0.8	0.4	0.3	0.0
1921	0.0	0.0	0.0	1.5	2.0	1.9	1.2	0.0
1922	0.0	0.0	1.3	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0
1923	1.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	2.0	2.3
1924	0.0	0.0	3.6	17.8	18.7	17.6	14.4	0.0
1925	0.0	0.0	0.0	3.3	3.3	1.7	0.0	0.0
1926	33.5	26.2	8.2	34.5	36.3	34.2	30.8	32.5
1927	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	3.5	2.3
1928	0.0	8.8	10.4	9.4	4.9	11.7	12.6	10.9
1929	25.0	26.6	25.2	20.2	1.3	0.1	2.0	15.8
1930	0.0	1.2	1.0	1.3	1.4	0.9	0.0	0.0
1931	1.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1
1932	18.2	8.5	14.8	15.6	13.2	0.4	1.6	17.3
1933	15.1	14.4	11.2	1.8	7.1	7.6	8.1	13.5

Velocidades máximas anuales de ciclón, en cada uno de los octantes (N-NE, ..., NW-N), para el sitio 1450 con coordenadas 25.48 N, 80.30 W.

TABLA 5.2

año	velocidad máxima anual [m/s]							
	N-NE	NE-E	E-SE	SE-S	S-SW	SW-W	W-NW	NW-N
1934	0.0	0.0	0.3	8.4	7.9	3.3	2.3	1.9
1935	17.4	12.8	21.1	20.1	8.9	20.8	21.9	18.4
1936	16.5	13.0	16.0	15.2	11.4	2.5	8.1	15.6
1937	0.0	0.0	0.0	0.3	1.9	4.8	6.1	7.3
1938	4.1	2.4	0.0	1.6	0.4	3.2	4.9	3.7
1939	0.0	0.0	0.0	0.4	5.9	9.5	9.5	4.6
1940	0.0	0.0	0.0	0.8	1.2	1.0	0.9	0.7
1941	30.4	11.3	10.8	23.0	21.9	0.2	1.0	32.0
1942	1.8	1.5	0.4	0.4	0.0	0.1	1.7	1.8
1943	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.4	0.0
1944	0.0	0.0	0.1	5.0	3.9	1.7	3.0	2.1
1945	35.3	31.8	12.7	25.7	27.1	4.7	1.2	33.6
1946	0.0	0.0	0.0	3.2	4.9	12.6	13.2	12.3
1947	0.0	1.1	23.2	24.5	23.8	22.6	13.0	0.3
1948	0.0	2.9	13.7	18.0	18.4	21.9	23.1	10.9
1949	0.0	0.0	0.0	0.1	3.8	8.8	8.8	4.4
1950	30.5	4.3	5.9	5.5	25.3	26.7	21.0	32.1
1951	0.0	0.0	0.8	5.7	7.1	5.5	5.2	0.0
1952	9.7	7.2	12.2	12.8	10.4	11.0	1.5	7.9
1953	9.0	0.0	2.7	10.0	10.6	8.9	11.0	11.6
1954	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.8	0.8
1955	0.0	0.0	0.8	0.7	0.0	0.3	0.3	0.0
1956	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.1	2.0	1.8
1957	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2	0.2	0.0
1958	0.0	0.0	1.0	0.2	0.0	0.4	2.3	2.6
1959	0.0	0.0	2.6	4.1	5.6	5.4	3.0	1.2
1960	7.8	9.9	9.8	8.6	6.3	5.5	0.0	0.0
1961	1.6	0.0	0.2	0.0	0.0	1.1	3.4	1.7
1962	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.1	0.0
1963	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	1.0	0.0
1964	29.3	0.0	5.1	10.2	19.8	29.1	30.7	31.5
1965	23.0	24.2	21.5	10.0	0.2	0.1	1.5	16.9
1966	24.0	23.9	22.7	3.4	1.5	0.3	20.7	25.2
1967	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	1.5	0.0
1968	7.2	7.3	7.7	7.5	7.1	7.0	8.3	8.7
1969	0.0	0.0	0.9	4.8	6.6	7.2	6.9	4.7
1970	7.8	7.6	7.8	1.4	0.5	0.5	0.0	7.2
1971	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.1	1.3	1.0
1972	9.0	9.5	4.3	1.3	1.5	8.1	7.7	0.0
1973	3.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	2.7
1974	0.0	0.0	0.0	1.5	1.9	11.7	12.4	11.8
1975	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	1.9	0.3	0.0
1976	0.0	0.0	10.1	10.6	7.8	8.2	0.8	0.0
1977	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	0.8
1979	0.0	0.0	1.8	0.9	0.0	15.2	17.7	17.3
1980	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1981	0.0	8.9	10.6	10.5	9.6	1.5	0.6	0.6

Velocidades máximas anuales de ciclón, en cada uno de los octantes (N-NE, ..., NW-N), para el sitio 1450 con coordenadas 25.48 N, 80.30 W.

TABLA 5.2 (continuación)

SITIO VELOCIDAD CICLONICA [m/s], (N=100 [años])

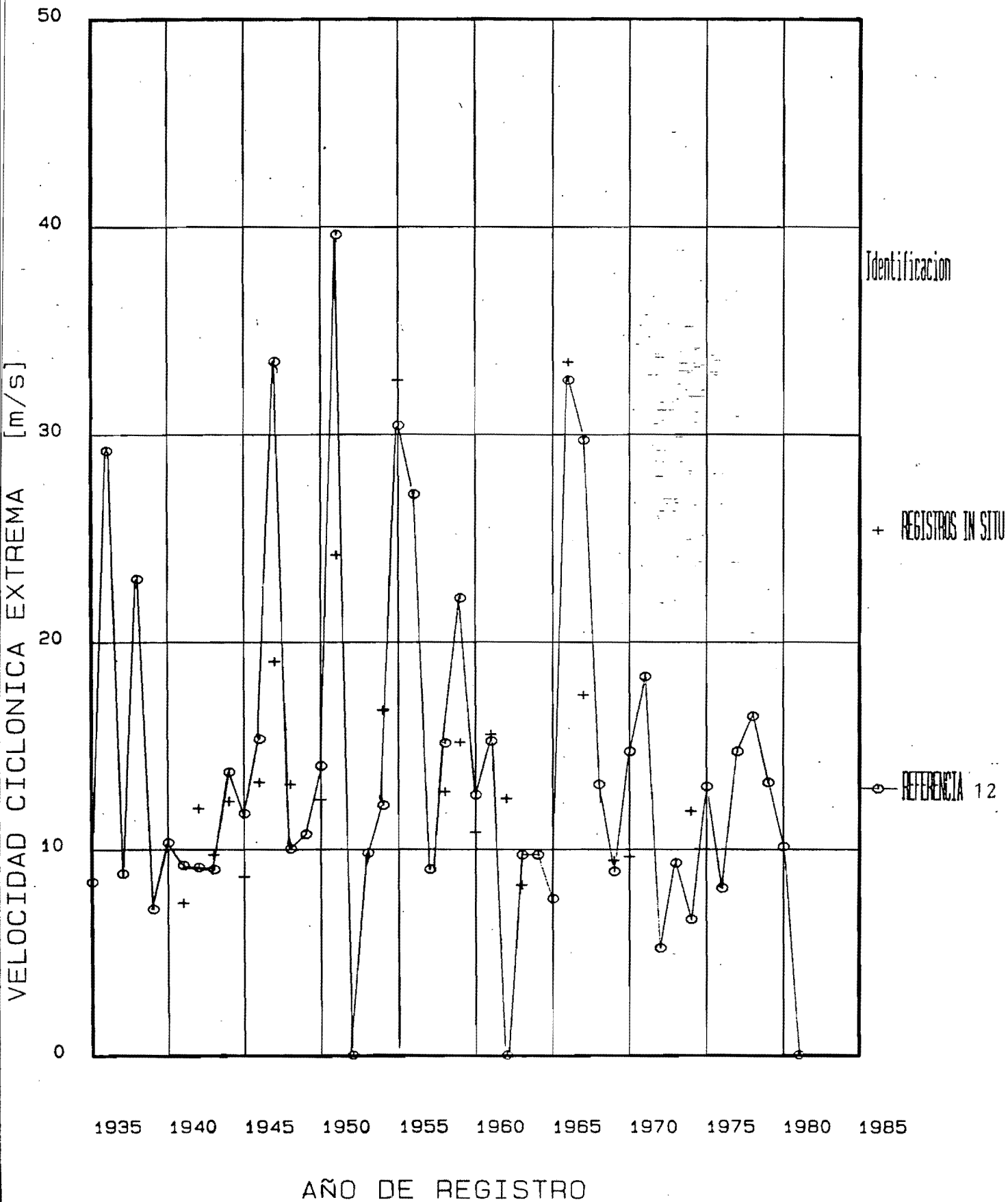
	tesis (1)	Ref. 7 (2)	Ref. 8 (3)	(1)/(2) %	(1)/(3) %
-100	33.30				
-50	32.30				
0	34.80				
50	27.20				
100	30.70		37.19		-17.45
150	40.90		36.21		12.96
200	33.30	37.36	33.68	-10.86	-1.14
250	32.30	36.84	33.16	-12.33	-2.60
300	38.80	36.32	33.93	6.84	14.35
350	36.20	35.87	35.32	0.91	2.48
400	37.40	35.55	35.96	5.21	4.02
450	37.00	35.19	36.27	5.14	2.01
500	34.80	34.81	36.31	-0.04	-4.17
550	29.60	34.83	36.50	-15.01	-18.91
600	38.10	34.88	36.69	9.23	3.85
650	38.70	35.06	36.83	10.38	5.07
700	35.10	35.16	37.13	-0.17	-5.47
750	36.70	35.06	37.58	4.68	-2.35
800	40.70	34.87	38.20	16.72	6.56
850	35.20	34.60	38.70	1.72	-9.04
900	33.90	34.07	37.77	-0.51	-10.24
950	32.90	33.40	35.89	-1.51	-8.32
1000	32.30	32.71	34.05	-1.26	-5.14
1050	29.80	32.64	33.70	-8.71	-11.56
1100	31.00	33.37	35.24	-7.10	-12.03
1150	33.70	34.56	36.85	-2.49	-8.54
1200	35.30	35.96	37.99	-1.85	-7.08
1250	33.20	37.11	38.52	-10.54	-13.82
1300	40.30	37.94	39.21	6.21	2.77
1350	43.00	38.18	40.80	12.63	5.40
1400	42.10	38.28	42.39	9.97	-0.68
1450	41.40	38.18	42.66	8.42	-2.95
1500	48.10	37.99	42.40	26.61	13.43
1550	33.60	37.29	41.80	-9.89	-19.61
1600	31.30	36.38	40.66	-13.97	-23.02
1650	30.90	35.05	38.49	-11.84	-19.73
1700	35.40	33.57	34.51	5.46	2.58
1750	34.10	32.37	31.51	5.36	8.23
1800	33.10	31.92	32.55	3.70	1.70
1850	33.60	32.85	34.09	2.29	-1.45
1900	32.40	34.24	35.11	-5.38	-7.72
1950	30.30	35.18	35.14	-13.88	-13.77
2000	30.40	35.24	35.02	-13.74	-13.19
2050	33.90	35.16	35.20	-3.58	-3.68
2100	32.60	35.03	35.64	-6.95	-8.53
2150	37.50	34.63	35.88	8.27	4.52
2200	37.60	33.86	35.84	11.06	4.91
2250	35.00	33.10	35.13	5.75	-0.36
2300	30.80	32.40	33.51	-4.95	-8.09
2350	32.40	31.99	31.77	1.29	1.97
2400	31.10	31.70	31.12	-1.90	-0.06
2450	32.80	31.72	30.65	3.40	7.01
2500	30.90	32.36	30.79	-4.51	0.35

