



500,062

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería

REVISIÓN DE LA VELOCIDAD BÁSICA DE VIENTO
DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES
PARA EL DISTRITO FEDERAL

TRABAJO FINAL

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

p. r. e. s. e. n. t. a:

RAFAEL PEDRO BRITO RAMIREZ

Secu. Estructuras

México, D. F.

julio 1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



DEPA

T. UNAM

1982

BRI

1. INTRODUCCION
2. VARIACION DEL VIENTO
3. OBTENCION DE DATOS
 - 3.1 *Requisitos que deben de cumplir*
 - 3.2 *Características de las estaciones*
4. ANALISIS ESTADISTICO PARA DEFINIR LA SIMILITUD DE LA DISTRIBUCION CON LOS DATOS OBTENIDOS
 - 4.1 *Homogeneidad de los datos*
 - 4.2 *Histogramas y polígonos de frecuencias*
 - 4.3 *Distribución Extrema Tipo I*
 - 4.4 *Distribución Extrema Tipo II*
 - 4.5 *Distribución Extrema Tipo III*
 - 4.6 *Selección de la Distribución Extrema más adecuada*

- 5. OBTENCION DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO
- 6. CORRECCIONES DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO
 - 6.1 *Variación con la altura de medición y la rugosidad del terreno*
 - 6.1.1 Ley potencial
 - 6.1.2 Ley logarítmica
 - 6.1.3 Efectos de rugosidad y topografía
 - 6.1.3.1 Efectos de rugosidad
 - 6.1.3.2 Efectos de topografía
 - 6.2 *Variación por efectos de tipo de aparato*
- 7. EXTRAPOLACION A CENTRO DE CIUDADES
- 8. COMPARACION DE LAS VELOCIDADES BASICAS DEL REGLAMENTO Y LAS OBTENIDAS
- 9. CONCLUSIONES
- 10. AGRADECIMIENTOS
- 11. REFERENCIAS

1. INTRODUCCION

Al diseñar una estructura deben de satisfacerse dos condiciones esencialmente

1. Tener un comportamiento adecuado bajo las condiciones de servicio
2. Tener un coeficiente de seguridad adecuado contra la falla

Para cubrir estas condiciones, el Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal en el capítulo de Requisitos de Seguridad y Servicio para las estructuras, indica que la seguridad de toda estructura ha de verificarse para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente, considerando dos tipos de combinaciones, las cuales deben contener

- a) Acciones permanentes y variables
- b) Acciones permanente, variables y una accidental

En las acciones accidentales se incluyen las debidas a viento, sismo, cambios de temperatura y hundimientos diferencia-

les en los apoyos, entre otras.

La experiencia nos indica que en edificios de características ordinarias, comúnmente el análisis y diseño que rige es el de cargas muertas más vivas para los entresijos superiores y el de cargas muertas más vivas más sismo para los restantes, y por lo general, el de viento no es considerado ya que la sismicidad regional de la ciudad de México es de mayor importancia que los efectos que pueden producirse por vientos fuertes, que generalmente son generados por huracanes u otros fenómenos meteorológicos. Pero, para edificios que no tengan estas características, como lo son los edificios altos, los efectos del viento pueden ser significativos, y por tanto, su consideración es obligada en el análisis y diseño.

Sin embargo, al evaluar los efectos del viento en edificios altos en la ciudad de México, se ha observado que los resultados que arroja el análisis empleando el Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal son mucho mayores que los resultados que otros reglamentos arrojan si consideramos las mismas estructuras en alguna otra ciudad que inclusive tenga mayor actividad eólica (ref A), de tal forma que las fuerzas de viento son excesivas y poco realistas y conducen a estructuras más resistentes de lo necesario y por tanto antieconómicas.

La velocidad básica de diseño del reglamento al ser introducida a la ecuación para evaluar las presiones de los empujes estáticos son elevadas al cuadrado, esto implica que las sobrestimaciones que de ésta se hagan se verán reflejadas al cuadrado. Esto hace pensar que los empujes estáticos tan grandes que se obtienen puedan ser originados por una sobrestimación de la velocidad básica de diseño, al menos parcialmente.

Esta sobrestimación puede deberse a la falta de compatibilidad de las condiciones locales actuales con las de la época

en que se estimó la velocidad de diseño del Reglamento, ya que con el transcurso del tiempo se van modificando tanto las características topográficas que pueden ser naturales (árboles, lomas, etc.) o artificiales (construcciones en general) como las características ambientales (temperatura, régimen del viento, lluvia, etc.).

Esto hace que sea necesario actualizar la información y evaluar una nueva velocidad básica de diseño.

2. VARIACION DEL VIENTO

El viento es un fenómeno termodinámico debido al calentamiento solar de la atmósfera, la cual produce movimiento de las masas del aire por diferencias de presión en puntos de igual altura.

La radiación solar y terrestre (reflejo de la radiación solar) son variables en el espacio y en el tiempo debido a la constitución del sol, el movimiento de rotación de la tierra, el ángulo que forma el eje de rotación con respecto al plano de traslación del planeta y el propio movimiento de traslación. Esto produce que el viento sea un movimiento variable en el espacio y en el tiempo de las masas de aire de la atmósfera. Algunas variaciones que se han observado en él son

Cíclica

Estacional

Aleatoria

Tendencial

La variación cíclica se presenta en intervalos de 11 años, 1 año, 4 días, 1 día y 3 min aproximadamente. A estos resultados llegaron Van der Hoven y Davenport al estudiar la densidad espectral de potencia del viento (ref B).

La variación estacional es la que se presenta debido a los cambios de estación. Generalmente en el verano se presentan vientos más intensos que en otras estaciones.

La variación aleatoria es la ocasionada por cambios bruscos impredecibles (ocurren al azar), en las condiciones micrometeorológicas.

Por último, la variación tendencial es la que pudiera tener localmente el viento por la presencia de obstáculos no permanentes ya sean naturales o artificiales.

3. OBTENCION DE DATOS

3.1. *Requisitos que deben cumplir*

Los datos que se empleen para el análisis de la velocidad del viento deben de cumplir los siguientes requisitos en cuanto a cantidad y calidad.

La cantidad de datos dependerá del número de años que se hayan registrado y del número de estaciones de registro. Entre más años se tengan registrados, mejor será la estimación de la distribución de probabilidades de velocidad máxima anual, y entre mayor sea el número de estaciones de registro, más factible será especificar valores de diseño para sitios con diversas características de topografía y rugosidad en una misma ciudad.

En la ref I se menciona que en estudios hechos por Simiu y Church, el número mínimo de años de registro para que la información proporcione una estimación razonable del viento máximo es 10.

En cuanto a la calidad, se requiere que los sistemas de medición registren el movimiento del aire en forma precisa, continua y homogénea. La precisión debe estar dentro de los límites aceptables y para ello los equipos deben ser instalados, operados y mantenidos adecuadamente. La continuidad es importante para garantizar la certeza de que la ocurrencia de un evento máximo quedó registrada en el intervalo de observación y así maximizar la confiabilidad en la caracterización del viento máximo. Por último la homogeneidad es para facilitar y mejorar los resultados del estudio estadístico en la obtención del viento máximo; se obtiene haciendo las mediciones a una misma altura, seleccionando el mismo tiempo de promediación del aparato y teniendo las mismas condiciones en los alrededores de cada una de las estaciones de registro. Cuando una estación no cumpla con la homogeneidad, ésta se conseguirá mediante una corrección si se saben las condiciones que lo impidieron.

3.2 *Características de las estaciones*

Las características encontradas en las estaciones fueron

Estación de Tacubaya

La estación de registro de Tacubaya se encuentra localizada aproximadamente a la mitad de una loma al poniente de la ciudad de México. Sus coordenadas geográficas son latitud 19° 24' N y longitud 99°11' W. Su altitud es de 2308 m S.N.M.

Cuenta con un anemocinemógrafo mecánico accionado por un sistema mecánico de relojería marca R. Fuess, Berlin-Steglitz de registro continuo durante las 24 hrs del día. Este aparato ha operado desde 1934 aproximadamente (existen registros de 1941 a la fecha solamente) y su altura sobre el nivel de la banqueta es de 19 m. Su ubicación siempre ha sido la misma. Antes de ser la estación de Tacubaya estuvo colocada en el Castillo de Chapultepec, y antes de ese lugar, estuvo en el Palacio Nacional.

Existen algunos edificios altos alrededor de la estación pero están alejados. Al norte a unos 500 m en los límites del Nuevo Bosque de Chapultepec se encuentra un edificio de aproximadamente 14 niveles (35 m), al NW a 700 m en una zona más alta existe otro edificio de la misma altura. Estos dos edificios tienen aproximadamente 5 años de construídos. Al SW se encuentran dos construcciones de 8 niveles (20 m aproximadamente) como a 250 m de distancia pero en terreno más alto que el de la estación, tienen aproximadamente 10 años de construídos. Al S hay un edificio de 10 niveles (25 m aproximadamente) a unos 80 m de distancia y a la misma altura de la estación. Al E en el terreno adjunto se encuentra un edificio de 3 niveles pero no es mayor que el del observatorio. Los alrededores cercanos son caseríos de 2 niveles por lo general.

La fig 1 representá un croquis de la estación de Tacubaya.

Estación de Chapingo

La estación de registro de Chapingo se encuentra localizada en la zona norte de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo, ubicada en el ENE del valle de México. Sus coordenadas geográficas son latitud $19^{\circ}29'$ N y longitud $98^{\circ}51'$ W. Su altitud es de 2245 m S.N.M. Cuenta con anemómetro mecánico accionado por una maquinaria de relojería marca R. Fuess, Berlin-Steglitz de registro continuo durante las 24 hrs del día. Este aparato ha operado desde 1970 (hace 12 años) y está colocado a 12 m de altura. Antes de él existió un anemómetro del cual se desconoce la marca y el tiempo exacto en que funcionó (1940-1970 aproximadamente). Antes de éste se hacían mediciones con un anemómetro de mano marca Lieptz, del cual sólo se tomaba una lectura instantánea a la hora en que se medía (de 1926 a 1940 aproximadamente).

Existen algunos obstáculos alrededor de la estación los cuales se pueden observar en la fig 2. El terreno es plano, al norte como a 100 m existen árboles que limitan los terreno de la universidad y son de aproximadamente 5 m de altura. Al NE y ENE se encuentran 2 edificios en construcción de 4 niveles y están aproximadamente a 120 m de distancia, su altura es de

15 m aproximadamente. Al S y SW se encuentran árboles que limitan el circuito interior de la universidad a aproximadamente 100 m y con altura de 10 m. Al SSE además de los obstáculos mencionados existe un silo y un pino bastante frondoso de aproximadamente 18 m de altura. Finalmente al WSW se encuentran un par de árboles de aproximadamente 15 m de altura y a una distancia de 70 m. Los alrededores cercanos son un campo experimental agrícola en el cual se siembra maíz y frijol.

Estos obstáculos a excepción de los edificios en construcción pueden considerarse como permanentes pues tienen muchos años (más de 12) de existir con las características que se describen.

Existen por lo menos otras tres estaciones que registran vientos en el Valle de México (Aeropuerto, IIMAS*, CCA**) pero por no cumplir los datos los requisitos de calidad y cantidad, no fueron tomadas en cuenta para el análisis estadístico.

Se consideró una estación ficticia llamada Max_{max} , la cual toma los valores más desfavorables de las descritas anteriormente.

Un resumen de las características de las estaciones está en la siguiente tabla.

* Instituto de Investigación en Matemáticas Superiores y Sistemas, UNAM.

** Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Estación de Registro	Años Registrados	Altura del Aparato (m)	Coordenadas Geográficas			Alrededores Observados
			Latitud	Longitud	Altitud (m S.N.M.)	
1) Tacubaya	38	19	19°24'N	99°11'W	2308	Urbanos de poca altura
2) Chapingo	33	12	19°29'N	98°51'W	2245	Suburbio
3) Max _{max}	41	--	--	--	--	Igual a 1)

Características de las estaciones de registro

Los datos obtenidos de las velocidades máximas mensuales se muestran en las tablas 1 y 2. Los valores de las velocidades máximas anuales para las tres estaciones en estudio se encuentran en la tabla 3.

Las velocidades registradas, son velocidades instantáneas o valores promedios de intervalos de 2 seg aproximadamente.

Observatorio instalado en Tacubaya, D.F.						Velocidades máximas instantáneas				Investigación sobre viento		Tabla 1
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Noviembre	Diciembre
1941	14.1	19.3	14.2	19.0	19.5 ^{oo}	19.0	13.5	12.2	15.0	12.8	12.8	14.5
1942	11.4	13.8	16.0 ^{oo}	14.3	13.3	12.8	12.0	14.8	12.1	14.3	10.6	9.0
1943	12.6	21.2	24.9 ^{oo}	17.0	17.5	14.5	14.7	13.1	12.9	11.5	12.1	11.9
1944	13.3	13.9	15.9	16.3	16.5 ^{oo}	14.3	13.6	13.3	13.5	10.5	10.1	10.8
1945	12.6	17.5 ^{oo}	15.6	16.4	15.8	14.7	13.0	16.0	16.9	14.5	11.1	11.5
1946	13.5	13.6	16.8 ^{oo}	15.7	16.5	15.5	13.1	16.1	11.0	9.8	10.5	13.2
1947												
1948	12.7	17.9 ^{oo}	14.8	14.0	13.7	15.0	16.7	13.6	10.7	10.7	10.9	12.0
1949	10.7	13.5	15.4	15.6	14.3	13.0	18.6 ^{oo}	12.9	10.4	10.6	11.4	9.7
1950	11.2	15.0	16.3	20.0	26.0 ^{oo}	18.1	10.7	14.5	10.1	12.0	11.2	10.8
1951	11.3	12.0	15.0	15.1	14.2	15.2 ^{oo}	13.1	13.2	14.4	11.2	11.0	14.2
1952	12.3	12.2	13.2	20.6	11.6	12.4	12.0	20.7 ^{oo}	14.2	9.5	8.0	9.7
1953												
1954												
1955	11.2	11.2	12.6	14.3	13.4	15.7 ^{oo}	10.6	10.6	15.1	10.5	10.6	11.1
1956	14.6	12.8	13.5	12.2	16.2 ^{oo}	11.2	10.1	11.7	11.1	11.0	13.0	10.4
1957	10.8	11.6	16.8	19.3 ^{oo}	17.2	17.1	13.0	11.3	10.7	9.9	11.8	10.2
1958	14.1	16.9	14.4	22.0 ^{oo}	12.8	16.2	18.0	15.8	10.3	11.1	11.2	13.1
1959	17.9 ^{oo}	10.6	14.0	11.6	12.2	13.9	13.4	11.7	11.1	9.1	12.0	10.2
1960	10.9	—	—	—	—	14.0 ^{oo}	12.1	13.4	11.8	10.9	9.2	12.8
1961	12.2	11.8	11.8	15.0	16.1 ^{oo}	11.3	12.1	11.3	14.3	11.4	10.4	10.8
1962	10.4	13.3	14.2	11.2	21.1 ^{oo}	13.4	16.2	13.6	10.8	10.2	10.5	12.2
1963	10.6	14.2	16.1	13.0	12.3	15.6	18.0 ^{oo}	14.7	9.0	16.0	10.9	11.7
1964	12.0	14.9	16.7 ^{oo}	16.0	15.5	13.5	10.7	12.0	16.5	10.7	10.9	10.6
1965	15.1	12.1	12.2	25.4 ^{oo}	15.0	18.1	12.1	11.0	13.0	10.2	9.5	8.6
1966	18.1 ^{oo}	15.0	13.8	13.9	13.5	11.1	14.9	13.0	8.2	10.9	9.9	10.0
1967	17.0 ^{oo}	10.3	11.2	13.4	15.0	12.9	12.2	11.8	9.1	11.0	10.7	10.0
1968	11.6	12.0	17.0 ^{oo}	14.8	13.1	9.0	17.0	8.1	6.0	7.6	16.6	7.2
1969	21.0	22.2 ^{oo}	18.8	18.0	16.0	19.0	18.0	18.0	11.8	16.0	12.3	14.7
1970	17.0	15.6	17.0	18.0	22.7 ^{oo}	12.8	12.0	14.5	12.0	12.0	11.2	10.0
1971	16.1	12.1	13.0	14.1	16.8 ^{oo}	12.9	13.8	10.9	13.6	12.0	10.0	11.3
1972	10.0	12.8	14.9	15.3 ^{oo}	14.6	11.4	11.0	10.8	10.2	11.6	11.9	12.8
1973	10.7	11.3	13.4	19.5	17.8	21.0 ^{oo}	10.5	12.7	14.2	9.9	9.6	11.2
1974	10.4	11.1	14.6	13.2	15.3 ^{oo}	13.5	12.0	11.0	11.0	12.6	12.3	12.5
1975	13.1	16.8	14.8	20.6	17.9	16.0	20.9 ^{oo}	14.0	11.9	11.9	12.5	14.7
1976	16.2	12.8	14.4	21.7 ^{oo}	16.9	19.3	13.8	18.2	14.5	14.2	14.2	12.3
1977	11.7	14.0	14.0	15.8	19.6 ^{oo}	12.7	17.0	12.4	14.5	12.6	15.9	10.5
1978	14.5	15.8	15.1	16.9	17.0	18.3	12.8	12.8	11.2	11.3	18.5 ^{oo}	12.8
1979	12.0	12.1	16.8	17.7 ^{oo}	13.6	13.7	14.0	13.3	12.7	12.7	13.3	9.9
1980	16.8	13.0	12.9	18.2 ^{oo}	15.8	13.7	12.3	15.6	13.5	10.6	15.0	9.9
1981	14.0	12.5	13.0	14.1	12.6	11.0	14.9	16.2 ^{oo}	12.1	10.0	9.1	10.8