Comparación numérica de estimaciones del viento.
 tabla 6.1

SITIO VELOCIDAD CICLONICA [m/s], (N=2000 [años])

	tesis (1)	Ref. 7 (2)	Ref. 8 (3)	(1)/(2) %	(1)/(3) %
-100	49.40	0.00	0.00	0.00	0.00
-50	47.60	0.00	0.00	0.00	0.00
0	51.30	0.00	0.00	0.00	0.00
50	40.10	0.00	50.57	0.00	-20.71
100	42.60	0.00	51.07	0.00	-16.58
150	58.40	0.00	51.00	0.00	14.51
200	45.70	49.03	47.95	-6.79	-4.68
250	45.60	48.74	45.11	-6.44	1.09
300	55.50	48.50	46.22	14.44	20.09
350	48.50	48.09	47.28	0.86	2.59
400	49.80	47.67	47.92	4.47	3.93
450	52.80	47.47	48.25	11.24	9.42
500	49.70	47.34	48.46	4.99	2.56
550	40.00	47.04	48.69	-14.97	-17.84
600	50.00	46.95	48.94	6.50	2.16
650	50.40	46.92	49.26	7.42	2.32
700	46.80	47.04	49.41	-0.52	-5.29
750	52.00	47.44	50.08	9.62	3.84
800	57.30	47.53	50.62	20.55	13.19
850	48.20	47.26	51.76	1.98	-6.87
900	45.10	46.66	51.00	-3.34	-11.57
950	44.00	45.36	48.28	-2.99	-8.86
1000	44.00	44.17	45.50	-0.40	-3.30
1050	40.60	44.67	44.34	-9.11	-8.44
1100	42.00	46.13	45.99	-8.96	-8.68
1150	47.80	47.15	49.55	1.38	-3.52
1200	49.70	47.04	50.49	5.66	-1.57
1250	44.70	47.46	51.25	-5.82	-12.78
1300	52.70	47.95	53.31	9.90	-1.15
1350	55.40	48.58	55.44	14.04	-0.06
1400	59.80	48.80	56.40	22.55	6.03
1450	56.20	48.76	56.50	15.26	-0.53
1500	66.20	48.30	56.34	37.06	17.51
1550	44.90	47.83	55.68	-6.13	-19.36
1600	42.00	47.08	54.40	-10.80	-22.80
1650	42.90	45.99	52.32	-6.71	-18.00
1700	49.80	44.42	47.33	12.11	5.21
1750	47.90	42.68	43.61	12.24	9.84
1800	46.50	43.20	44.50	7.63	4.49
1850	47.10	45.67	46.66	3.13	0.95
1900	43.60	48.10	47.97	-9.36	-9.12
1950	41.60	48.54	48.14	-14.30	-13.58
2000	40.20	48.34	48.22	-16.84	-16.64
2050	46.40	48.24	48.17	-3.81	-3.68
2100	44.10	47.68	48.29	-7.51	-8.67
2150	48.10	47.45	48.48	1.37	-0.79
2200	48.30	47.09	48.28	2.57	0.03
2250	46.10	46.38	47.07	-0.61	-2.06
2300	41.80	45.53	46.03	-8.20	-9.19
2350	46.50	44.95	44.90	3.44	3.56
2400	44.80	44.78	43.65	0.05	2.64
2450	48.10	45.33	43.72	6.12	10.02
2500	42.60	46.50	45.88	-8.38	-7.16

Comparación numérica de estimaciones del viento.
 tabla 6.2



VELOCIDADES CICLONICAS MAXIMAS ANUALES EN TAMPICO, TAMPS.
 FIG. 2.1

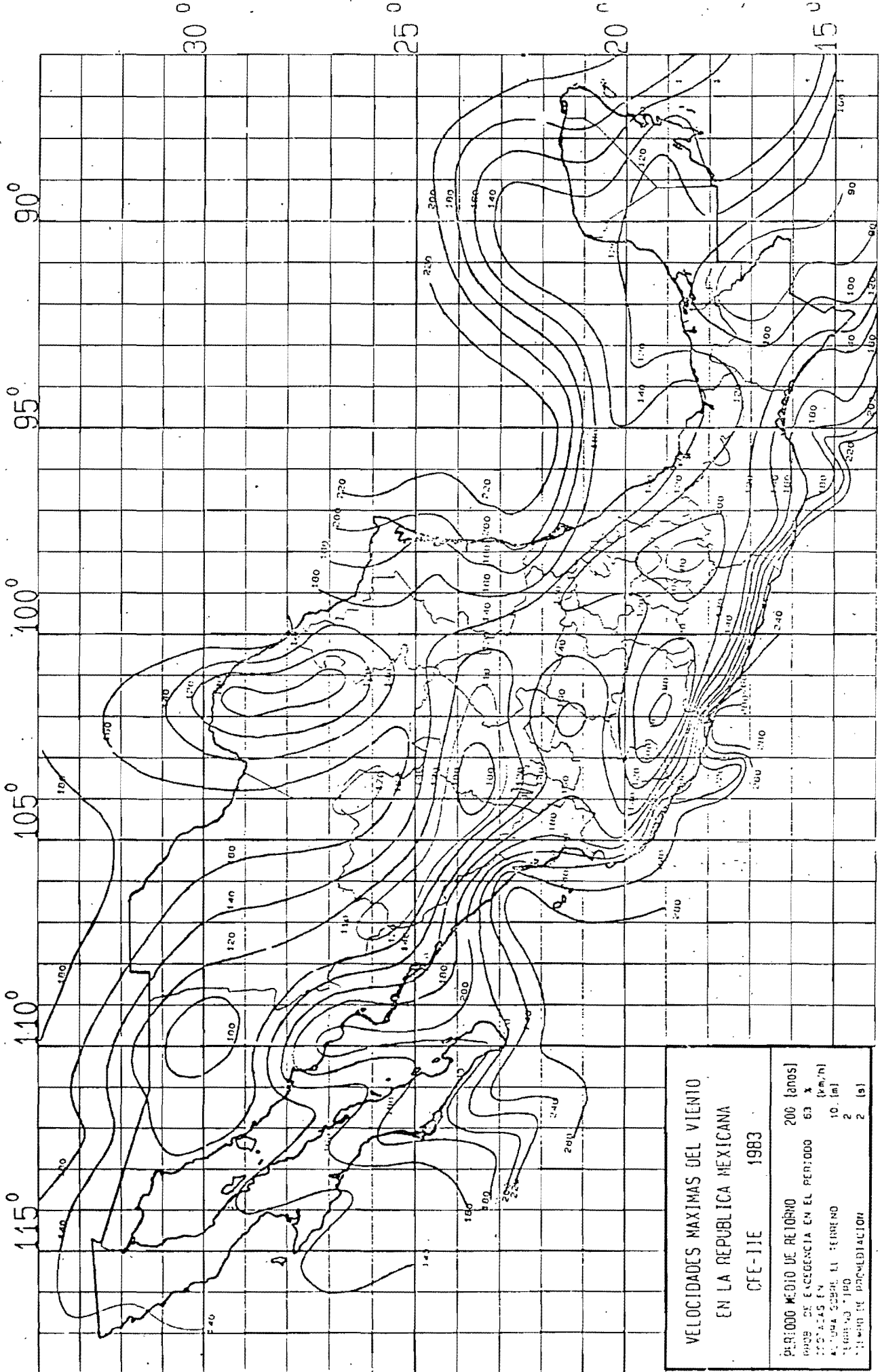
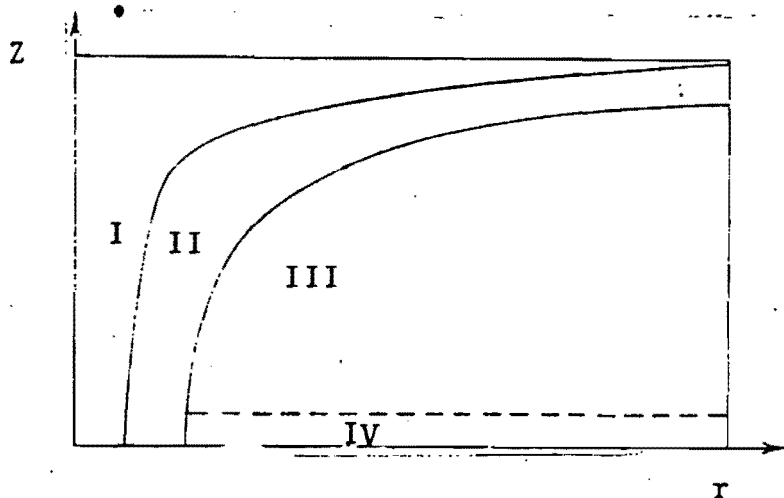
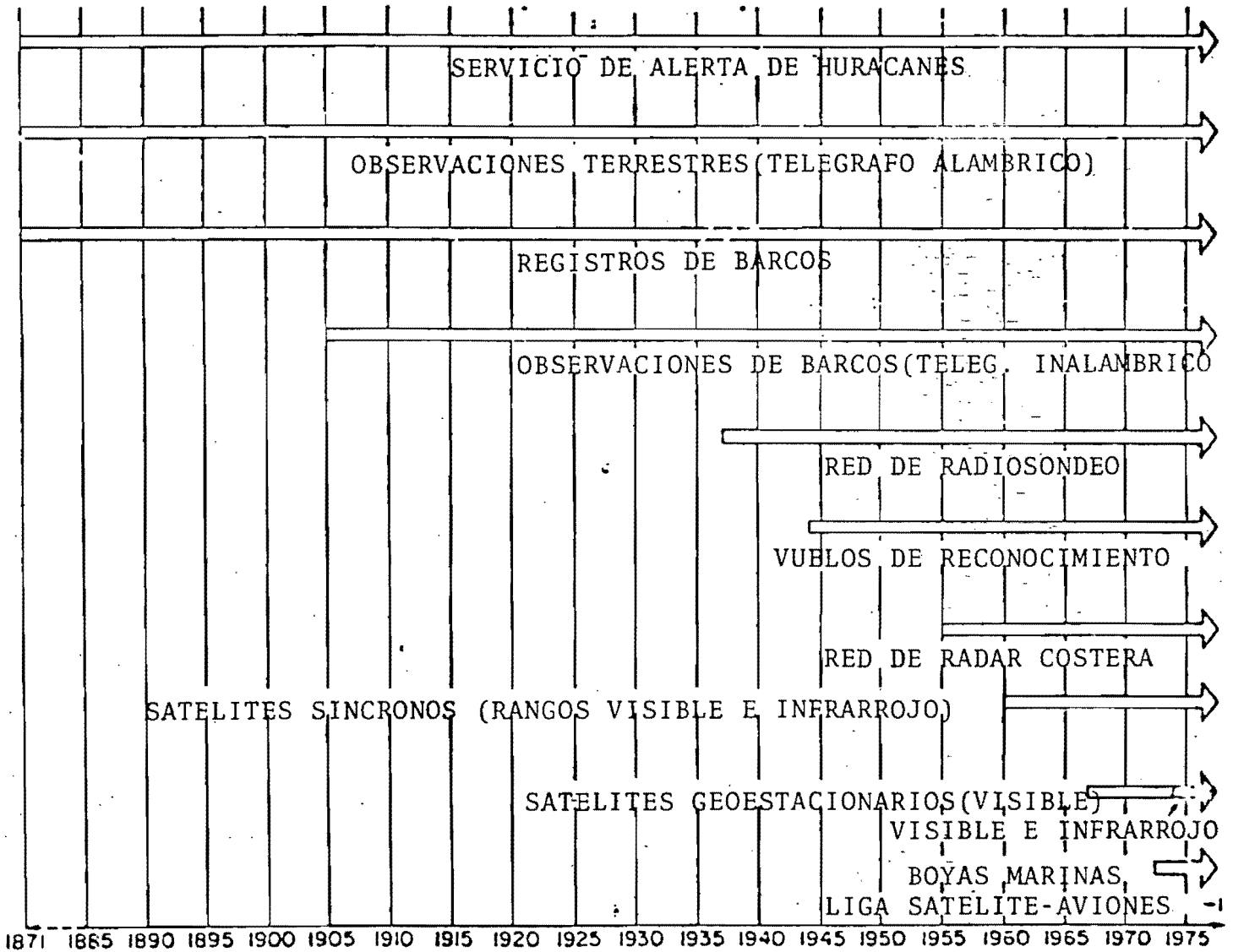