Velocidad máxima mensual del viento (en metros por segundo)

^{oo} Vel.máx.anual

TABLA 1 Velocidades máximas mensuales
Estación de Tacubaya

Observatorio instalado en Chapingo Edo. de México.						Velocidades máximas instantáneas				Investiga- ción sobre viento		Tabla 2
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1945	---	---	14.3	18.0	17.5	15.0	19.2*	17.3	19.1	16.0	14.5	9.0
1946	15.1	15.0	16.2	16.9	15.7	16.0	18.2*	14.8	17.7	11.9	10.9	11.0
1947	15.0	13.1	14.9	16.7	18.0*	15.0	15.9	17.1	10.6	12.9	11.9	12.8
1948	13.1	15.9	20.8*	20.4	16.0	10.5	11.3	13.7	14.2	13.2	11.6	17.0
1949	14.0	17.0	10.0	12.5	18.0*	15.0	15.0	15.5	15.0	12.0	---	13.0
1950	15.0	11.0	17.0	20.0*	18.0	12.0	11.5	14.0	12.0	11.0	10.0	12.0
1951	10.5	15.0*	12.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	12.0	7.0	8.0	8.0
1952	8.0	8.5	10.0	10.0	11.0*	10.0	8.0	10.0	7.0	9.0	5.0	10.0
1953	7.5	8.0	7.0	12.0*	10.0	7.5	10.0	5.5	6.5	7.2	8.0	6.0
1954	6.5	15.0	17.0*	19.0	15.5	16.9	13.0	17.0	10.5	9.2	---	13.5
1955	11.0	14.0*	11.5	12.0	---	---	---	10.5	---	---	---	---
1956	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1957	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7.0*
1958	12.0	10.5	17.3*	11.2	13.0	8.5	---	14.0	13.0	11.8	11.0	10.4
1959	---	10.0	16.6	15.0	19.8*	---	---	---	10.4	---	---	---
1960	---	---	---	---	---	14.5	13.0	15.0*	10.6	---	---	---
1961	14.0	12.0	17.1*	16.0	12.9	13.1	11.6	12.1	13.0	10.5	11.0	10.0
1962	11.5	10.0	7.7	12.5	14.0	12.5	5.0	18.7*	7.0	8.2	8.0	11.5
1963	16.0*	10.0	9.0	13.8	9.0	7.0	7.0	7.0	7.0	5.0	---	---
1964	11.0	12.0	12.5	12.0	15.0*	11.0	15.0	8.0	10.0	10.5	7.5	9.5
1965	11.5	10.0	11.0	13.0	15.5	16.0*	15.5	10.5	14.0	10.0	10.0	10.5
1966	15.5*	12.5	14.5	11.5	10.5	10.0	10.0	11.0	8.5	12.0	8.0	9.0
1967	20.5*	19.0	17.0	17.0	19.0	13.0	14.0	16.0	11.0	11.0	14.0	14.5
1968	14.5	14.0	19.0*	15.5	---	---	---	---	---	---	---	---
1969	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1970	15.0	15.6	21.8*	16.0	16.0	15.8	13.0	13.5	12.6	10.9	14.6	10.7
1971	18.0	16.0	17.4	16.0	23.2*	16.0	14.6	14.0	13.0	16.8	12.0	14.4
1972	14.0	17.8	21.1	22.4*	16.0	14.3	13.3	15.4	13.0	18.5	13.1	13.6
1973	15.4	14.1	15.2	17.3*	17.0	14.9	12.0	12.9	12.2	15.3	12.6	13.3
1974	13.0	14.0	15.6	16.9	15.1	17.0*	16.8	14.9	14.9	16.0	12.0	14.5
1975	15.0	14.7	14.1	14.0	13.9	24.1*	14.9	12.9	12.9	14.6	14.1	15.9
1976	14.6	12.9	15.7	15.0	14.3	17.5*	12.6	11.9	13.1	12.1	12.8	11.8
1977	14.5*	14.2	13.2	13.2	14.3	13.0	13.0	11.6	11.4	10.5	9.8	9.3
1978	11.8	15.0	17.3*	16.3	12.8	12.2	13.8	11.9	11.1	10.0	13.2	9.7
1979	15.4*		15.2									
1980	12.8			12.2	11.8	12.2	14.2*	9.3	8.2	11.0	11.0	8.9
1981		11.0*										

* Vel.máx.anual

TABLA 2 Velocidades Máximas mensuales

TABLA 2 Velocidades máximas mensuales

3.9

17

VELOCIDADES MAXIMAS ANUALES

AÑO	Tacubaya	Chapingo	Max max
1941	19.5	—	19.5
1942	16.0	—	16.0
1943	24.9	—	24.9
1944	16.5	—	16.5
1945	17.5	19.2	19.2
1946	16.8	18.2	18.2
1947	—	18.0	18.0
1948	17.9	20.8	20.8
1949	18.6	18.0	18.6
1950	26.0(+)	20.0	26.0(+)
1951	15.2(-)	15.0	15.2
1952	20.7	11.0(-)	20.7
1953	—	12.0	12.0(-)
1954	—	17.0	17.0
1955	15.7	14.0	15.7
1956	16.2	—	16.2
1957	19.3	—	19.3
1958	22.0	17.3	22.0
1959	17.9	19.8	19.8
1960	14.0	15.0	15.0
1961	16.1	17.1	17.1
1962	21.1	18.7	21.1
1963	18.0	16.0	18.0
1964	16.7	15.0	16.7
1965	25.4	16.0	25.4
1966	18.1	15.5	18.1
1967	17.0	20.5	20.5
1968	17.0	19.0	19.0
1969	22.2	—	22.2
1970	22.7	21.8	22.7
1971	16.8	23.2	23.2
1972	15.3	22.4	22.4
1973	21.0	17.3	21.0
1974	15.3	17.0	17.0
1975	20.9	24.1(+)	24.1
1976	21.7	17.5	21.7
1977	19.6	14.5	19.6
1978	18.5	17.3	18.5
1979	17.7	15.4	17.7
1980	18.2	14.2	18.2
1981	16.2	—	16.2

(+) máximo

(-) mínimo

TABLA 3. Velocidades máximas anuales

4. ANALISIS ESTADISTICO PARA DEFINIR LA SIMILITUD DE LA DISTRIBUCION CON LOS DATOS OBTENIDOS

4.1 *Homogeneidad de los datos*

Para poder definir una distribución que se ajuste a los datos obtenidos y pueda ser representativa del fenómeno en estudio, se verificó que las muestras fueran homogéneas, esto es que no tuvieran más variaciones que las propias del fenómeno. Esto consistió en demostrar que la variación tendencial no existía, para ello se hizo una prueba de hipótesis de pendiente nula de la recta de regresión de los datos de cada estación obtenida por ajuste de mínimos cuadrados, donde las abcisas eran los años y las ordenadas las velocidades máximas anuales registradas en ellos (figs 3, 4, 5).

El procedimiento fue el siguiente:

Obtención de la recta de regresión

La recta de regresión se obtuvo mediante el método de ajuste de mínimos cuadrados, para el cual

$$y = mx + y_0 \quad (1)$$

donde

$$m = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2)$$

$$y_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3)$$

Los resultados obtenidos fueron

$$\text{Tacubaya } y = -0.0039x + 26.3408$$

$$\text{Chapingo } y = -0.0301x - 41.4854$$

$$\text{Max}_{\text{max}} \quad y = 0.0361x - 51.4944$$

Prueba de hipótesis de la pendiente igual a cero

A fin de conocer si el valor de la pendiente de la población de eventos es realmente cero y el intervalo de confianza en el que podría fluctuar a un nivel de confianza de 95% y 99%, se hace una prueba de hipótesis sobre la pendiente con el estadístico

$$t = \frac{a_1 - A_1}{\sqrt{1 - r^2}} \sqrt{n-2} \quad (4)$$

con distribución t de Student y n-2 grados de libertad, donde

a_1 es la pendiente de la muestra (Coeficiente de regresión)

A_1 es la pendiente cuyo valor se trata de verificar (cero en este caso)

r es el coeficiente de correlación y se calcula con la expresión

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (5)$$

La hipótesis nula es $H_0: m = 0$ y la alterna $H_1: m \neq 0$

Los coeficientes de correlación, a partir de los valores de las sumatorias calculados al obtener la pendiente y la ordenada al origen de la recta de regresión son

Para Tacubaya

$$r = - 0.0159$$

Para Chapingo

$$r = 0.1075$$

Para Max_{max}

$$r = 0.1404$$

y los estadísticos t:

Para Tacubaya

$$t = \frac{-0.0039 - 0.0}{\sqrt{1 - (-0.0159)^2}} \sqrt{38 - 2} = -0.0234$$

Para Chapingo

$$t = \frac{0.0301 - 0.0}{\sqrt{1 - (0.1075)^2}} \sqrt{33 - 2} = 0.1686$$

Para Max_{max}

$$t = \frac{0.0361 - 0.0}{\sqrt{1 - (0.1404)^2}} \sqrt{41 - 2} = 0.2300$$

Los valores críticos son

Para Tacubaya

$$t_{36, 0.05} = 2.03 > -0.0234$$

$$t_{36, 0.01} = 2.73 > -0.0234$$

Para Chapingo

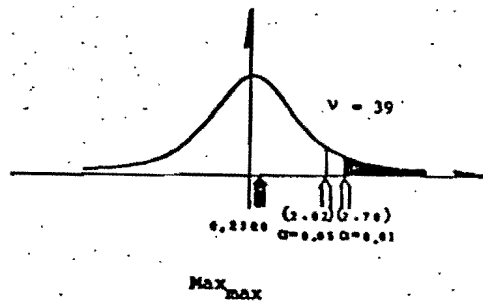
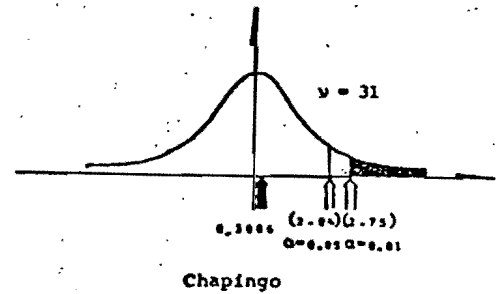
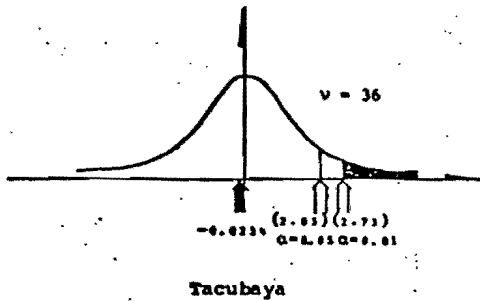
$$t_{31, 0.05} = 2.04 > 0.1686$$

$$t_{31, 0.01} = 2.75 > 0.1686$$

Para Max_{max}

$$t_{39, 0.05} = 2.02 > 0.2300$$

$$t_{39, 0.01} = 2.70 > 0.2300$$



Se acepta la hipótesis nula en todos los casos, esto es, que no hay diferencia significativa al 99% de nivel de confianza, de que la pendiente sea cero.

Se concluye entonces que no hay variación tendencial en los datos y que las muestras son homogéneas.

4.2 Histogramas y polígonos de frecuencias

La experiencia indica que para el análisis de vientos máximos, la estadística de extremos proporciona tres distribuciones adecuadas. La diferencia de estas distribuciones es básicamente la forma en que decrecen sus colas, a pesar de que todas lo hacen en forma exponencial.

Para darse una idea del tipo de distribución extrema más adecuada para cada estación de registro, se hicieron los histogramas y polígonos de cada una (figs 6, 7 y 8).

En las tres gráficas se observa una forma acampanada en la cual la cola izquierda cae más rápido que la derecha, forma típica de las distribuciones extremas para valores máximos.

4.3 Distribución extrema tipo I

La distribución extrema tipo I o también llamada distribución Gumbel, distribución Weibul, distribución Fisher-Tippet tipo I, o simplemente distribución de valor extremo, es de la forma

$$F(v_i) = \exp[-\exp[-\gamma(v_i - \beta)]] \quad (6)$$

y su función de densidad es

$$f(v_i) = \gamma \exp[-\gamma(v_i - \beta) - \exp[-\gamma(v_i - \beta)]] \quad (7)$$

ambas pueden tomar valores en el intervalo $-\infty \leq v_i \leq \infty$. Sin embargo, para distribuciones de valores máximos, el intervalo

negativo encierra valores de probabilidades sumamente pequeños que tienden a cero.

Los valores de β y γ se calculan tomando dos veces el logaritmo natural de la ec 6

$$\text{LnLn} [1/F(v_i)] = -\gamma v_i + \gamma\beta \quad (8)$$

si

$$\left. \begin{aligned} y &= \text{LnLn} [1/F(v_i)] \\ x &= v_i \\ m &= -\gamma \\ y_0 &= \gamma\beta \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

entonces la expresión 8 representa a la recta

$$y = mx + y_0$$

Calculando m y y_0 con las ecs 2 y 3 respectivamente y los valores de x y y dados en 9, donde $F(v_i)$ es la frecuencia relativa acumulada de los histogramas, tenemos que

$$\begin{aligned} \gamma &= -m \\ \beta &= \frac{y_0}{\gamma} \end{aligned} \quad (10)$$

Para las estaciones de registro se obtuvieron los resultados siguientes

Estación	β	γ	Recta de ajuste
Tacubaya	17.3118	0.3816	$y = -0.3816x + 6.6054$
Chapingo	15.9498	0.3684	$y = -0.3684x + 5.8752$
Max _{max}	17.5277	0.3708	$y = -0.3708x + 6.4990$

Las rectas de ajuste así como los valores ajustados de x y y definidos en la ec 9 se muestran en las figs 9, 10 y 11.

Evaluando la ec 7 y graficándola sobre el histograma de frecuencias normalizadas correspondiente, que se obtiene dividiendo las frecuencias entre el número total de datos y entre el ancho de clase, obtenemos las figs 12, 13 y 14.