Fig. 2.2.



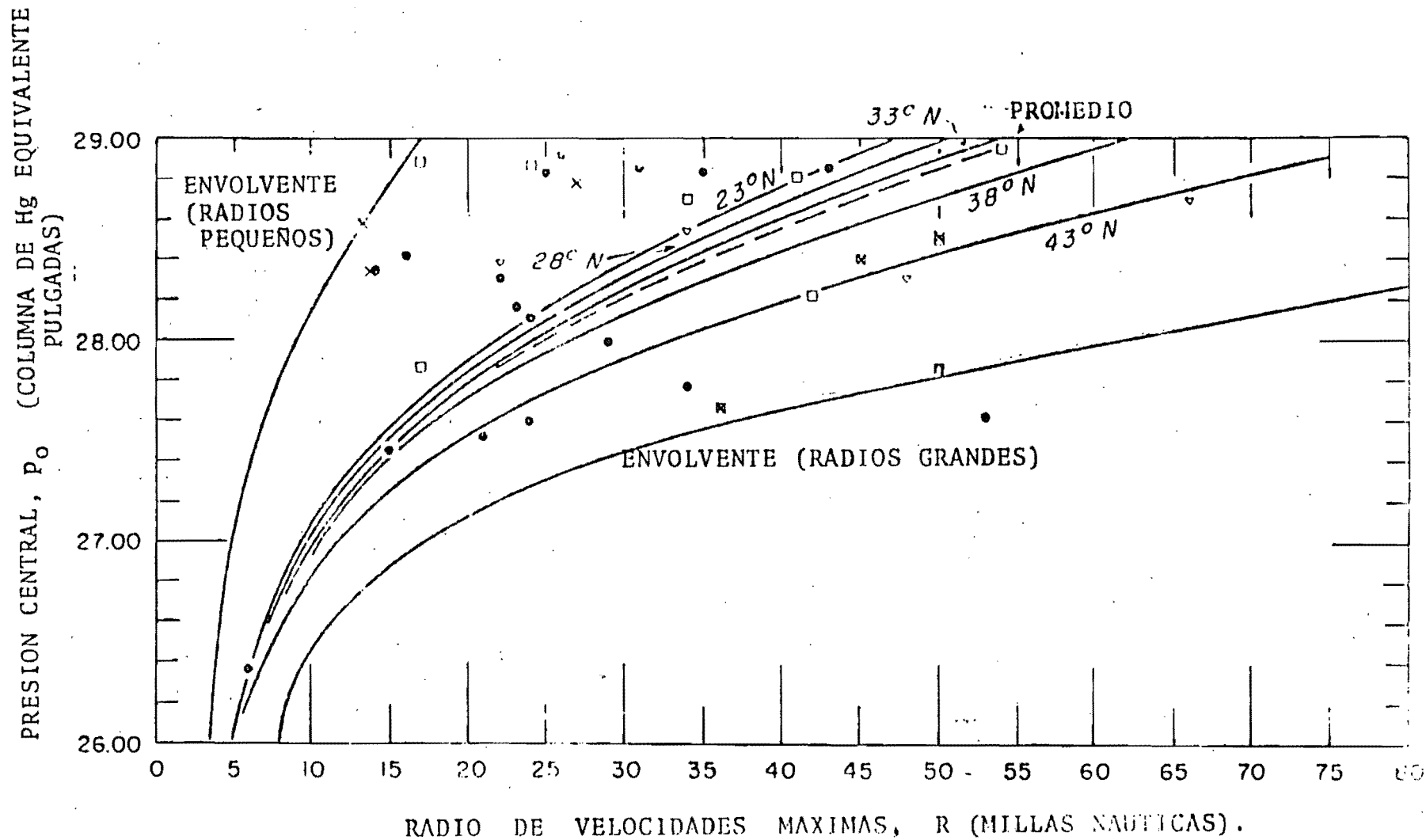
REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN CICLON TROPICAL EN SU ETAPA DE MADUREZ. SE INDICAN 4 DIFERENTES ZONAS DEL FLUJO.

FIG. 3.1



AVANCES TECNICOS EN LA OBSERVACION DE CICLONES TROPICALES
DE 1881 A 1977, [28].

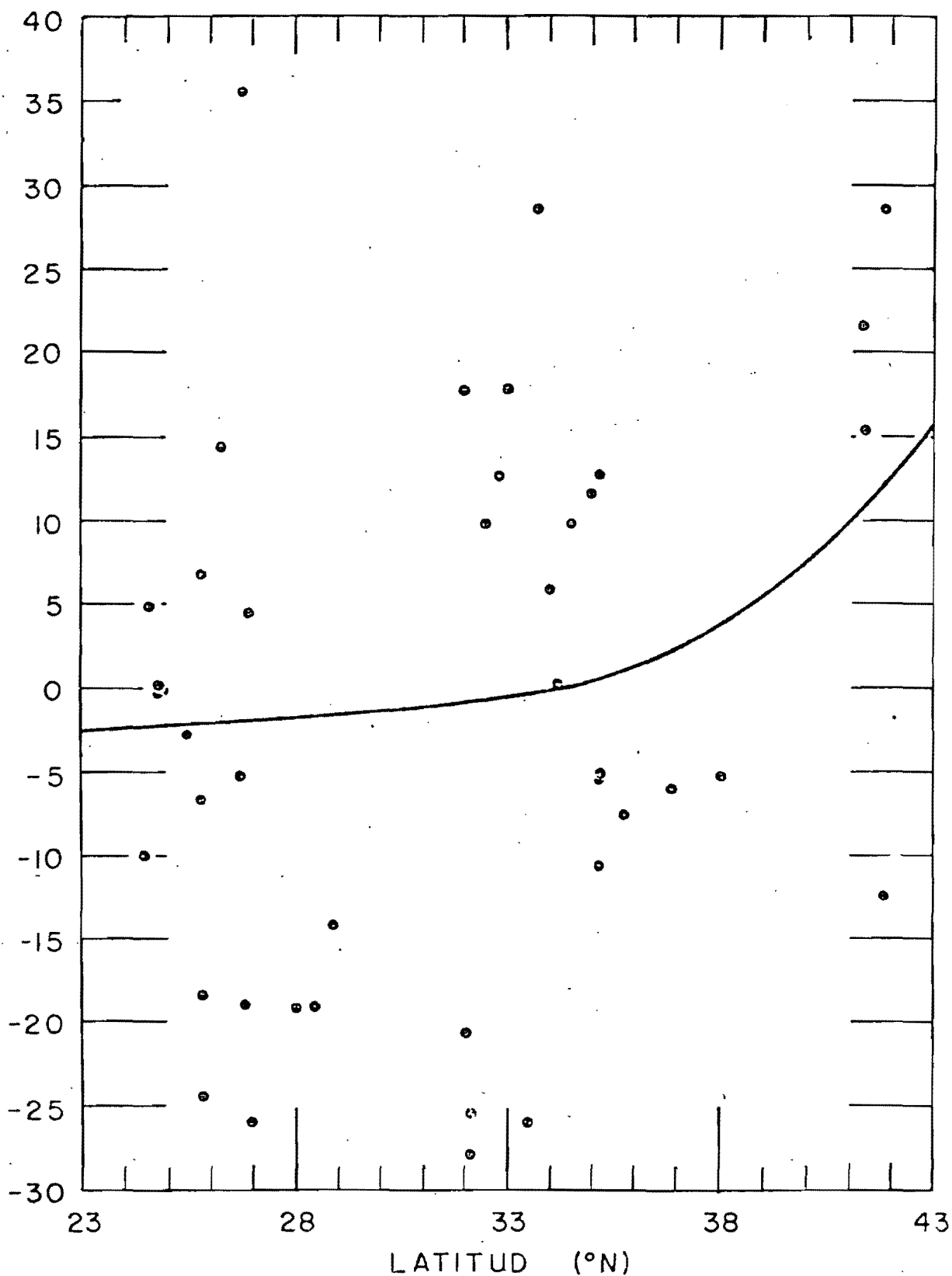
FIG. 3.2



VARIACION DEL RADIO DE VELOCIDADES MAXIMAS, CON LA PRESION CENTRAL COSTA ATLANTICA, 1900-1956, [9].