Para ver la bondad del ajuste de estas gráficas se efectuó la prueba xi-cuadrada con el estadístico

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (11)$$

con $v = k - 1 - m$ grados de libertad, donde

e_i es la i -ésima frecuencia esperada*

o_i es la i -ésima frecuencia observada

k es el número de intervalos de histograma

m es el número de parámetros estadísticos utilizados para calcular e_i

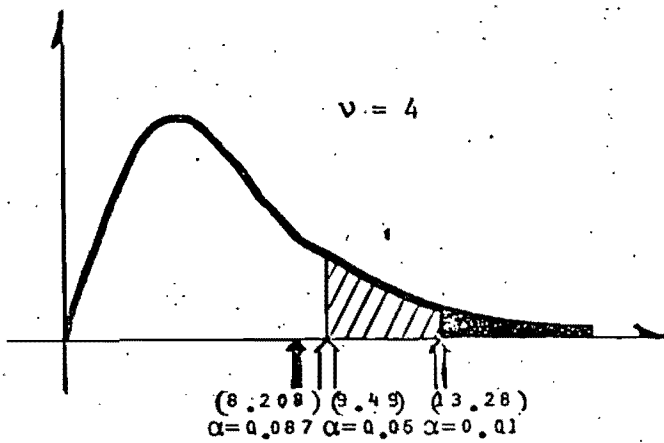
*se recomienda que $e_i \geq 5$

Los resultados obtenidos fueron

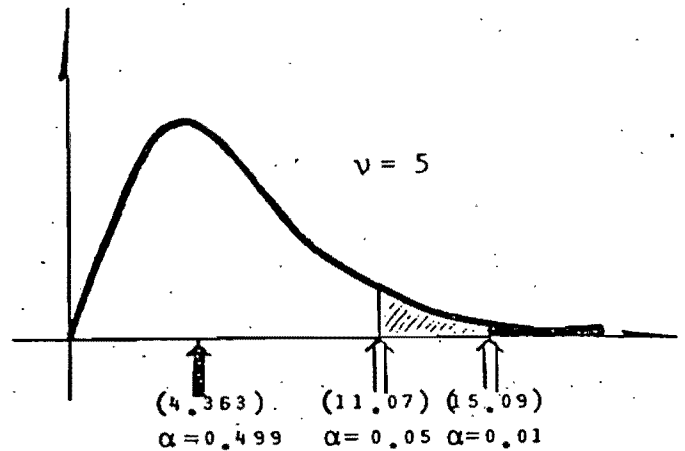
Estación	χ^2	ν	α
Tacubaya	8.208	4	0.087
Chapingo	4.363	5	0.499
Max _{max}	10.455	5	0.067

donde α es el nivel de significancia de la prueba

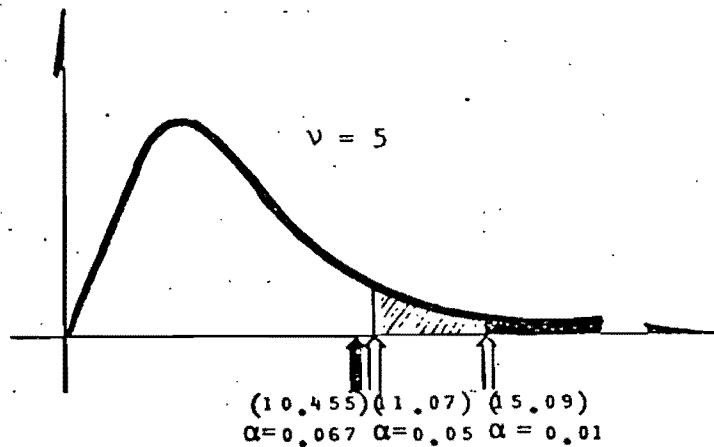
Gráficamente esto es



Tacubaya



Chapingo



Max_{max}

4.4 Distribución extrema tipo II

La distribución extrema tipo II, también llamada distribución Fisher-Tippett tipo II, es de la forma

$$F(v_i) = \exp\left[-(v_i/\beta)^{-\gamma}\right] \quad (12)$$

y su función de densidad es

$$f(v_i) = \exp\left[-(v_i/\beta)^{-\gamma}\right] (\gamma/\beta) (v_i/\beta)^{-(\gamma+1)} \quad (13)$$

Las dos funciones toman valores en el intervalo $0 \leq v_i \leq \infty$.

Procediendo en la misma forma que en la distribución extrema tipo I se llega a que

$$y = \text{LnLn}(1/F(v_i))$$

$$x = \text{Ln}(v_i)$$

$$m = -\gamma$$

$$y_0 = \gamma \text{Ln}\beta$$

y finalmente

$$\gamma = -m$$

$$\beta = \exp(y_0/\gamma)$$

Los resultados obtenidos para las estaciones de registro fueron

Estación	β	γ	Recta de ajuste
Tacubaya	17.141	7.659	$y = -7.659x + 21.764$
Chapingo	15.524	6.192	$y = -6.192x + 16.982$
Max _{max}	17.135	7.053	$y = -7.053x + 20.038$

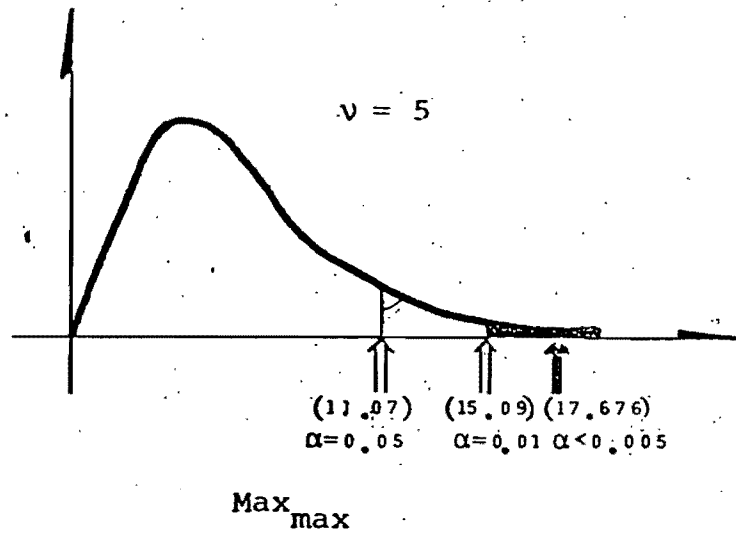
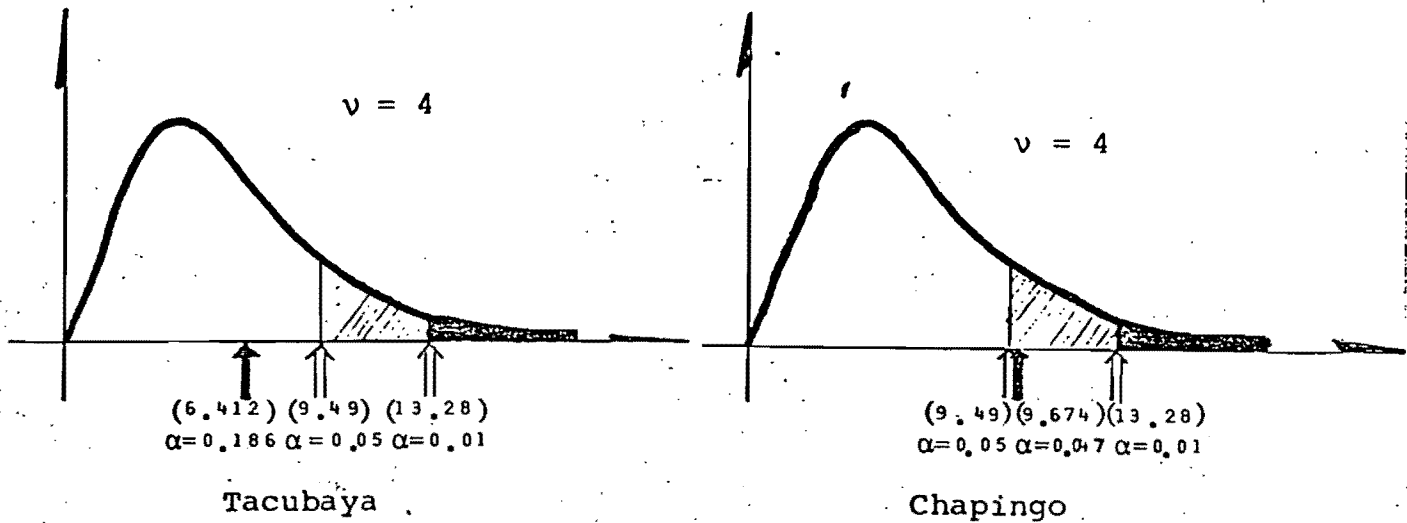
Las rectas de ajuste y los valores ajustado de x y y definidos en la ec 14 se muestran en las figs 15, 16 y 17.

Evaluando la ec 13 y graficándola sobre el histograma de frecuencias normalizadas correspondiente, obtenemos las figs 18, 19 y 20.

Al igual que en la distribución extrema tipo I, se hizo la prueba χ^2 de la bondad del ajuste, empleando la ec 11, y obteniendo los siguientes resultados

Estación	χ^2	v	α
Tacubaya	6.412	4	0.186
Chapingo	9.674	4	0.047
Max _{max}	17.676	5	<0.005

Gráficamente esto es



4.5 Distribución extrema tipo III

La distribución extrema tipo III, también llamada distribución Fisher-Tippet tipo III, es de la forma

$$F(v_i) = \exp\left[-\left[\frac{w - v_i}{w - \beta}\right]^Y\right] \quad (16)$$

y su función de densidad es

$$f(v_i) = \frac{\gamma}{w-\beta} \left[\frac{(w-v_i)}{(w-\beta)} \right]^{\gamma-1} \exp \left[- \left[\frac{(w-v_i)}{(w-\beta)} \right]^{\gamma} \right] \quad (17)$$

Las dos funciones toman valores en el intervalo $-\infty \leq v_i \leq w$

En la misma forma que en las distribuciones anteriores llegamos a que

$$\begin{aligned} y &= \text{LnLn} \left[1/F(v_i) \right] \\ y &= \text{Ln}(w - v_i) \end{aligned} \quad (18)$$

$$m = \gamma$$

$$y_0 = -\gamma \text{Ln}(w - \beta)$$

y finalmente

$$\gamma = m$$

$$\beta = w - \exp \left[- (y_0/\gamma) \right] \quad (19)$$

Dado que en la ciudad de México el valor máximo registrado en 38 años es de 26 m/seg y que no se tiene conocimiento de que haya habido algún otro viento importante, se fijó arbitrariamente la cota $w = 50$ m/seg. Se estudió también el caso de $w = 70$ m/seg, para ver la variación de la distribución con w .

Los resultados obtenidos fueron

Estación	B		Y		Recta de ajuste	
	w = 50	w = 70	w = 50	w = 70	w = 50	w = 70
Tacubaya	17.3719	17.3538	10.9893	18.6921	$y = 10.9893x - 38.2997$	$y = 18.6921x - 74.0878$
Chapingo	16.1554	16.0780	11.8073	19.2311	$y = 11.8073x - 41.5829$	$y = 19.2311x - 76.6848$
Max _{max}	17.7178	17.6474	10.9617	18.4591	$y = 10.9617x - 38.0867$	$y = 18.4591x - 73.0611$

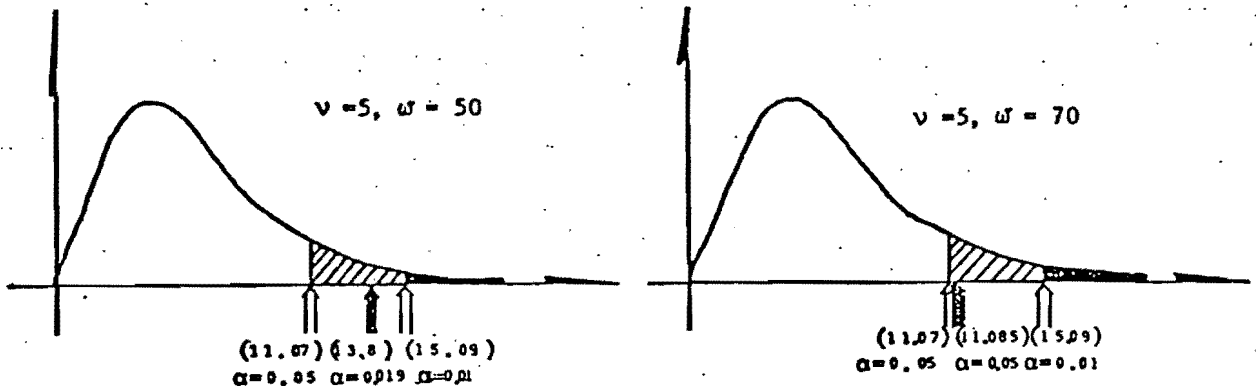
Las rectas de ajuste se muestran en las figs 21, 22, 23, 24, 25 y 26. Evaluando la ec 17 y graficándola sobre el histograma de frecuencias normalizadas correspondiente, se obtienen las figs 27, 28 y 29.

Con la prueba xi-cuadrada de la bondad de ajuste, usando la ec 11, se llegó a los siguientes resultados

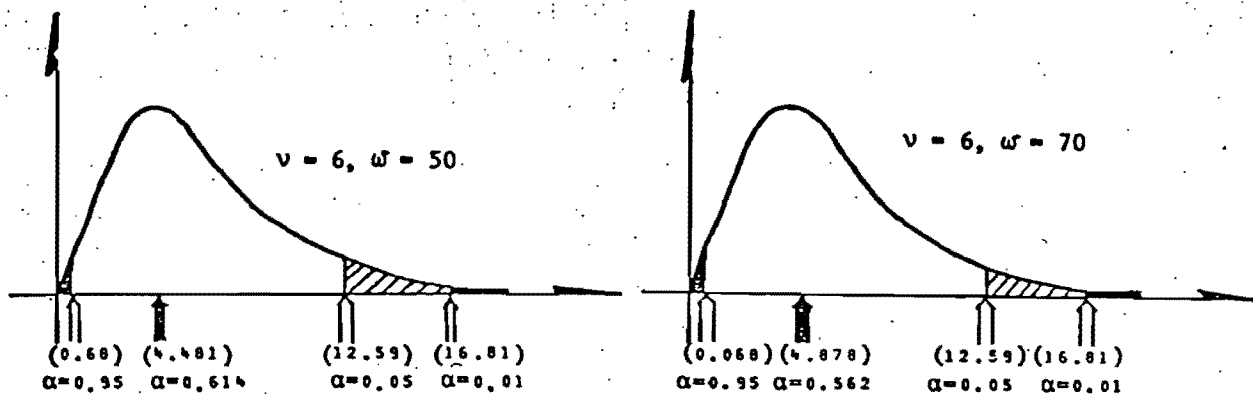
Estación	χ^2		v		α	
	w = 50	w = 70	w = 50	w = 70	w = 50	w = 70
Tacubaya	13.800	11.085	5	5	0.019	0.050
Chapingo	4.481	4.878	6	6	0.614	0.562
Max _{max}	10.288	10.015	5	5	0.071	0.079

Gráficamente esto es

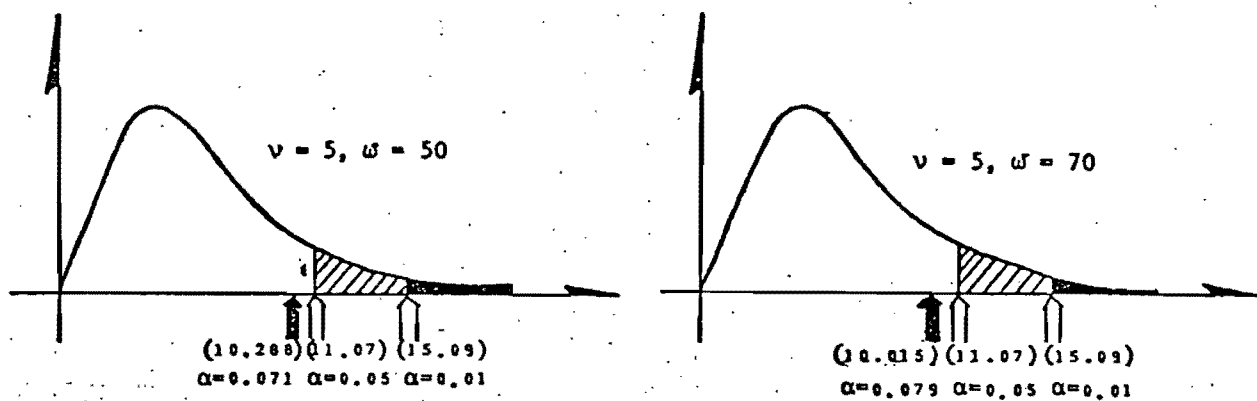
Para Tacubaya



Para Chapingo



Para Max_{max}



4.6 Selección de la distribución extrema más adecuada

Los resultados obtenidos con las diferentes distribuciones, en función del nivel de significancia que tuvieron en la prueba de bondad de ajuste, se pueden resumir en la tabla siguiente

Estación	Tipo I	Tipo II	Tipo III	
			w = 50 m/seg	w = 70 m/seg
Tacubaya	$\alpha = 0.087$	$\alpha = 0.186$	$\alpha = 0.019$	$\alpha = 0.050$
Chapingo	$\alpha = 0.499$	$\alpha = 0.047$	$\alpha = 0.614$	$\alpha = 0.562$
Max _{max}	$\alpha = 0.067$	$\alpha < 0.005$	$\alpha = 0.071$	$\alpha = 0.079$

De aquí se puede concluir que las distribuciones que se ajustan mejor en cada uno de los casos son (ver fig 30)

Tacubaya: Distribución extrema tipo II

Chapingo: Distribución extrema tipo III con w = 50 m/seg

Max_{max} : Distribución extrema tipo III con w = 70 m/seg

5. OBTENCION DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

La velocidad de diseño, asociada a cada estación, se determina en función del periodo de recurrencia en términos de:

$$F(v_D) = 1 - \frac{1}{R} \tag{20}$$

donde

- v_D es la velocidad de diseño asociada
- $F(v_D)$ función de distribución evaluada en v_D
- R es el periodo de recurrencia o retorno

El periodo de retorno se define como el recíproco de la probabilidad de exceder el valor de diseño, y representa el intervalo de tiempo medio, en años, de las ocurrencias de vientos que exceden dicho valor

En el diseño de estructuras, los periodos de retorno más comúnmente usados son los que se muestran en la tabla siguiente

(ref B)

Condición	Periodo de Recurrencia (años)
a) Estructuras que no tienen ocupantes humanos o que su riesgo no es significativo para la vida humana	25
b) Todas las estructuras permanentes excepto las que presentan un grado alto de sensibilidad al viento o un grado alto de peligro para la vida humana o propiedades en caso de falla	50
c) Las excepciones de b)	100

Evaluando $F(v_i)$ para los periodos de retorno 25, 30, 50, 100 y 200 años, y obteniendo el v_i a que corresponde en la función de distribución de cada estación de registro, se llegó a los siguientes resultados

R	$F(v_i) = 1 - \frac{1}{R}$	v_i		
		Tacubaya	Chapingo	Max _{max}
25	0.9600	26.0	24.2	26.0
30	0.9667	26.7	24.6	26.4
50	0.9800	28.5	25.7	27.6
100	0.9900	31.2	27.1	29.2
200	0.9950	34.2	28.4	30.7

Los incrementos de las velocidades de diferentes periodos de retorno se manifiestan mediante las relaciones siguientes

Para Tacubaya

$$\begin{aligned} v_{30}/v_{25} &= 1.025 \\ v_{50}/v_{25} &= 1.096 & v_{50}/v_{30} &= 1.070 \\ v_{100}/v_{25} &= 1.200 & v_{100}/v_{30} &= 1.171 & v_{100}/v_{50} &= 1.095 \\ v_{200}/v_{25} &= 1.313 & v_{200}/v_{30} &= 1.282 & v_{200}/v_{50} &= 1.198 & v_{200}/v_{100} &= 1.094 \end{aligned}$$

Para Chapingo

$$\begin{aligned} v_{30}/v_{25} &= 1.017 \\ v_{50}/v_{25} &= 1.062 & v_{50}/v_{30} &= 1.044 \\ v_{100}/v_{25} &= 1.119 & v_{100}/v_{30} &= 1.101 & v_{100}/v_{50} &= 1.054 \\ v_{200}/v_{25} &= 1.173 & v_{200}/v_{30} &= 1.154 & v_{200}/v_{50} &= 1.105 & v_{200}/v_{100} &= 1.048 \end{aligned}$$

Para Max_{max}

$$\begin{aligned} v_{30}/v_{25} &= 1.017 \\ v_{50}/v_{25} &= 1.063 & v_{50}/v_{30} &= 1.045 \\ v_{100}/v_{25} &= 1.124 & v_{100}/v_{30} &= 1.105 & v_{100}/v_{50} &= 1.057 \\ v_{200}/v_{25} &= 1.182 & v_{200}/v_{30} &= 1.162 & v_{200}/v_{50} &= 1.112 & v_{200}/v_{100} &= 1.051 \end{aligned}$$

En la siguiente tabla se encuentran evaluadas las funciones de distribución de cada estación de registro. Su representación gráfica está en la fig 31.

v_1	F(v_1)		
	Tacubaya	Chapingo	Max _{max}
4	0	5.399×10^{-17}	5.601×10^{-32}
5	0	2.823×10^{-3}	2.651×10^{-24}
6	0	2.374×10^{-10}	1.955×10^{-18}
7	0	4.607×10^{-8}	5.734×10^{-14}
8	0	2.774×10^{-6}	1.395×10^{-10}
9	4.401×10^{-61}	6.594×10^{-5}	5.014×10^{-8}
10	1.170×10^{-27}	0.001	4.166×10^{-6}
11	1.050×10^{-13}	0.005	1.135×10^{-4}
12	2.161×10^{-7}	0.020	0.001
13	2.452×10^{-4}	0.057	0.008
14	0.009	0.126	0.031
15	0.062	0.226	0.083
16	0.184	0.348	0.170
17	0.345	0.476	0.285
18	0.503	0.597	0.414
19	0.635	0.701	0.540
20	0.736	0.786	0.652
21	0.810	0.851	0.754
22	0.863	0.899	0.818
23	0.900	0.933	0.872
24	0.927	0.957	0.912
25	0.946	0.972	0.941
26	0.968	0.983	0.960
27	0.970	0.990	0.474
28	0.977	0.994	0.983
29	0.982	0.996	0.989
30	0.986	0.998	0.993
31	0.989	0.999	0.996
32	0.992	0.999	0.997
33	0.993	1.000	0.998
34	0.995		0.999
35	0.996		0.999
36	0.997		1.000
37	0.997		
38	0.998		
39	0.998		
40	0.998		
41	0.999		
42	0.999		
43	0.999		
44	0.999		
45	0.999		
46	0.999		
47	1.000		
48			

Las velocidades máximas registradas en las estaciones fueron (de la tabla 3)

Tacubaya	26.0 m/seg	←
Chapingo	24.1 m/seg	
Max _{max}	26.0 m/seg	

Valores que se cubren con periodos de recurrencia de

Tacubaya	24.81 años
Chapingo	24.04 años
Max _{max}	25.24 años

Las funciones de distribución con cada uno de los periodos de retorno y sus correspondientes velocidades de diseño se muestran en las figs 32 a 36

En la fig 31 (o en la tabla de la hoja 5.3), se puede observar que la función de distribución de la estación Max_{max} se cruza con la de Tacubaya al principio y al final, con lo que se pierde el objetivo de Max_{max}, que fué el de tener una estación ficticia que tuviera siempre las condiciones más desfavorables de las estaciones reales.

Esto se podría evitar si se selecciona una sola función de distribución. De la hoja 4.17, se seleccionó la función de distribución tipo III con $w=70$ m/seg por ser en la que todas las estaciones se ajustaron al menos con un 95% de confianza.

Los resultados obtenidos fueron del orden de los que se

obtuvieron considerando la curva de mejor ajuste para cada estación, pero fueron menores, razón por la que no se optó por este segundo camino.

6. CORRECCIONES DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

Las condiciones en que generalmente se registra la velocidad del viento no siempre corresponden con las estándar para obtener la velocidad básica de diseño.

En tales casos, para llegar a ésta se debe corregir la velocidad de diseño obtenida en cada sitio, por los siguientes factores:

Variación con la altura de medición /

Variación por la rugosidad del terreno /

Variación por efectos del tipo de aparato /

Variación por la topografía /

6.1 *Variación con la altura de medición y la rugosidad del terreno*

Existen dos leyes básicas de representar ésta variación: la

potencial y la logarítmica. Ambas proporcionan resultados aproximados a los que se han registrado experimentalmente, siendo la variación logarítmica la que más se aproxima, pero es más elaborado su desarrollo.

6.1.1 Ley potencial

La ley de variación potencial es

$$v(z_1) = v(z_2) \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^\alpha \quad (21)$$

donde

$v(z_1)$ es la velocidad a la altura z_1

$v(z_2)$ es la velocidad de referencia

z_1 es la altura a que se quiere conocer la velocidad

z_2 es la altura de la velocidad de referencia

α es una constante que depende de la rugosidad del terreno

Esta variación también se puede representar para un mismo lugar como

$$v(z_1) = K(z_1)^\alpha \quad (22)$$

donde K depende de la velocidad y altura de referencia y de la rugosidad del terreno.

Los valores de α para diferentes tipos de rugosidad del terreno son (ref B.6.2)

Tipo de superficie	α
Terreno abierto con escasos obstáculos	0.16 ✓
Terreno cubierto uniformemente con obstáculos de entre 9 y 15 m de altura	0.28 ✓
Terreno con obstáculos grandes e irregulares	0.40 ✓

Las condiciones en que fueron registrados los datos en cada una de las estaciones fueron

Estación	z (m)	α
Tacubaya	19.0	0.28
Chapingo	12.0	0.16
Max _{max}	12.0*	0.16*

Con estos valores, las velocidades de diseño asociadas a cada estación de registro y $z_1 = 10$, las velocidades asociadas a cada estación, corregidas por altura, son (ec 21):

Estación	v (10)
Tacubaya	23.8 4
Chapingo	24.9
Max _{max}	26.2

* Valores más desfavorables (dan velocidades más grandes)

6.1.2 Ley logarítmica

La ley logarítmica de variación con la altura es

$$v(z_g) = 2.5 u_* \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (23)$$

donde

$v(z_g)$ es la velocidad del viento en el nivel z_g

u_* es la velocidad cortante

$z = z_g - z_d$

z_g es la altura desde el suelo

z_d es la altura del plano de desplazamiento nulo

z_0 es la longitud de rugosidad

Los parámetros z_0 y z_d son los que definen la rugosidad del terreno.

Para obtener la velocidad cortante, u_* , tomamos $v(z)$ como la velocidad de diseño asociada y z_g como la altura a que fueron tomados los datos correspondientes.

El valor de z_d es cero, excepto para el centro de grandes ciudades donde será el valor menor de 20 m o $0.75 \bar{h}$, donde \bar{h} es la altura media de los edificios de alrededor (ref B). El valor de $z_d = 0$ es un valor conservador.

El valor de z_0 será el que rija en la zona donde fueron tomados los datos, según la siguiente tabla (ref B)

Zona expuesta	z_0 (m)
Campo abierto	0.03-0.10
Suburbios	0.20-0.30
Centro de poblaciones	0.35-0.45
Centro de grandes ciudades	0.60-0.80

Los valores menores de z_0 proporcionan velocidades más altas.

Entonces, la velocidad de cortante será

$$u_* = \frac{0.40 v(z)}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} \quad (24)$$

Valuando nuevamente la expresión de $v(z)$ pero con $z_g = 10m$ y z_0 correspondiente al tipo de zona, obtenemos la velocidad de diseño corregida por altura asociada a la estación.

Para los casos en estudio tenemos que los datos para determinar u_* , y los resultados de u_* , son

Parámetro	Tacubaya	Chapingo	Max _{max}
z_g (m)	19.00	12.00	19.00*
z_d (m)	0.00	0.00	0.00
z (m)	19.00	12.00	19.00
z_0 (m)	0.20-0.30	0.03-0.10	0.03-0.10
$v(z)$ (m/seg)	28.52	25.68	27.62
u_*	2.505-2.750	1.714-2.146	1.713-2.106

* Valor más desfavorable

Por tanto, las velocidades de diseño asociadas a cada estación registro, corregidos por altura, son

Estación	v(10)
Tacubaya	24.50-24.11
Chapingo	24.89-24.71
Max _{max}	24.88-24.25

6.1.3 Efectos de rugosidad y topografía

Si interesara definir una velocidad regional única para el D.F., habría que corregir a las anteriores por efectos de rugosidad y topografía. Esto se hará a continuación empleando las dos leyes anteriores con los factores de rugosidad correspondientes, y dividiendo entre 1.2 (ref T.) la velocidad de Tacubaya, para corregir por el efecto del promontorio en que se encuentra el aparato.

6.1.3.1 Efectos de rugosidad

Para la variación exponencial, si $v(z_1, \alpha_1)$ es la velocidad a la altura z_1 sobre un terreno cuya rugosidad es α_1 y $v(z_2, \alpha_2)$ es la velocidad a la altura z_2 sobre un terreno de rugosidad α_2 , la ley de variación será para cada caso (ver fig 37)

$$v(z_1, \alpha_1) = v_G \left(\frac{z_1}{z_{G1}}\right)^{\alpha_1}$$

$$v(z_2, \alpha_2) = v_G \left(\frac{z_2}{z_{G2}}\right)^{\alpha_2}$$

donde v_G y z_G son la velocidad gradiente y la altura gradiente, respectivamente.

Igualando la velocidad gradiente (en este caso velocidad de referencia), despejando $v(z_2, \alpha_2)$ y considerando que $z_1 = z_2 = 10m$, llegamos a que

$$v(10, \alpha_2) = v(10, \alpha_1) \frac{(z_{G1})^{\alpha_1}}{(z_{G2})^{\alpha_2}} 10^{(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (25)$$

Para evaluar la expresión anterior, se debe conocer la altura gradiente. El valor de la altura gradiente asociado a cada rugosidad es (ref B.6.2)

Tipo de superficie	z_G (m)
Terreno abierto con escasos obstáculos	2 75
Terreno cubierto uniformemente con obstáculos entre 9 y 15 m de altura	4 00
Terreno con obstáculos grandes e irregulares	5 20

Evaluando la ec 25 para cada uno de los casos en estudio, obtuvimos que la velocidad de diseño asociada corregida por altura y por rugosidad, $v(10^*)$, utilizando la variación exponencial, fue

Estación	v (10*) (m/seg)
Tacubaya	39.3
Chapingo	24.9
Max _{max}	26.2

El procedimiento de corrección por rugosidad para la variación logarítmica es el siguiente. Sean las longitudes de rugosidad z_{o1} y z_o para los dos terrenos, donde z_{o1} z_o (los subíndices terminados con 1 se refieren al perfil para el cual se corregirá por rugosidad) fig 38. La ley de variación logarítmica para cada uno de los perfiles es

$$v(z_g, z_o) = 2.5 u_* \ln \left(\frac{z_g - z_d}{z_o} \right) \quad (26)$$

$$v(z_{g1}, z_{o1}) = 2.5 u_* \ln \left(\frac{z_{g1} - z_{d1}}{z_{o1}} \right) \quad (27)$$

En caso de no conocer u_* , se despeja de la primera ecuación. Con este valor y los de z_o y z_{o1} , de la siguiente expresión obtenemos u_{*1}

$$u_{*1} = u_* \left(\frac{z_{o1}}{z_o} \right)^{0.0706} \quad (28)$$

(equivalente a usar la gráfica de la fig 39).