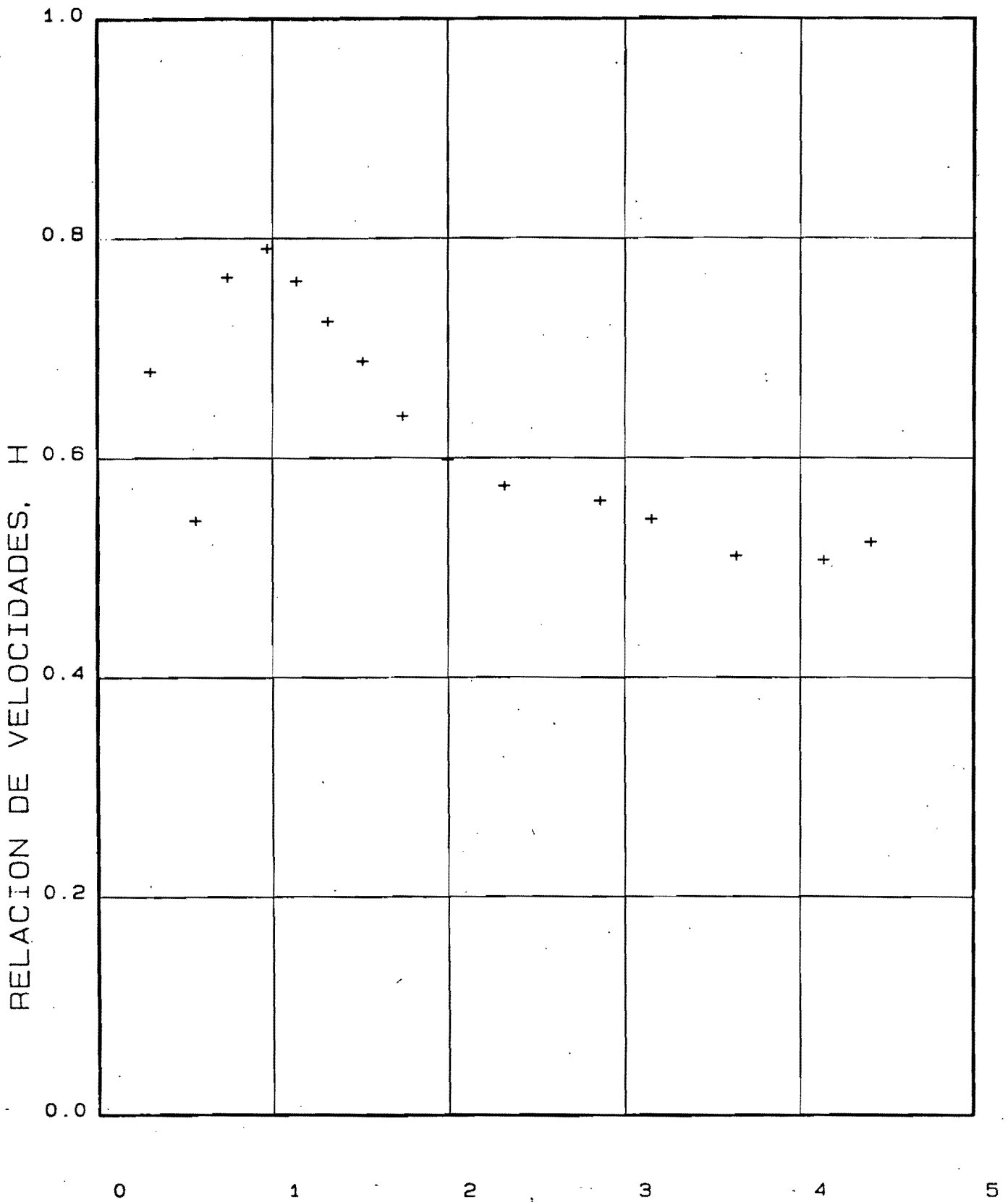
FIG. 3.3

DIFERENCIAS ENTRE RADIOS DEL VIENTO MAXIMO, INDIVIDUALES
Y PROMEDIOS ($R - \bar{R}$) [MILLAS NAUTICAS].



VARIACION CON LA LATITUD, DE LAS DIFERENCIAS ENTRE VALORES DEL RADIO DE VIENTO MAXIMO R , Y SUS PROMEDIOS, AMBOS MOSTRADOS EN LA FIG. 3.3.

FIG. 3.4



VARIACION DE LA RELACION DE VELS. H, CON EL RADIO CICLONICO [17]

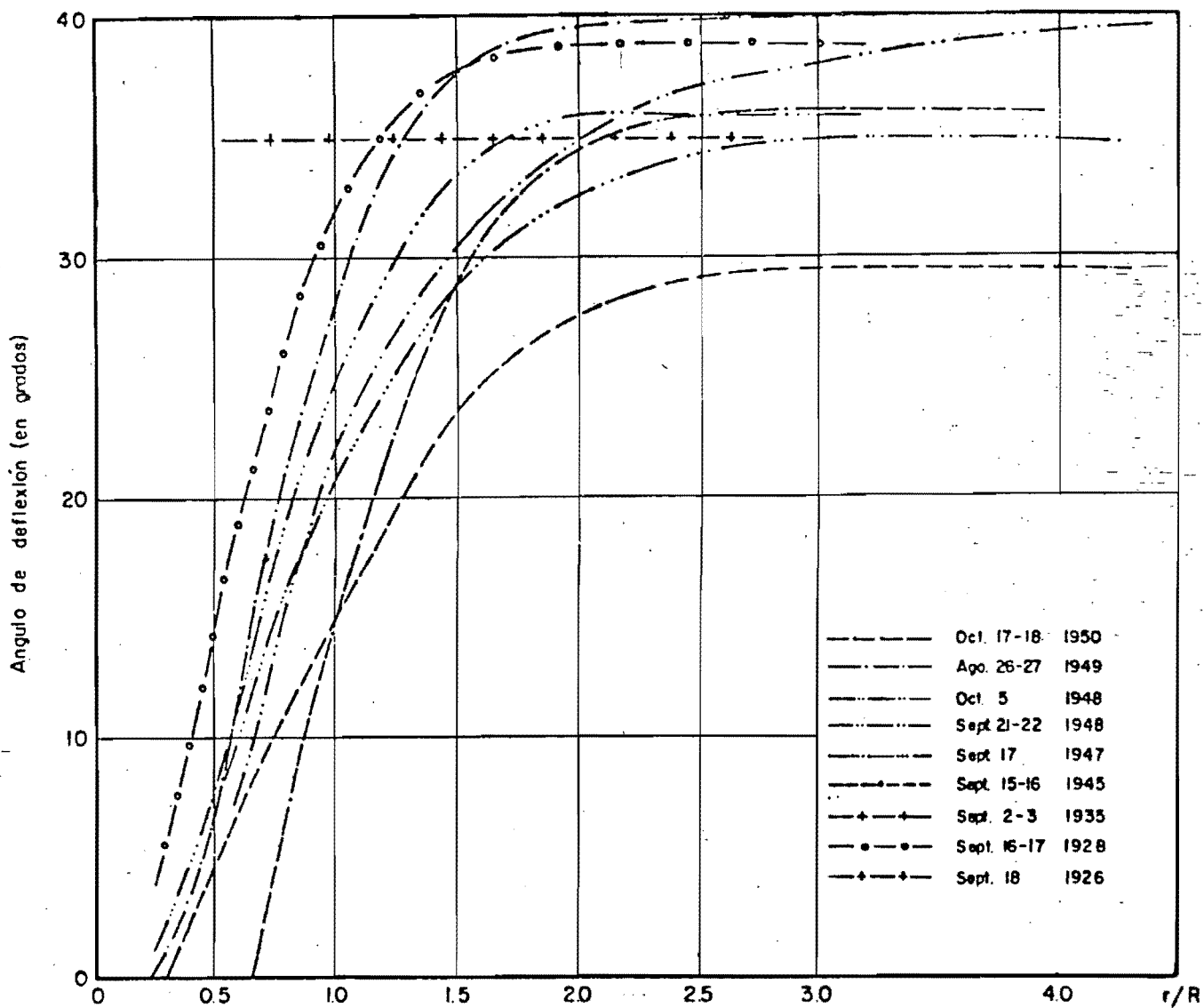
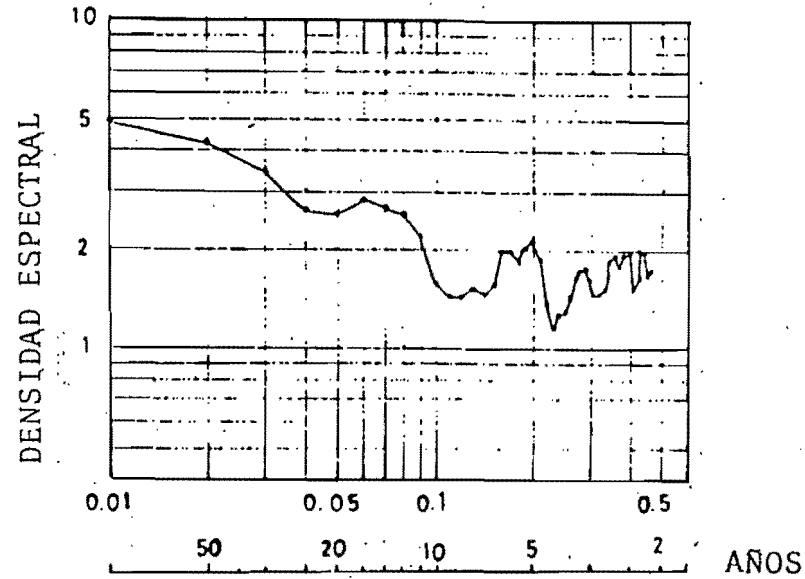
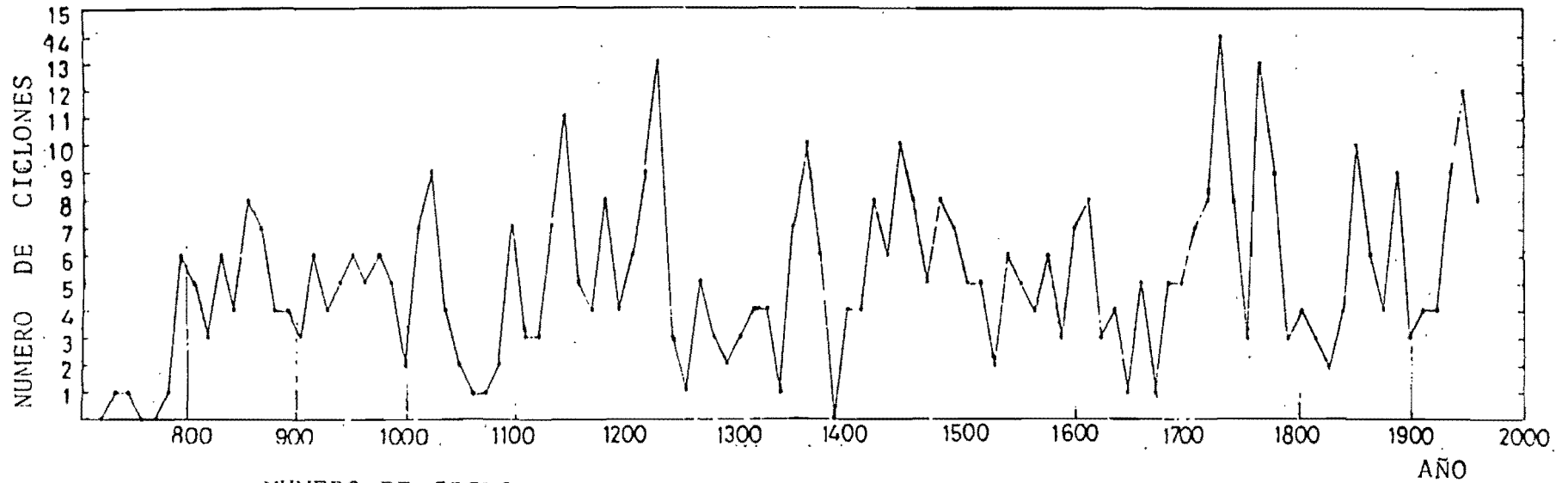


FIG 3.6

FIG. 3.8

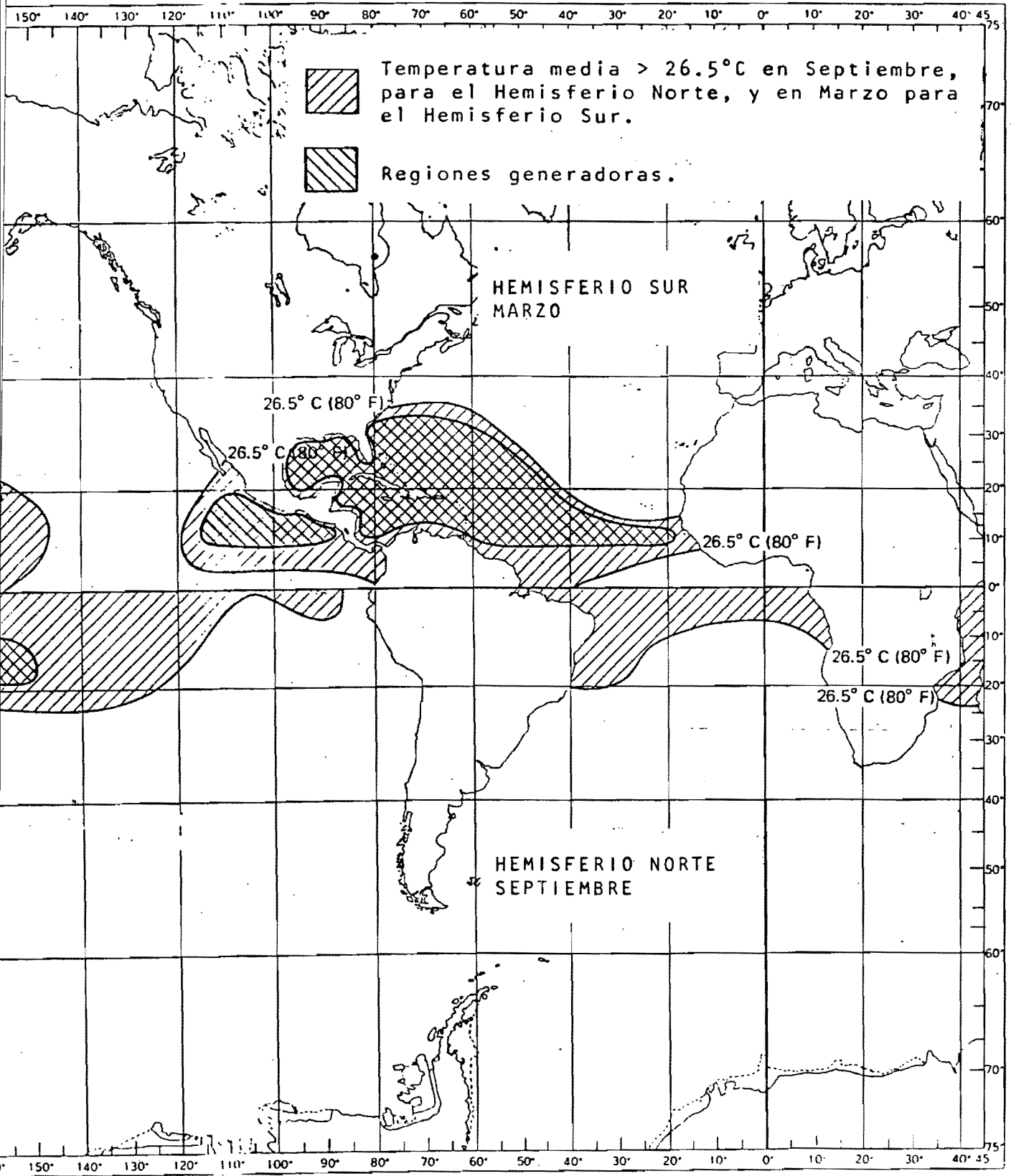


ESPECTRO DE FRECUENCIAS CICLONICAS
EN LAS COSTAS JAPONESAS.



NUMERO DE CICLONES ACUMULADO CADA 12 AÑOS EN LAS COSTAS JAPONESAS

FIG. 3.7



Regiones generadoras de tormentas tropicales y huracanes. [26]

FIG. 3.9

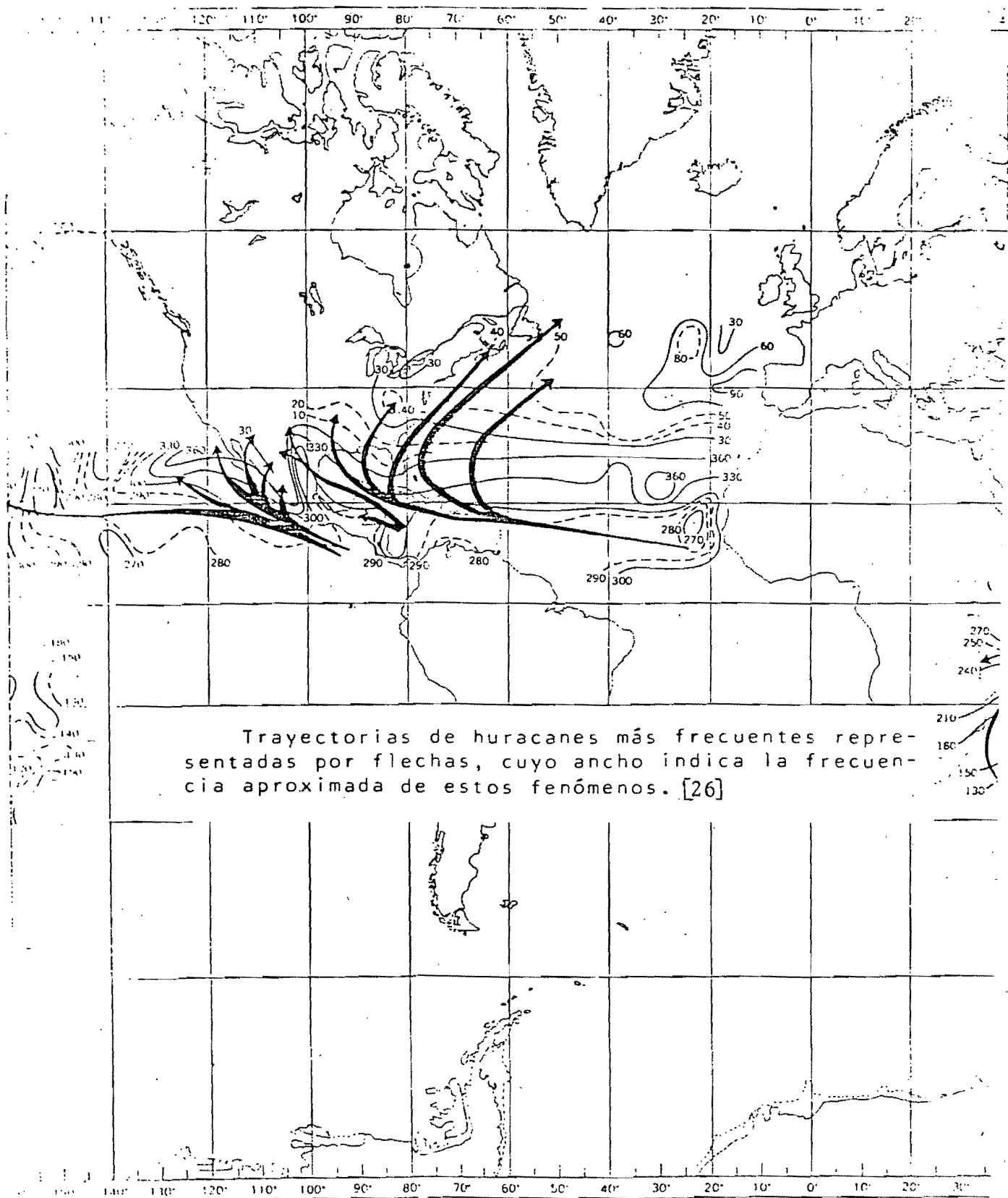
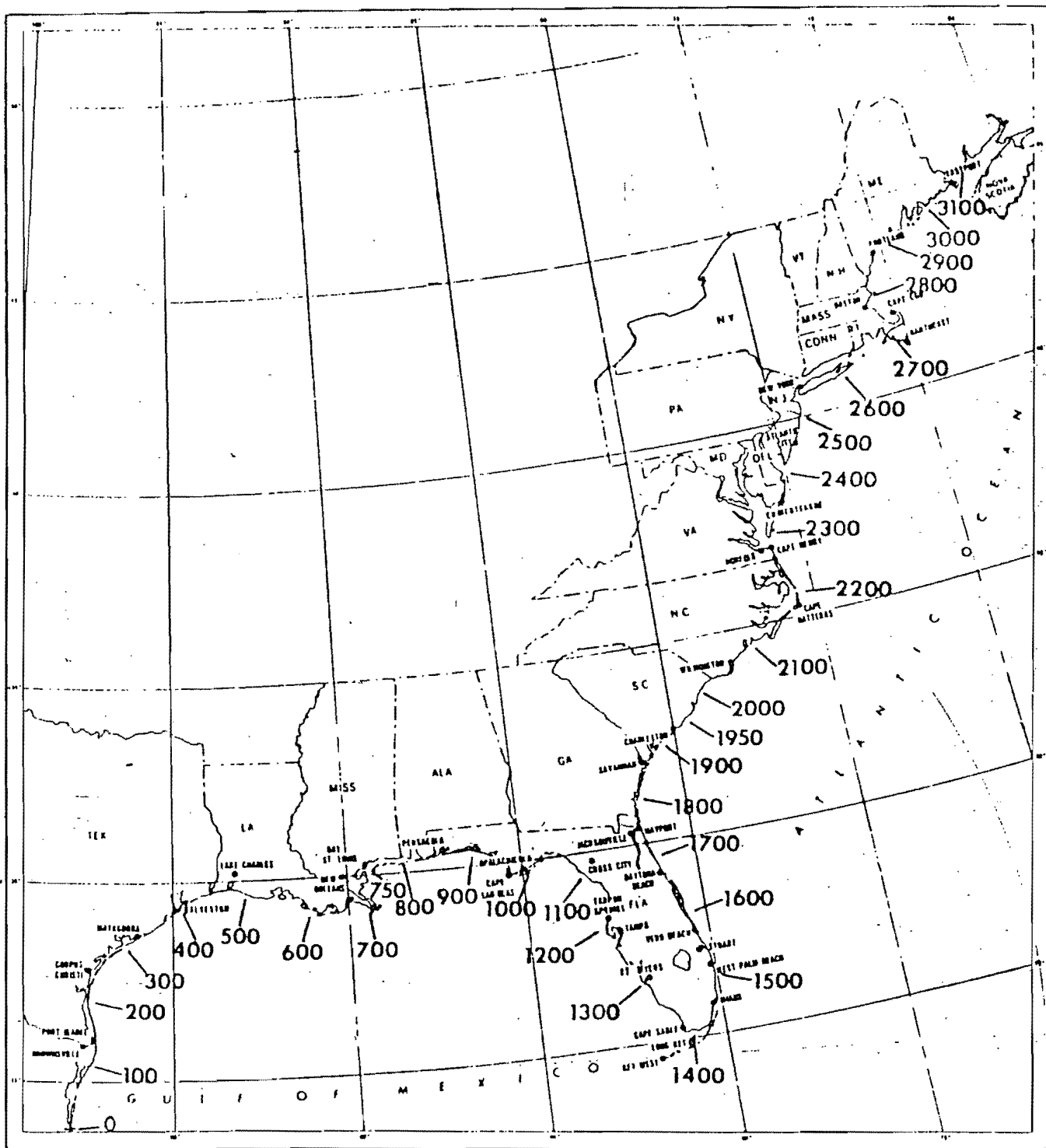