Sustituyendo este valor en la ec 27, obtenemos la velocidad de diseño asociada, corregida por la altura y la rugosidad el terreno.

Nótese que si $z_{o1} = z_o$, entonces, $u_{*1} = u_*$. Esto significa que

al hacer la corrección por altura se puede hacer la corrección por rugosidad simultáneamente cuando el terreno es campo abierto. Así, las velocidades corregidas por la rugosidad del terreno, $v(10^*)$, son

Estación	$v(10^*)$ (m/seg)
Tacubaya	31.8-29.2
Chapingo	24.9-24.7
Max _{max}	24.9-24.3

6.1.3.2 Efectos de la topografía

La velocidad del viento es afectada por la topografía del sitio de registro.

Para corregir la velocidad por topografía, habrá que dividir entre alguno de los factores (C_T) que a continuación se muestran, dependiendo de las condiciones locales en que se halle la estación de registro (ref. B)

Tipo de terreno	C_T
Muy accidentado como el centro de ciudades importantes	0.70
Zonas arboladas, lomeríos, barrios residenciales o industriales	0.80
Campo abierto, terreno plano	1.00
Promontorios	1.20

En tal caso, la velocidad regional de diseño determinada con los casos en estudio son

Estación	Velocidad ^{regional} básica de diseño	
	Variación exponencial	Variación logarítmica
Tacubaya	32.7	26.5-24.3
Chapingo	24.9	24.9-24.7
Max _{max}	26.2	24.9-24.3

Estos valores, dado que ya fueron corregidos por todos los tipos de variación, debieran ser iguales. Los resultados obtenidos nos permiten concluir que en este caso la ley de variación logarítmica tiene mejor aproximación que la ley potencial, ya que los resultados obtenidos con cada colección de datos se parecen más entre sí.

6.2 Variación por efectos del tipo de aparato

La velocidad básica de diseño cuando es obtenida de datos cuyos registros no son velocidades instantáneas, debe ser corregida por los efectos que pudieran ocasionar las ráfagas. En nuestro caso no se hicieron correcciones de este tipo por tener registros instantáneos.

Cuando sea necesaria ésta corrección, se usarán las relaciones de la siguiente tabla (ref B).

t (seg)	2	5	10	30	60	100	200	500	1000	3600
\bar{v}_t/\bar{v}_h	1.53	1.47	1.42	1.28	1.24	1.18	1.13	1.07	1.03	1.00

7. EXTRAPOLACION A CENTRO DE CIUDADES

Debido a la variación que se presentó en las velocidades básicas de diseño obtenidas en el cap 6, y con el fin de obtener velocidades de diseño básicas para cada tipo de terreno existente en el D. F., se optó por corregir las velocidades de diseño asociadas a las estaciones de registro por todos los factores excepto el de la rugosidad del terreno, y así, podría extrapolarse la velocidad a 10 m de altura de centro de grandes ciudades.

Para ello se planteó la siguiente hipótesis. El valle de México es una zona que debe tener una velocidad gradiente igual para todos los tipos de terreno existentes en él (tipo de rugosidades), por consiguiente, sus perfiles debe cumplir con lo que se representa en la fig 40)

Para la variación potencial, sabemos que al igualar la velocidad gradiente de dos variaciones de rugosidades diferentes, podemos obtener cualquier parámetro que sea desconocido a partir de los demás, si éstos son conocidos, así que

$$v(10, \alpha_3) = v(10, \alpha_1) \frac{(z_{G1})^{\alpha_1}}{(z_{G3})^{\alpha_3}} 10^{(\alpha_3 - \alpha_1)} \quad (29)$$

Evaluando esta expresión con la velocidad de Chapingo (terreno a campo abierto y plano) se encontró que

$$v(10, \alpha_3) = 8.7 \text{ m/seg}$$

La ref T establece que la velocidad básica de diseño de centro de ciudad es 0.7 la de campo abierto, de ahí que

$$v(10; \alpha_3) \doteq 17.4 \text{ m/seg}$$

valor que es aproximadamente del doble del que resulta de la ec 29.

Para la variación logarítmica, se obtiene la velocidad gradiente con la ec 23, considerando las características de Chapingo (terreno plano a campo abierto) y $z_g = 275 \text{ m}$, obteniendo como resultado que v_G oscila en el intervalo 38.8-42.1, con media igual a 40.45. Sustituyendo estos valores en la ec 24 y considerando las características de centro de ciudad, llegamos a que u_{*3} oscila en el intervalo 2.40-2.73, con media igual a 2.57. Evaluando la ec 23 para $z_g = 25 \text{ m}$ (ya que sólo se puede evaluar para alturas mayores a 20.8 m) y condiciones de centro de ciudad, resulta que $v(25, z_{O3})$ oscila en el intervalo 12.7-12.5, con media igual

a 12.6.

A fin de comparar ésta velocidad con la del terreno a campo abierto, se obtuvo $v(25, z_{01})$ la cual oscila entre 21.9 y 21.0 m/seg, y su media es 21.5 m/seg.

Para verificar lo establecido en la ref T, y tomando el valor medio del intervalo, se llega a que

$$v(25, z_{03}) \doteq 15.1 \text{ m/seg}$$

valor mayor a 12.6 m/seg.

La relación entre velocidades queda

$$v(10, \alpha_3) \doteq 0.35 v(10, \alpha_1)$$

para la variación potencial, y

$$v(25, z_{03}) \doteq 0.59 v(25, z_{01})$$

para la variación logarítmica, y para que se cumpla que

$$v(25, z_{03}) = 0.7 v(25, z_{01})$$

habría que utilizar la siguiente expresión

$$u_{*3} = 0.7 u_{*1} \frac{\ln\left(\frac{z}{0.065}\right)}{\ln\left(\frac{z}{0.7}\right)}$$

que aproximadamente es

$$u_{*3} = 0.7((1.19) u_{*1})$$

con lo que $u_{*3} \doteq 3.0$

El valor de 0.7 es bastante conservador, aparentemente, para las dos leyes de variación y sugiere que estas relaciones sean determinadas experimentalmente.

8. COMPARACION DE LAS VELOCIDADES BASICAS DEL REGLAMENTO Y LAS OBTENIDAS

Las velocidades básicas que se indican en el reglamento son - $v_1^* = 80 \text{ km/hr} = 22.2 \text{ m/seg}$ y $v_2^* = 92 \text{ km/hr} = 25.6 \text{ m/seg}$, para estructuras tipo B y A, respectivamente.

Estos valores son velocidades medias horarias, por lo que hay que convertirlas en velocidades instantáneas para que puedan ser comparadas con las que se obtuvieron en este trabajo.

La ecuación para esta conversión es (ref B)

$$v_{\text{instantánea}} = 1.53 v_{\text{horaria}}$$

por lo que $v_1 = 34.0 \text{ m/seg}$ y $v_2 = 39.1 \text{ m/seg}$.

Para determinar el periodo de retorno de estas velocidades, a partir de la distribución de probabilidades de Chapíngo que corresponde a terreno plano en campo abierto, las velocidades anteriores se deben afectar por la ley de variación, especificada por el reglamento, con la altura al nivel de medición -

de 12 m, con lo cual se obtienen $v_1 = 36.2$ m/seg y $v_2 = 41.7$ -- m/seg. Los periodos de retorno correspondientes son 41,227.7 años y 15,673,981.2 años, los cuales, de acuerdo con los criterios indicados en el cap 5 son sumamente largos.

Dado que la selección de la velocidad básica de diseño refleja el periodo de retorno, para las velocidades de vientos máximos, se puede concluir que las velocidades básicas del reglamento -- son muy conservadoras.

Cabe hacer notar, que el reglamento del D.F., propone una -- velocidad de 110 km/hr para estructuras en promontorios, que comparada con la de 80 km/hr nos da un factor de 1.38.

En la literatura, el valor máximo encontrado fué de 1.2, por lo que 1.38 también es un valor muy conservador.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente, de este trabajo se puede concluir que

- La ley de variación logarítmica con la altura y rugosidad del terreno, da mejores resultados que la potencial, en los casos estudiados
- Las gráficas de v_{max} vs. año de registro, de Tacubaya y Chapingo, hacen suponer que v_G en el valle de México es la misma
- Un valor conservador de la velocidad regional para el D.F. podría ser 25.0 m/seg (aproximadamente 60 km/hr*)
- La velocidad básica de diseño para el D. F. podría ser

*Velocidad expresada en relación a la velocidad media horaria

Tipo de terreno	v_{BD} (m/seg)	v_{BD} (km/hr)
Campo abierto	25.0	60.0*
Suburbio	20.5	48.0*
Centro de ciudad	17.5	41.0*

- El factor de topografía para promontorios, del reglamento, es muy conservador, y podría ser más aceptable el de 1.2.
- Es deseable que se aumente el tamaño de la muestra para incrementar la probabilidad de que se registre una velocidad de viento muy alta. Para esto se recomienda que periódicamente se incluyan en la muestra los datos registrados recientemente. También es conveniente que además de actualizar la información, se empleen las nuevas técnicas de procesamientos de datos. De esta forma se estrecha la relación de éstas con el reglamento.
- Es recomendable que se amplie el sistema de registro, en el valle de México, de esta forma, los resultados que se puedan inferir, serán de mejor calidad.
- Es necesario definir los valores de α , v_G , z_G , z_0 y u_* para los diferentes tipos de terreno del D. F., para seleccionar la ley de variación más adecuada, ya que las velocidades básicas de diseño que se obtienen en este estudio, aunque son

*Velocidad expresada en relación a la velocidad media horaria

menores, no son muy diferentes a los del actual reglamento, que son consideradas muy altas, y los valores utilizados de estos parámetros son resultados estadísticos de estudios experimentales hechos en diversas partes de características similares, que podrían ser considerados conservadores

- Para obtener índices de turbulencia y evaluar la rugosidad local, se recomienda que se hagan análisis estadísticos de registros continuos con intervalos muy cortos
- También es conveniente que se determinen factores de ráfaga mediante estudios estadísticos de la respuesta dinámica de estructuras en vientos turbulentos.

10. AGRADecIMIENTOS

Se agradece a los doctores Octavio Rascón Chávez y Luis Esteva Maraboto, así como a los profesores Neftalí Rodríguez Cuevas y Arturo Arias Suárez, por sus consejos y sugerencias, en el desarrollo de este trabajo. También se agradece al personal de las estaciones de registro por las facilidades otorgadas en la recabación de información y a las señoritas Ma. Guadalupe Saavedra y Silvia del Río por su ayuda en la transcripción mecanográfica.

11. REFERENCIAS

- A Ing. Oscar de Buen y López de Heredia, "Diseño por Viento de Edificios Altos y el Reglamento de las Construcciones para el D.F.", Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Morelia, Mich., Marzo 1982.
- B P.L.Gould y S.H. Abu-Sitta, "Dynamic Response of Structures to Wind and Earthquake Loading", Pentech Press, 175 pp
- B.6.2 Davenport, A.G., "The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures," Proc. Inst. Civ. Engrs., Vol 19, Aug. 1961, pp. 449-472
- B.6.11 Thom, H.C.S., "New Distributions of Extreme Winds in the United States", J. Struct. Div. ASCE, Vol 94, N° ST7, July 1968, pp. 1787-1801; Vol 95, N° ST8, Aug. 1969, p.
- C CEB International Course on Structural Concrete. CI-2 "Basic Data on Loads", Laboratorio Nacional de Engenharia Civil. Lisbon, Portugal, 1973
- C.1.1 Gumbel, E.J. "Statistics of Extremes", Columbia University Press, New York, 1967.
- D Jack R. Benjamin & C. Allin Cornell, "Probability, Statistics, and decision for Civil Engineers", Mc Graw-Hill, 1970, 684 pp.

- E.II.23 Simiu, E.; Recent development in wind engineering and their proposed uses in codes and standards", Second U.S. National Conference on wind Engineering Research (Proceedings), Colorado, USA, June 1975
- F Panel Conference, "Wind and Seismic Effects" N.B.S. Special Publication 444 Proceedings of the sixth Joint UJNR, Department of Commerce, National Bureau of Standards.
- G The U.S. Agency for International Development, Washington D.C. "Design, Siting, and Construction of Low-Cost Housing and Community Buildings to Better Withstand Earthquakes and Windstorms", Editor William F Reps and Emil Simiu, 1974.
- H Publicación 407 del Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1977 "Manual de Diseño pro viento"
- I Dr. Jorge Aguirre Romano, Ing. Jorge Sánchez-Sesma, Ing. Agustín Villegas Villarreal, "Las Velocidades máximas del Viento en México", Memorias del III Congreso Nac. de Ing. Estructural, Morelia, Mich. marzo 1982.
- I.1 A.G.Davenport, "A Rationale for the Determination for Design wind Velocities" J.Structu.Div., ASCE, Vol 86, STS (1960) pp 39-68
- I.6 H.W. Church. "Wind Data Application in Developing The Ansi A. 58.I-1980 Standard", Preprints of the workshop on wind climate, Institute for Disaster Research, Texas, Tech, University, Nov. 1979.
- I.22 J. H. Sandoval R., "Regionalización Eólica de la República Mexicana", Instituto de Ingeniería UNAM, 1976
- J Thom. "Distributions of Extremes wind in United States" Proceeding. ASCE, Vol 86, ST4, April 1960 pp. 11-24 Vol 86, ST11, nov 1960, pp 161-163 (Discussion).
- K Sherlock "Nature of the Wind", Proceedings, ASCE, Vol 85, ST3, March 1959, Vol 86, ST7, March 1960. Vol 84, ST4, July 1958, Vol 86, 577, July 1960.
- L Task Committee on Wind Force, "Wind Forces on Structures (final Report)", Committee on loads and Stresses Structural Division ASCE
- N Rodríguez Cuevas, Neftalí, "La velocidad del viento y su estimación para fines de diseño estructural" Primer Seminario Nacional "La Ingeniería en casos de desastre" Colegio Ing. Civ. de Jalisco, 1975

- O Rodríguez Cuevas, Neftalí, "Periodicidad en el movimiento del aire ", Revista de Ingeniería, ene-mar 1974, México, pp. 31-42
- P Rodríguez Cuevas, Neftalí, "Turbulencia del aire y sus efectos en estructuras", Revista de Ingeniería, ene-mar 1974, México, pp 63-78
- Q Court, Arnold, "Wind extremes as design factors", 27 th Regional Meeting of American Geophysical Union, Pasadena, Calif., feb 1952
- S Simiu, E. y Scanlan, R. H., "Wind effects on structures: an introduction to wind engineering", John wiley and Sons, 1978
- S.2.22 E. Simiu. "Logarithmic Profiles and Design wind Speeds", J.Eng. Mech. Div., ASCE Vol 99, N° EMS, Proc. Paper 10 100 (oct 1973) pp 1073-1083
- T "Manual de diseños de obras civiles de la CFE", Sección C: Estructuras, Tema: Criterios de diseño, Capítulo: 1.4 Diseño por viento, México, 1982.
- CC James V. Bradley "Distribution-Free Statistical Tests", Prentice-Hall, Inc. 1968, 388 pp.
- DD Winkler, Robert L., Hays, William L, Host, Rinehart and Winston, "Statistics Probability, Inference, and Decision", 1975, 889 pp.
- EE Borges, J. Ferry and Castanheta, M. "Generalized Theory of Structural Safety" International Course on Structural Concrete, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, Portugal, 1973, C1-1
- FF Yoso Fujino, Manabu Ito, Toshio Sakai, "Probability distributions of yearly maximum wind speeds in Japan" International Conference for protection from natural disasters
- GG Rodríguez Cuevas, Neftalí, "Aplicación de la estadística de extremos a la determinación de velocidades del viento para diseños estructurales", Publicación 105 del Instituto de Ingeniería, oct 1964, México.
- HH Rodríguez Cuevas, Neftalí, "Desplazamiento de estructuras simples bajo la acción de vientos máximos registrados en la Cd. de México.
- II Mayne, J.R., "The estimation of extreme winds", Building Research Establishment Reprint, R3/79, from Journal of Industrial Aerodynamics, 5(1979) 00 109-137

JJ

Simiu, E., "Modern developments in wind engineering: part 1, 2 and 3", Revista Engineering Structures. Vol. 3, oct 1981 y Vol 4 abr 1982

KK

Rodríguez Cuevas, Neftalí, "Medición de la velocidad del viento sobre el edificio prisma", Publicación 346 del Instituto de Ingeniería, México.

LL

Rodríguez Cuevas, Neftalí, "Variación de la velocidad del viento con la altura en un punto", Publicación 47 del Instituto de Ingeniería, México.

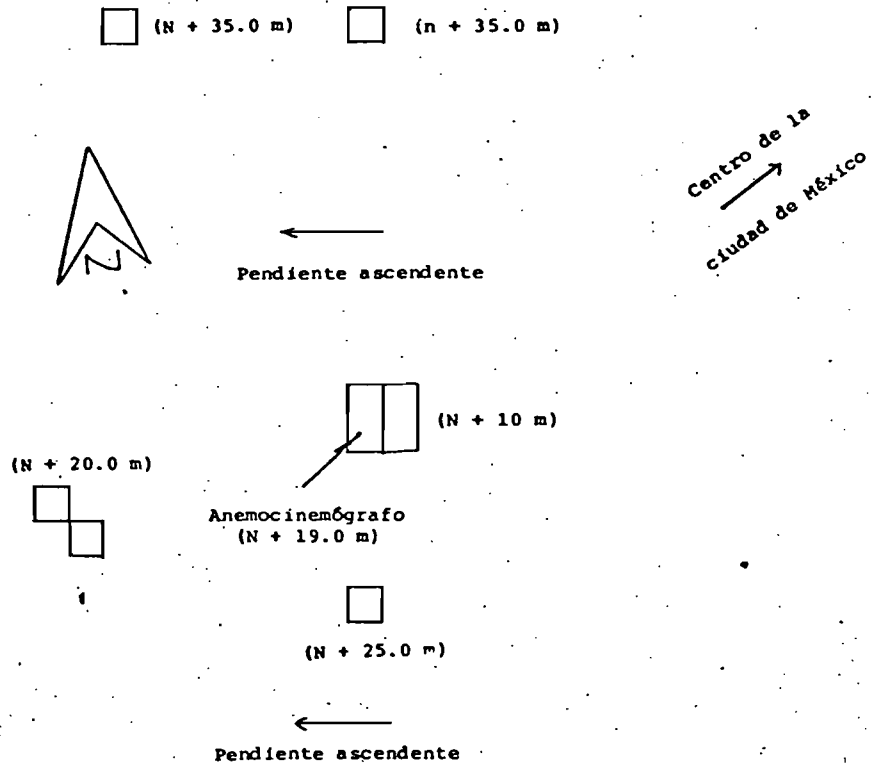


FIG 1 Cróquis de los obstáculos en la estación Tacubaya

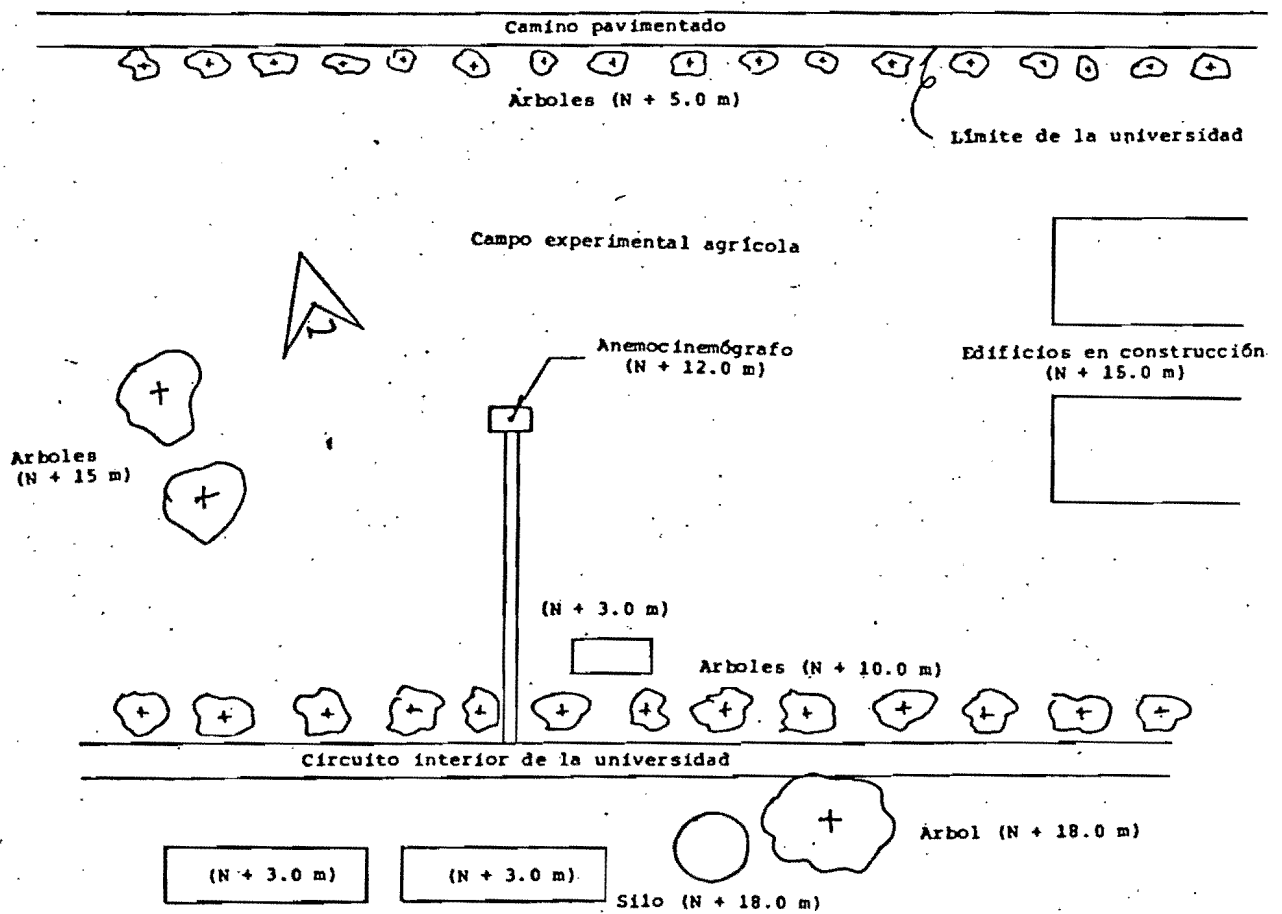


FIG 2 Cróquis de los obstáculos en la estación de Chapingo

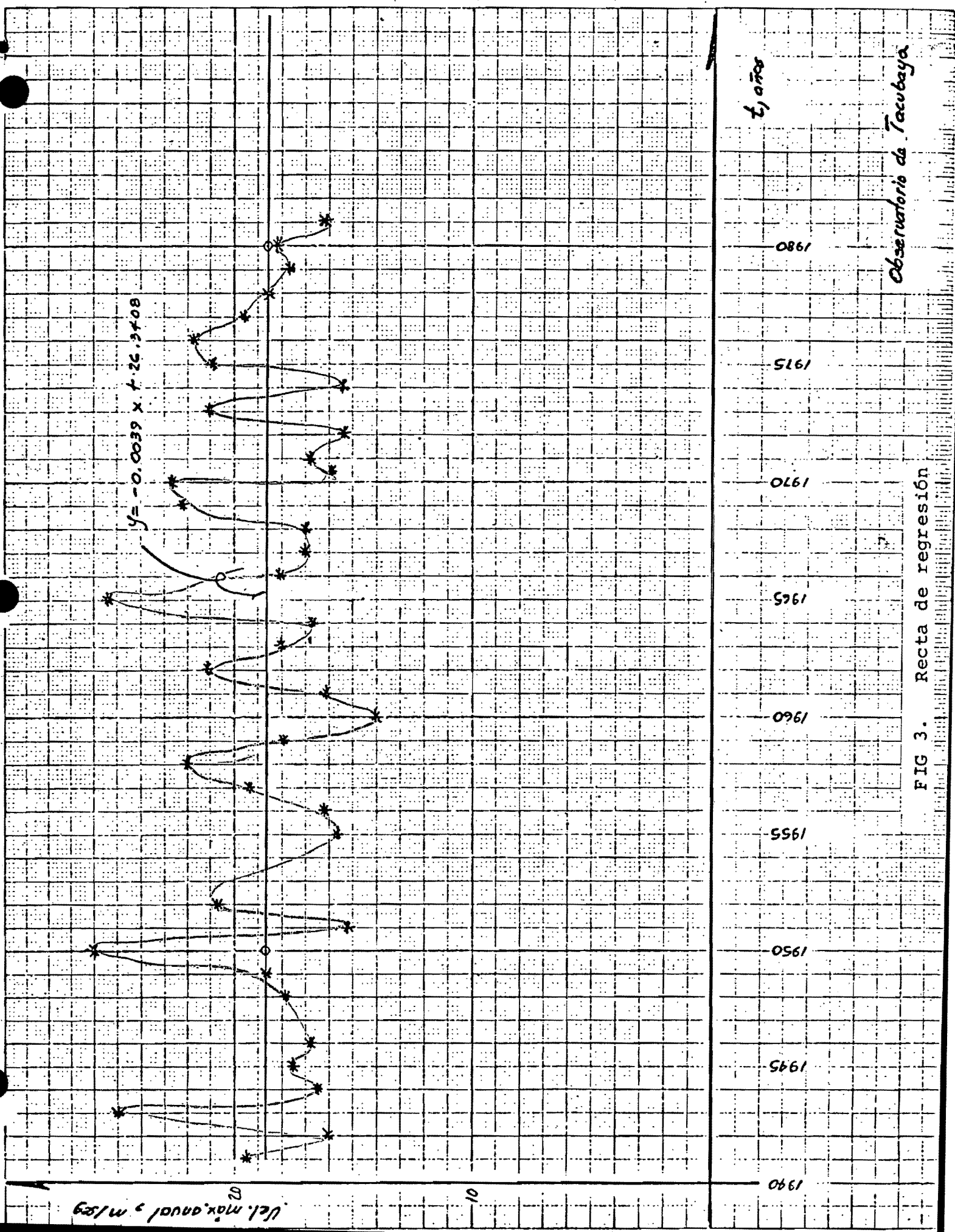


FIG 3. Recta de regresión

Observatorio de Tacubaya

t, años

1980

1975

1970

1965

1960

1955

1950

1945

1940

Vel. Max. anual, m/seg

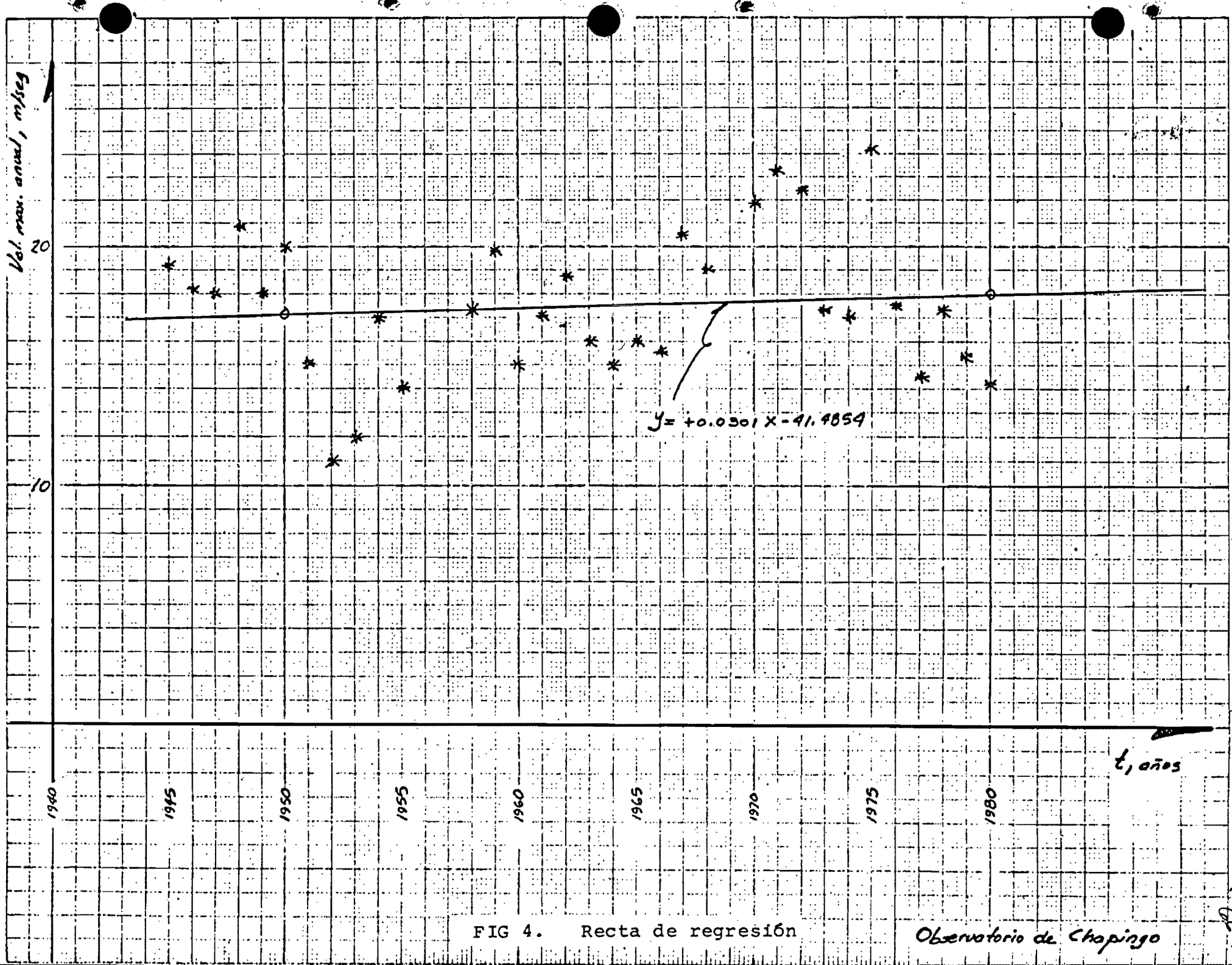


FIG 4. Recta de regresión

Observatorio de Chapingo