FIG: 3.10



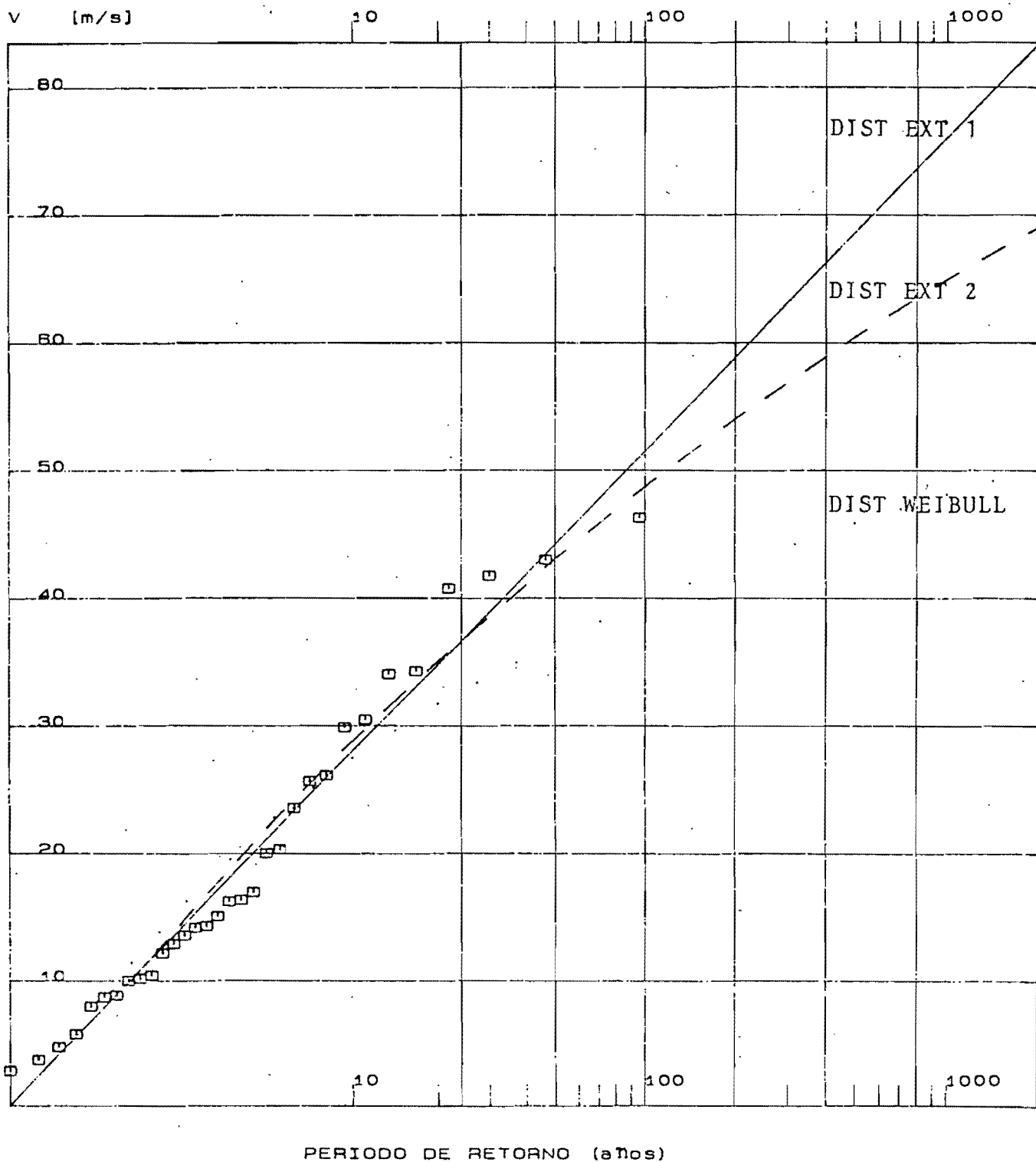
REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA REPRODUCCION DEL CAMPO DE VIENTOS CICLONICOS EN LOS SITIOS COSTEROS DE INTERES.

FIG. 4.1



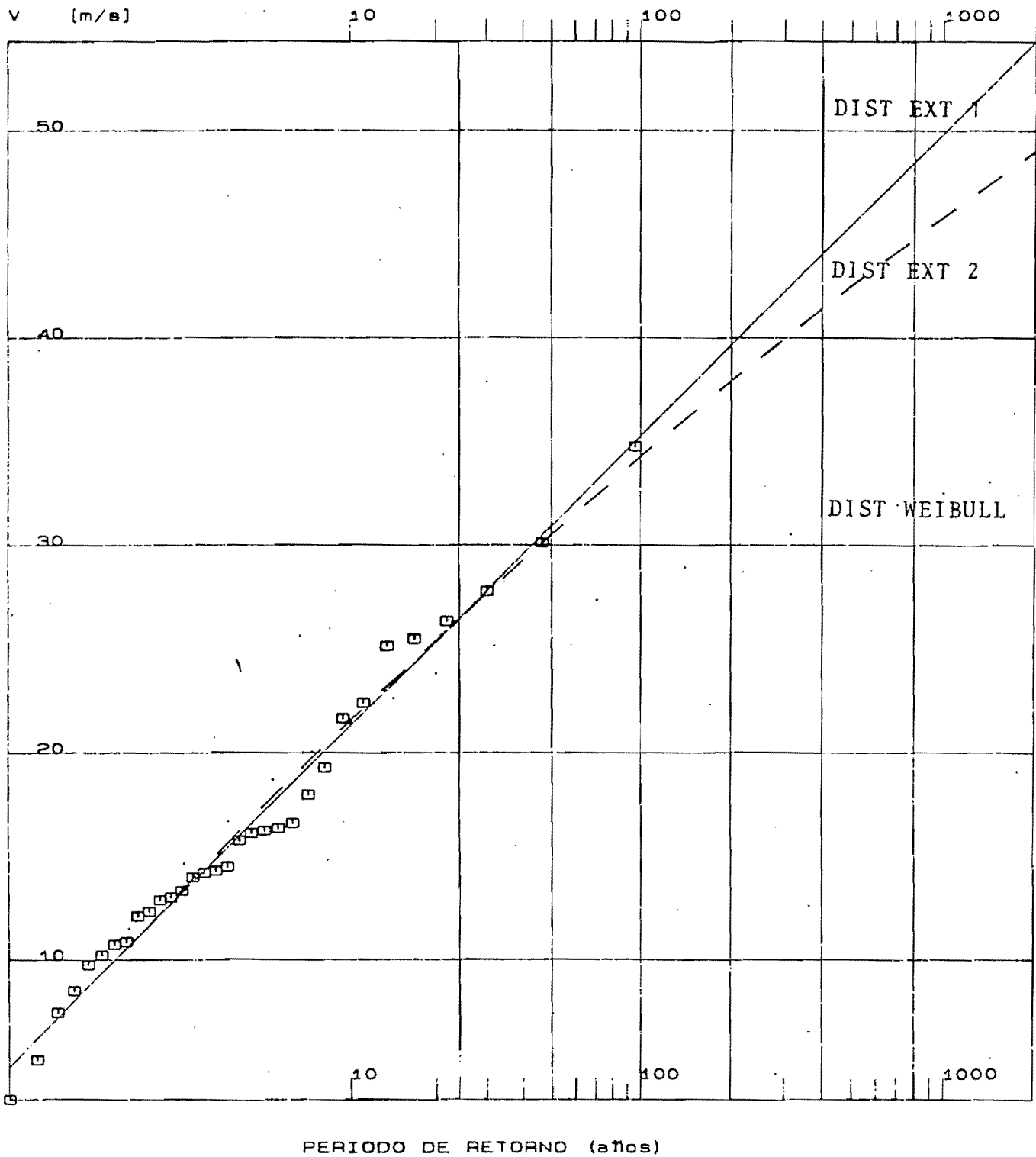
MAPA DE LOCALIZACION DE SITIOS MEDIANTE DISTANCIAS COSTERAS EN MILLAS NAUTICAS.

FIG. 5.1



OBSER -001500 LAPSO -03 DATOS -096 PERIODO -1886-1981
 DIST EXT 1 S--+1 CC -.9866 σ_I - 0.107E+02 μ_I - 0.136E+02
 DIST EXT 2 S--1 CC -.9838 σ_{II} - 0.106E+03 μ_{II} 0.120E+03 γ_{II} --0.886E+01
 DIST WEIBULL S--+1 CC -.9559 σ_W - 0.397E+02 μ_W --0.167E+02 γ_W --0.359E+01

DISTRIBUCIONES PROBABILISTAS DEL VIENTO CICLONICO EN EL SITIO 1500.



OBSER -001750

LAPSO -03

DATOS -096

PERIODO -1886-1981

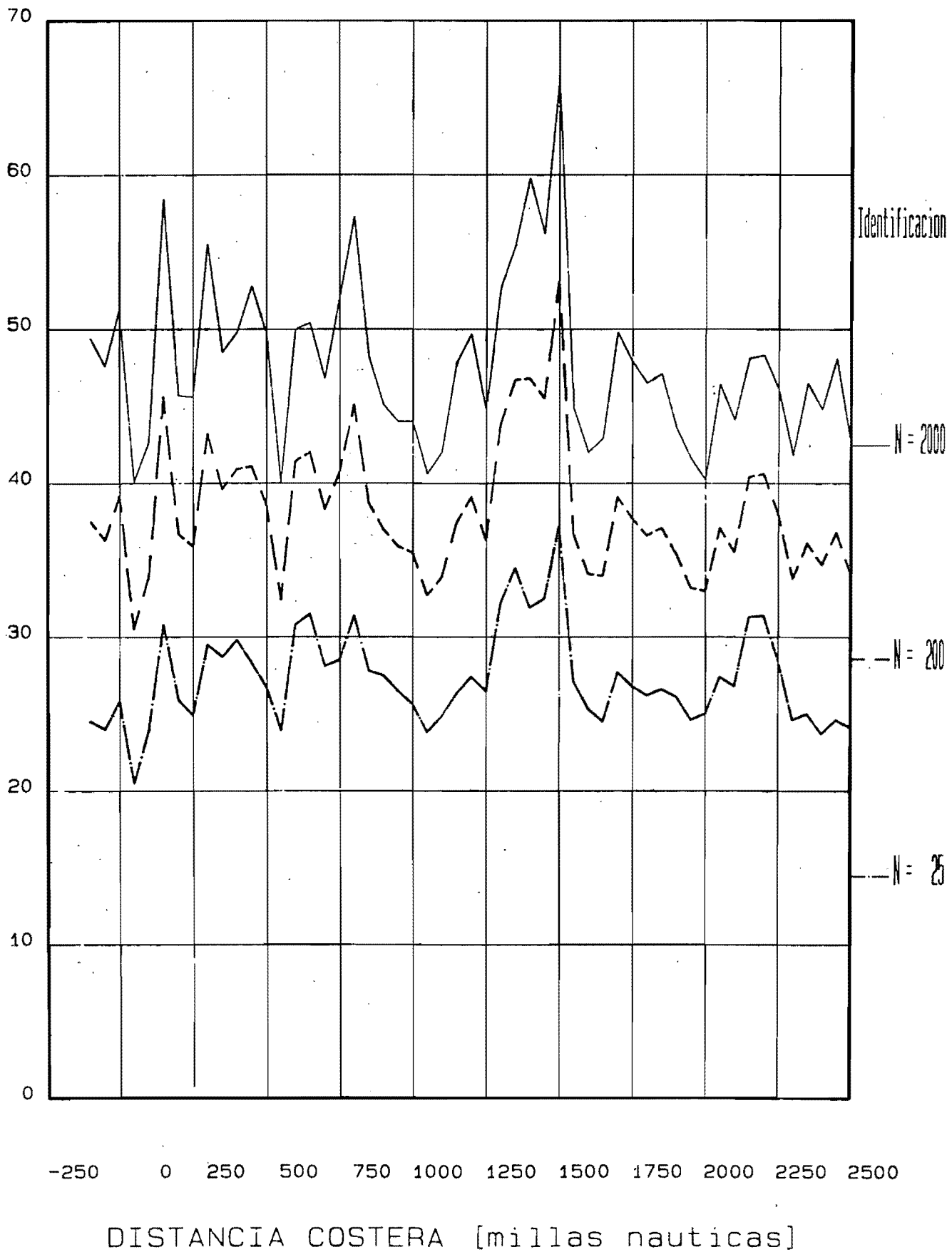
DIST EXT 1 S=+1 CC =.9920 $\sigma_I = 0.639E+01$ $\mu_I = 0.128E+02$

DIST EXT 2 S=-1 CC =.9914 $\sigma_{II} = 0.107E+03$ $\mu_{II} = 0.120E+03$ $\gamma_{II} = 0.158E+02$

DIST WEIBULL S=+1 CC =.9679 $\sigma_W = 0.355E+02$ $\mu_W = 0.167E+02$ $\gamma_W = 0.539E+01$

DISTRIBUCIONES PROBABILISTAS DEL VIENTO CICLONICO EN EL SITIO 1750.

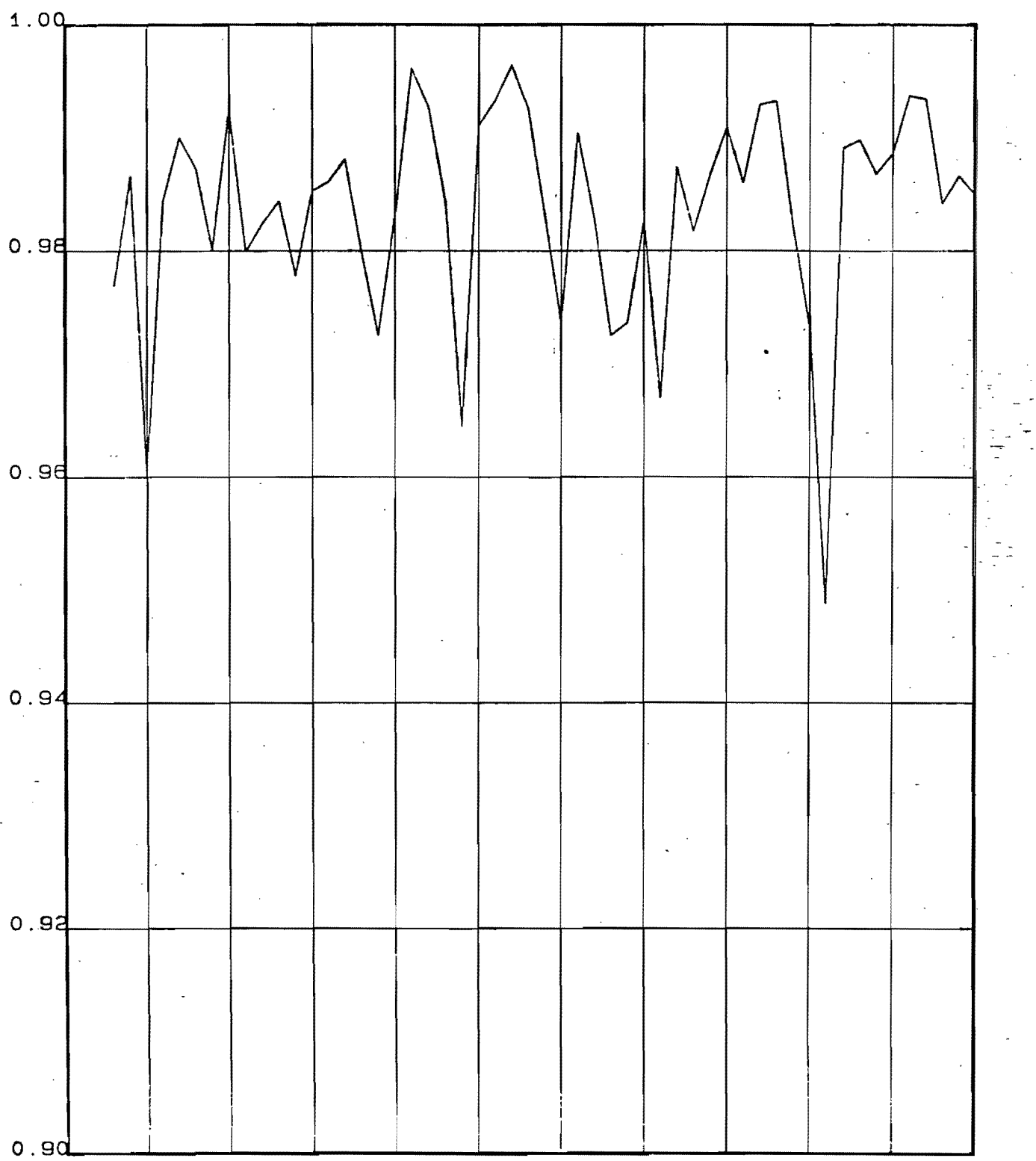
VELOCIDAD CICLONICA EXTREMA [m/s]