A

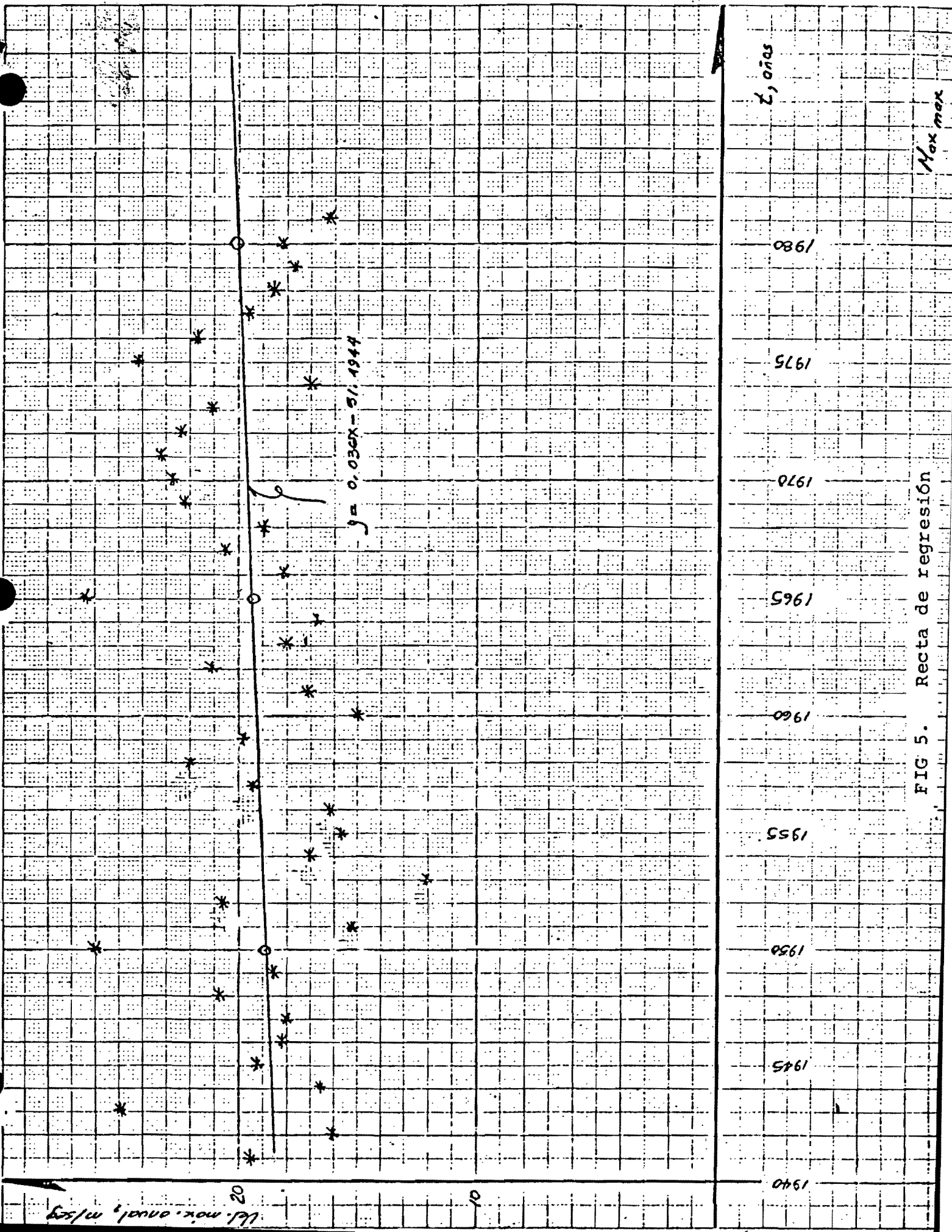


FIG 5. Recta de regresión

Max max

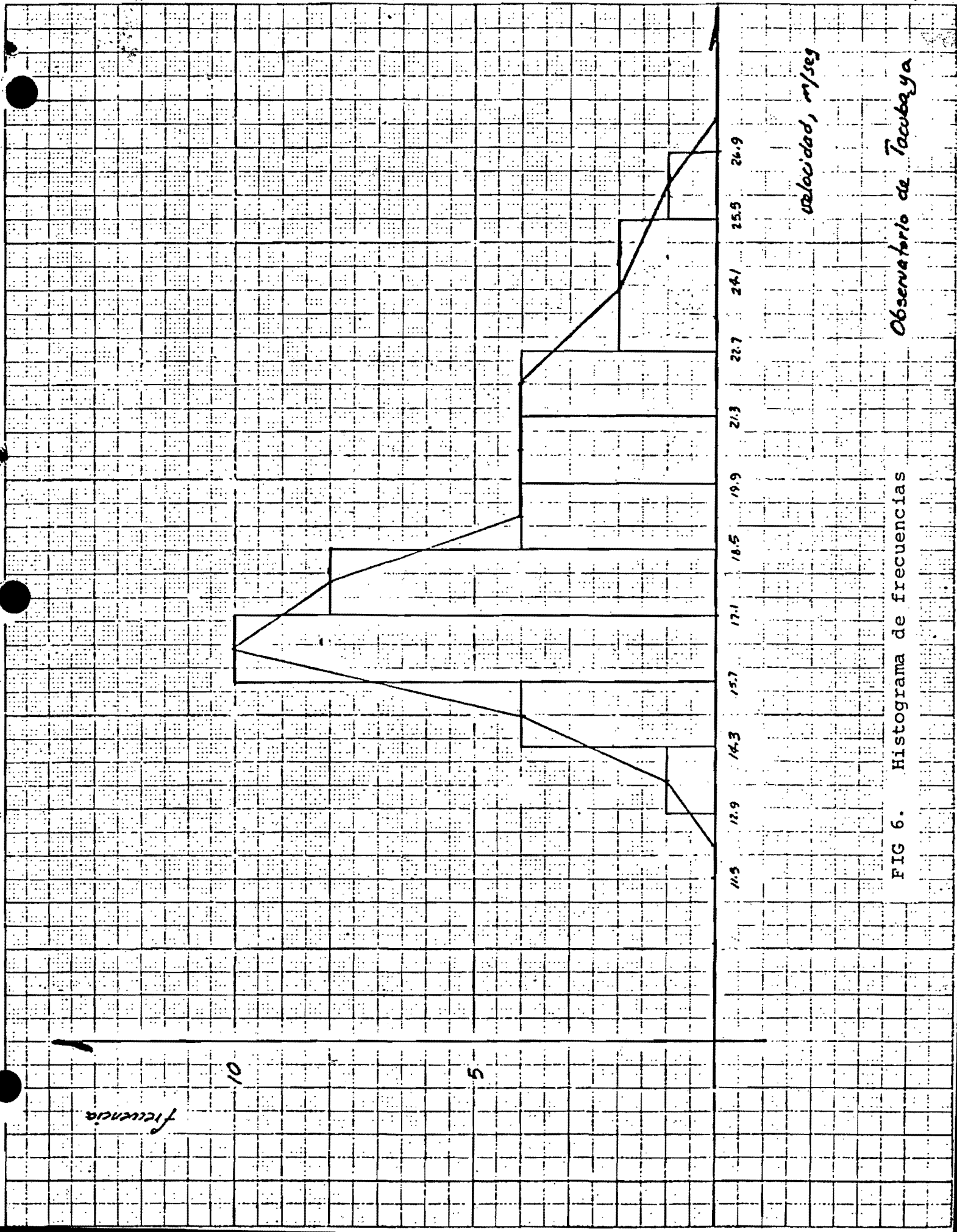


FIG 6. Histograma de frecuencias

Observatorio de Tacubaya

velocidad, m/sec

frecuencia

frecuencia

10

5

10.4

11.5

12.9

14.3

15.7

17.1

18.5

19.9

21.3

22.7

24.1

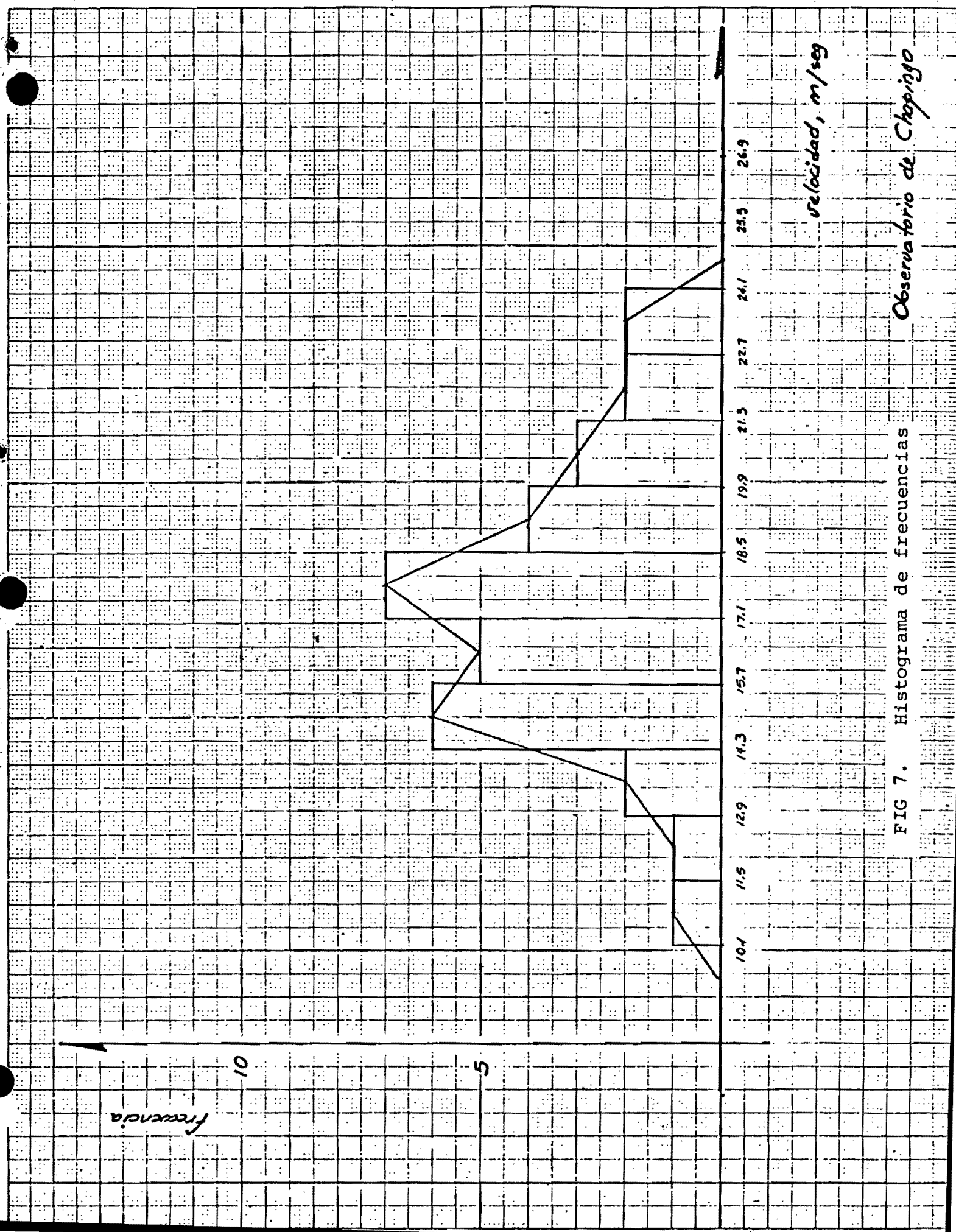
25.5

26.9

velocidad, m/seg

FIG 7. Histograma de frecuencias

Observatorio de Chopingo



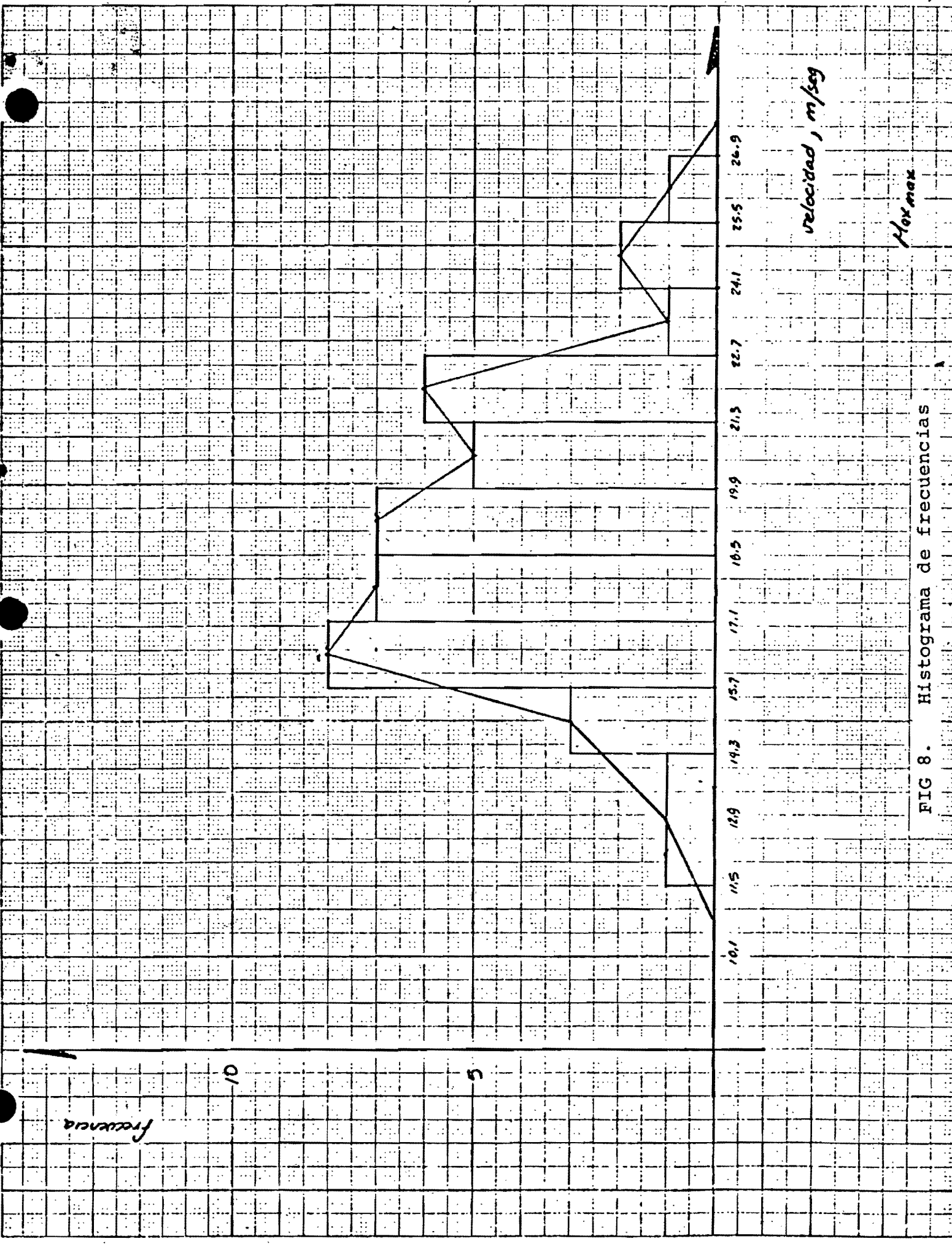


FIG 8. Histograma de frecuencias

velocidad, m/seg

Max max

frecuencia

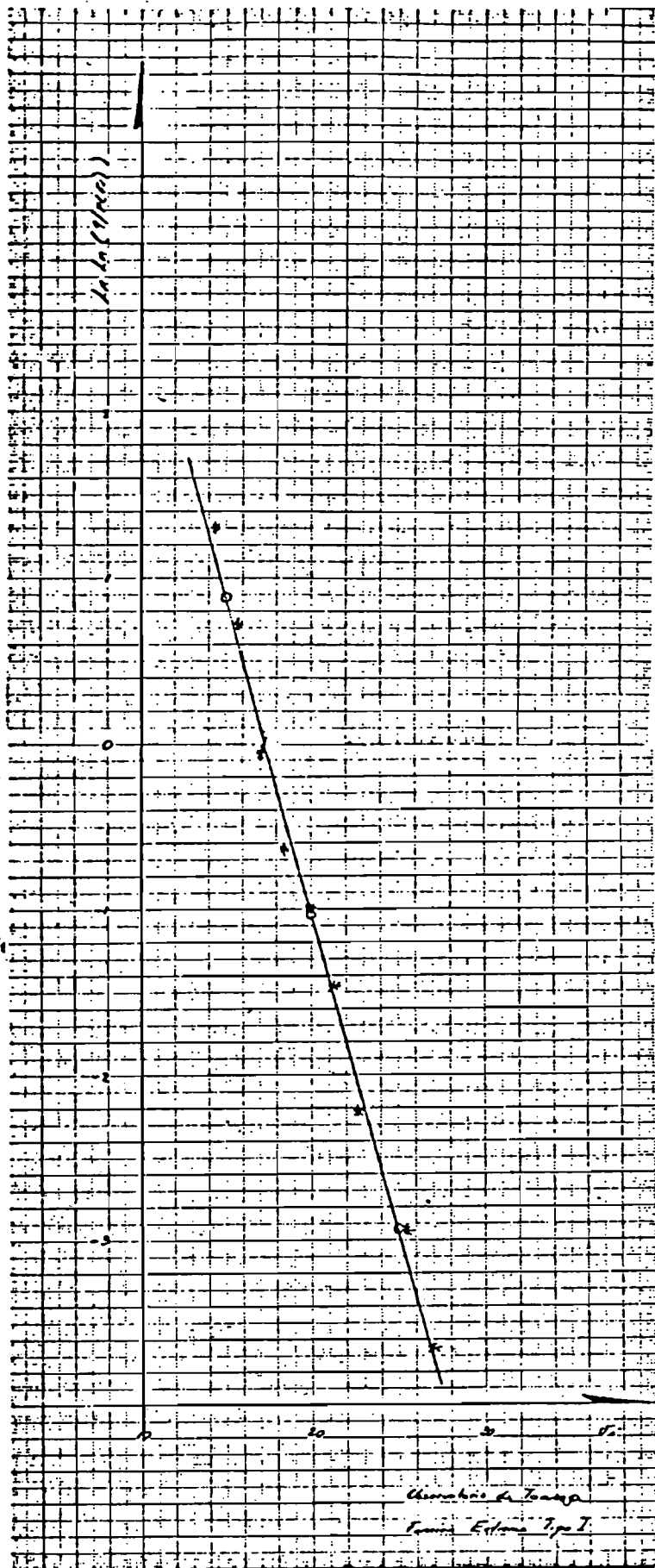


FIG 9. Recta de ajuste

26.