RESULTADOS DEL METODO PROPUESTO

FIG. 5.4

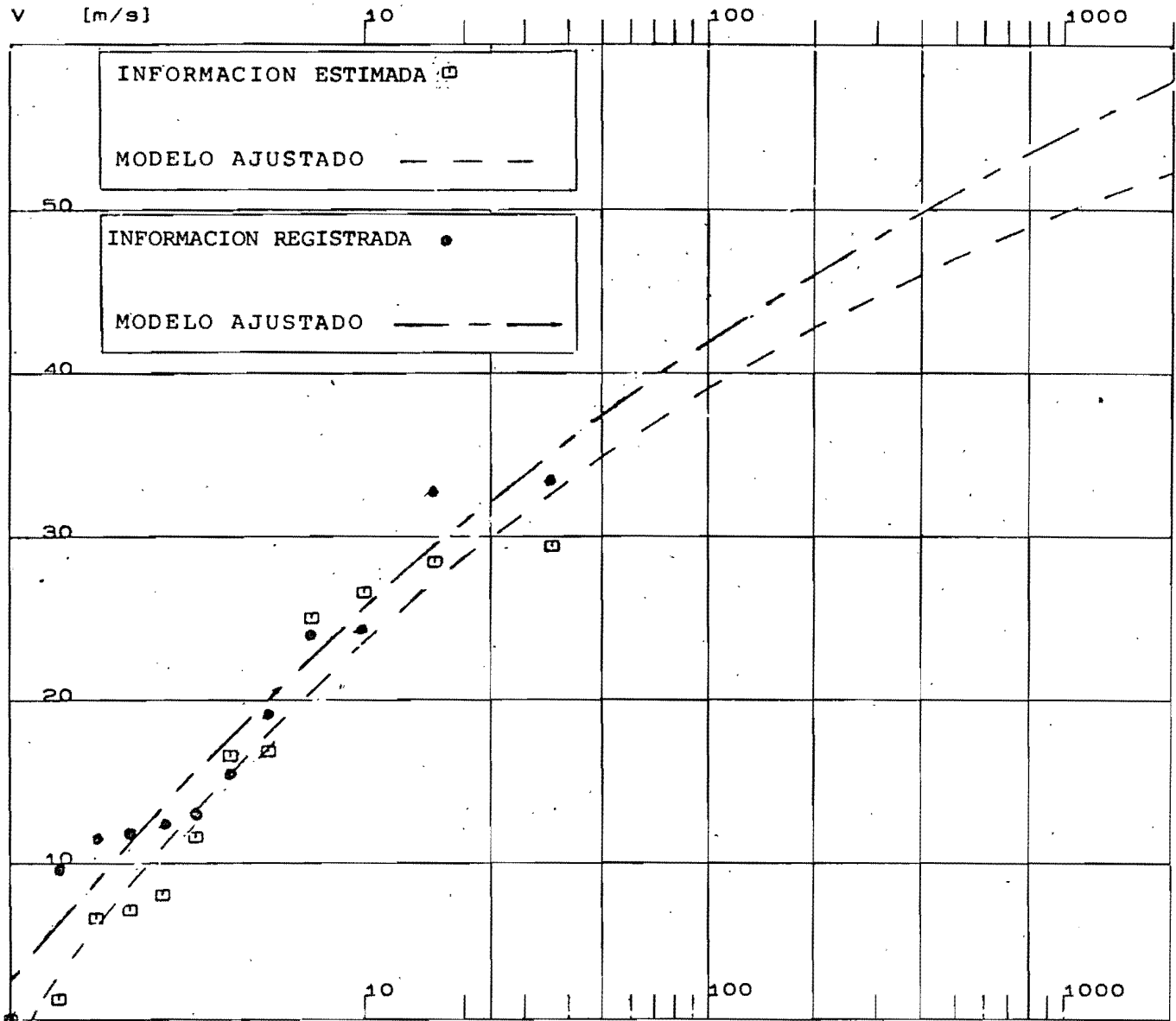
COEFICIENTE DE CORRELACION DEL ASOSITE



-250 0 250 500 750 1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500

DISTANCIA COSTERA [millas nauticas]

FIG. 5.5



PERIODO DE RETORNO (años)

OBSER = -100 LAPSO =03 DATOS =036 PERIODO =1941-1976

MODELO AJUSTADO A LA INFORMACION ESTIMADA.

DIST EXT 2 S--1 CC =.9677 $\sigma = 0.601E+02$ $\mu = 0.706E+02$ $\gamma = -0.547E+01$

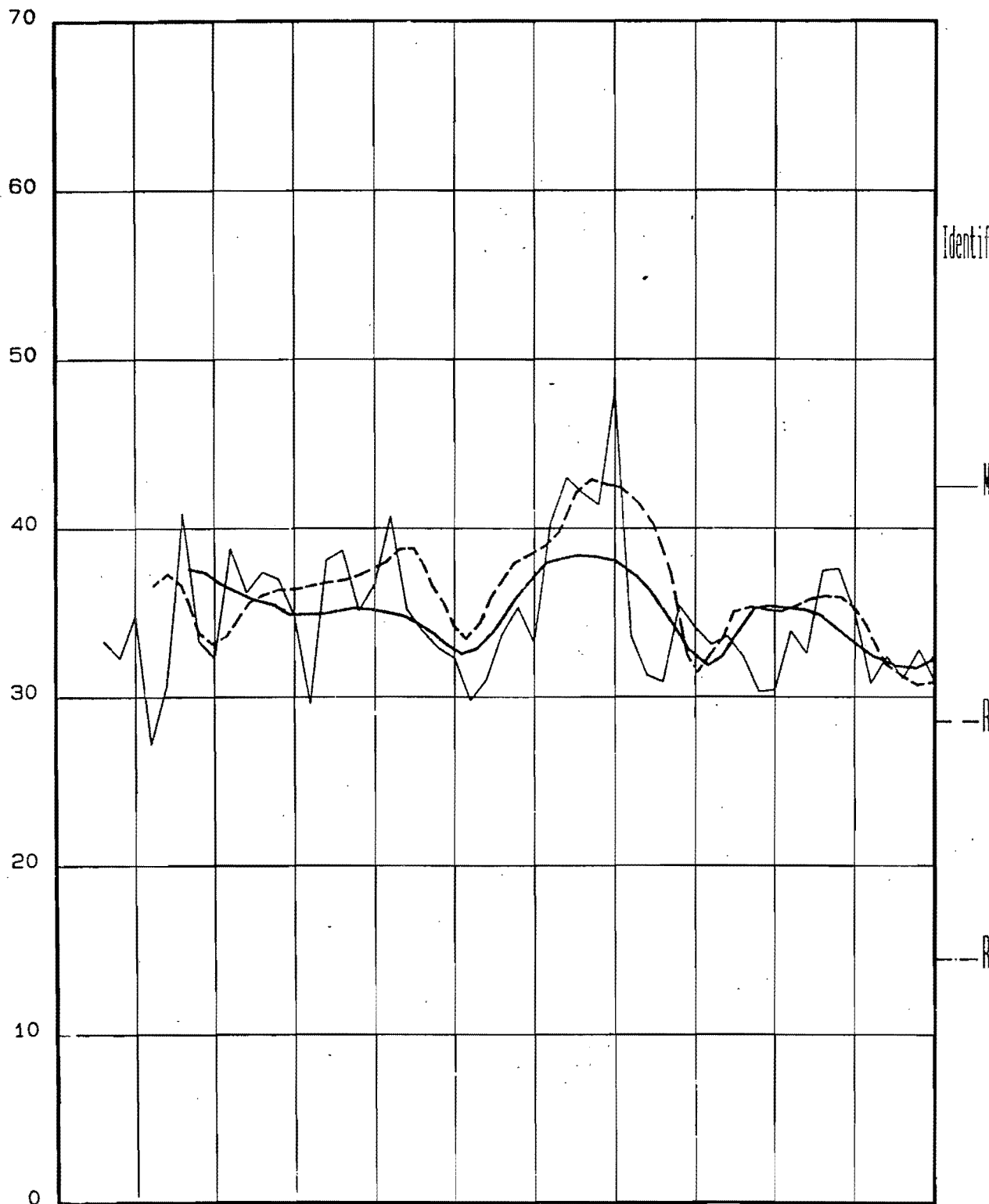
MODELO AJUSTADO A LA INFORMACION REGISTRADA.

DIST EXT 2 S--1 CC =.9745 $\sigma = 0.815E+02$ $\mu = 0.946E+02$ $\gamma = -0.813E+01$

MODELOS PROBABILISTAS AJUSTADOS A LA INFORMACION DEL VIENTO
CICLONICO MAXIMO ANUAL DE TAMPUICO, TAMAULIPAS.

FIG. 6.1

VELOCIDAD CICLONICA (N=100 a ~0s), [m/s]



Identificacion

METODO PROPUESTO

REFERENCIA 8

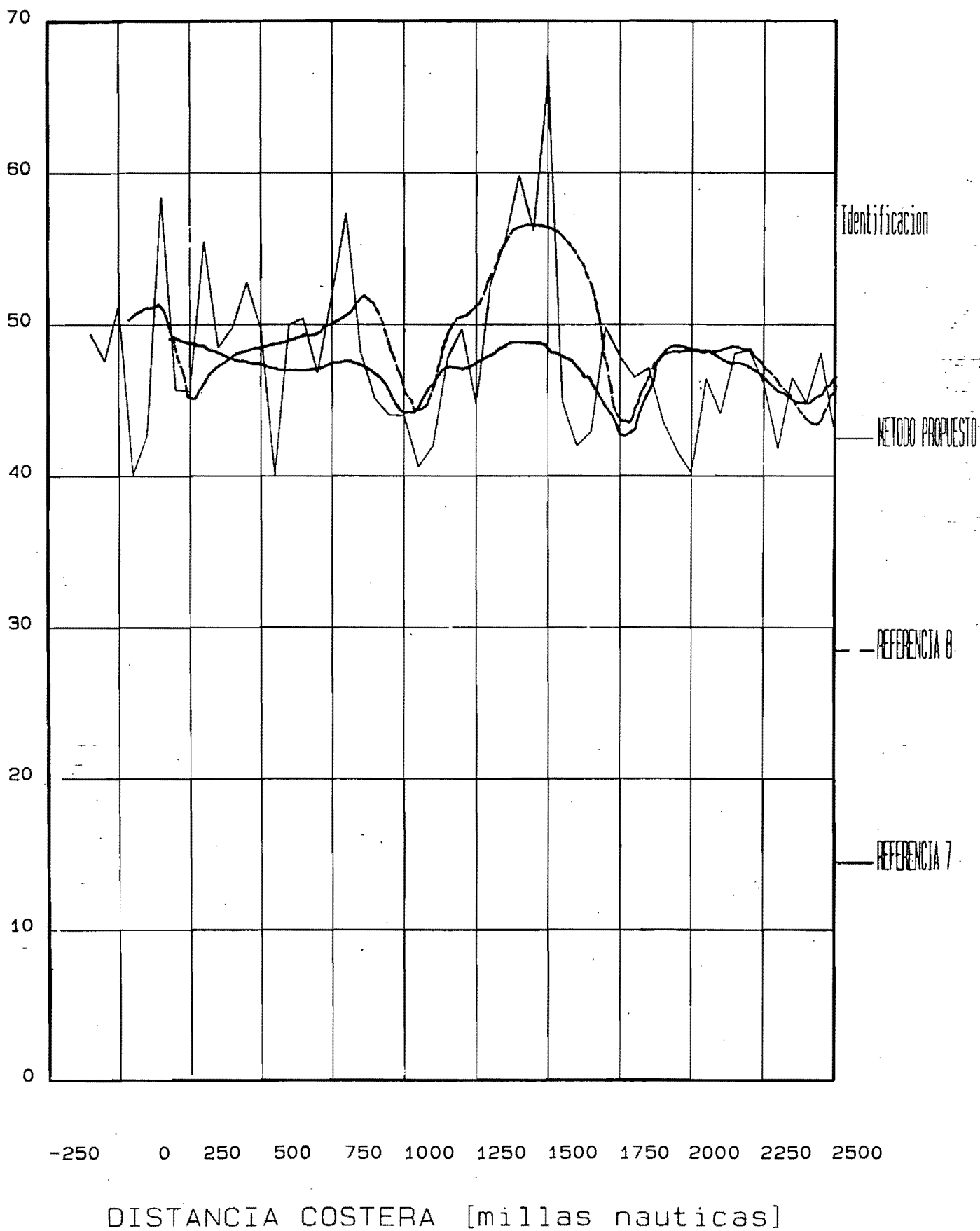
REFERENCIA 7

-250 0 250 500 750 1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500

DISTANCIA COSTERA [millas nauticas]

COMPARACION DE RESULTADOS
FIG. 6.2

VELOCIDAD CICLONICA (N=2000 a 3000), [m/s]



COMPARACION DE RESULTADOS

FIG. 6.3