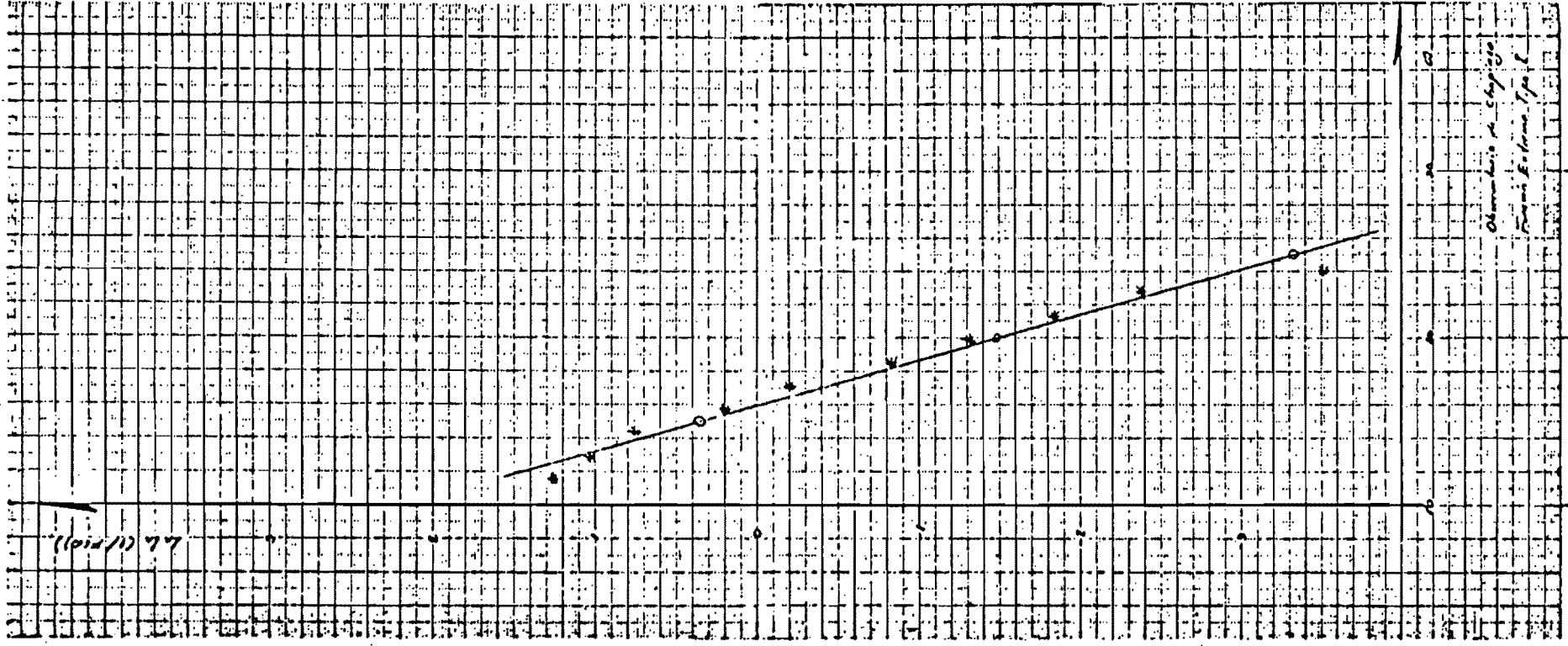


FIG 10. Recta de ajuste

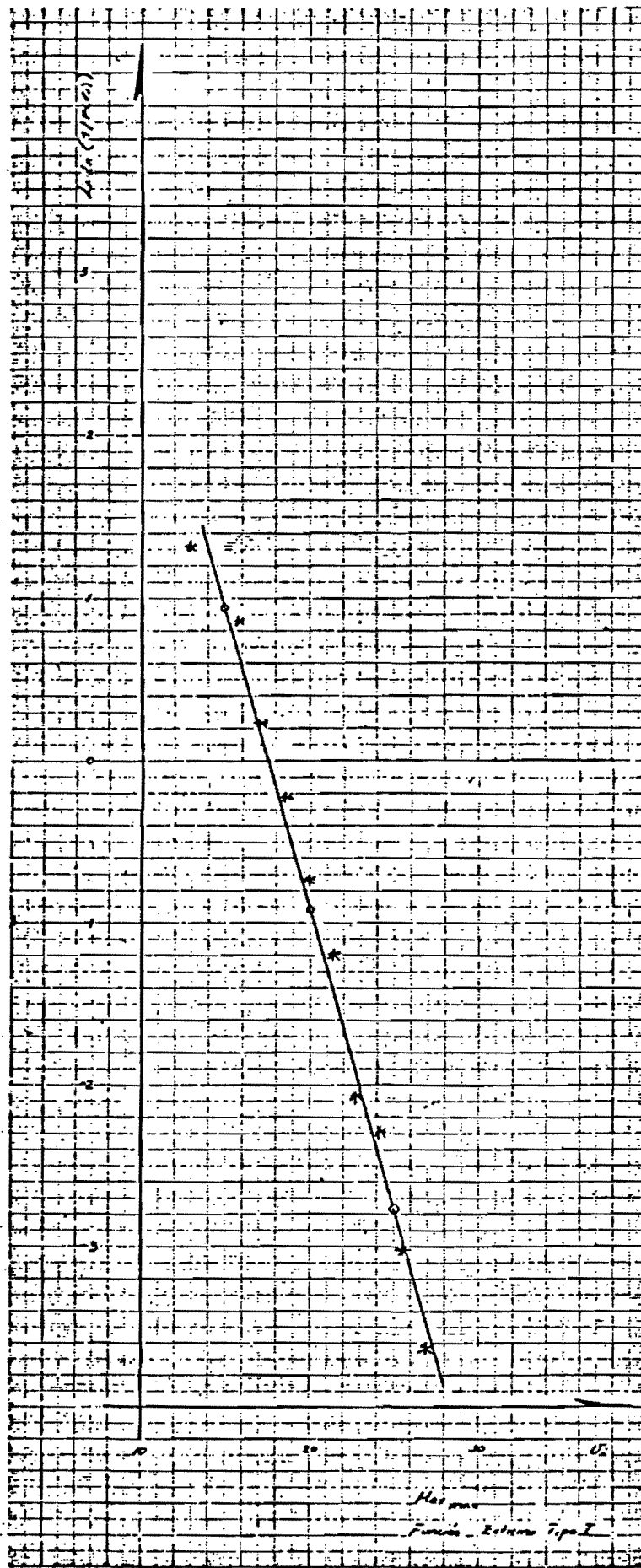


FIG 11. Rectas de ajuste

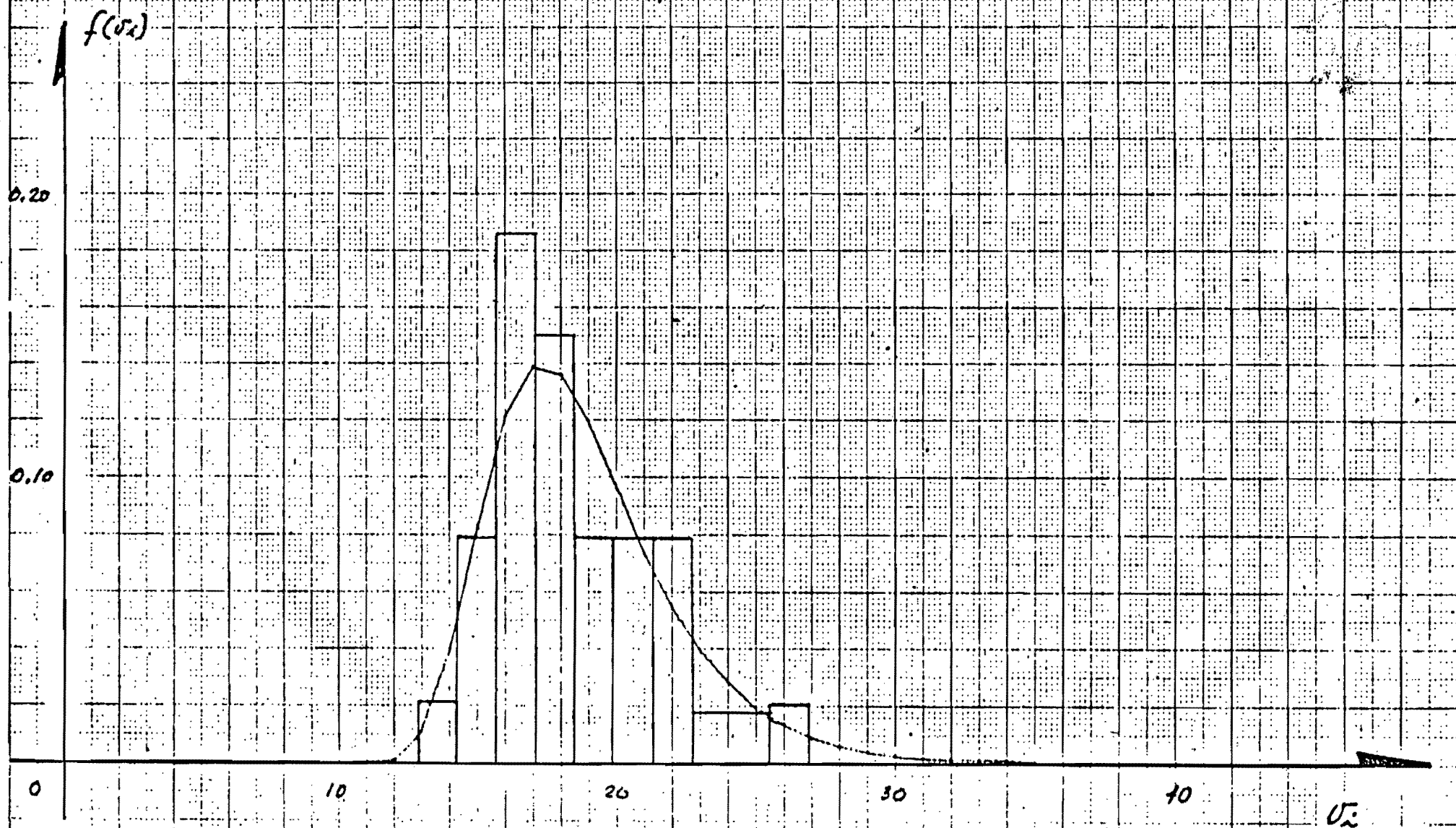


FIG 12. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

Observatorio de Taraboya
Distribución Extrema I

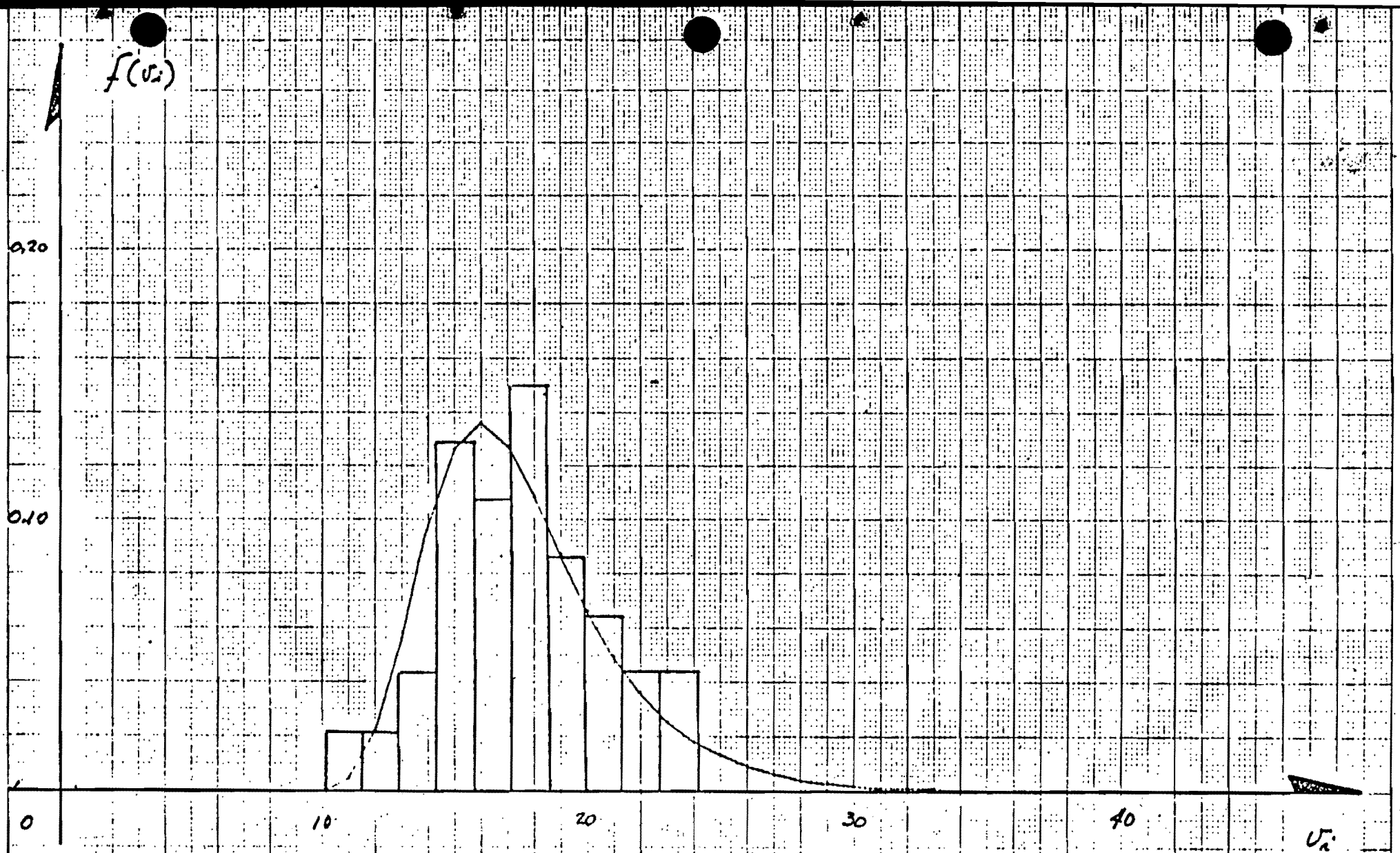


FIG 13. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

Observatorio de Chapingo
Distribución Extrema I

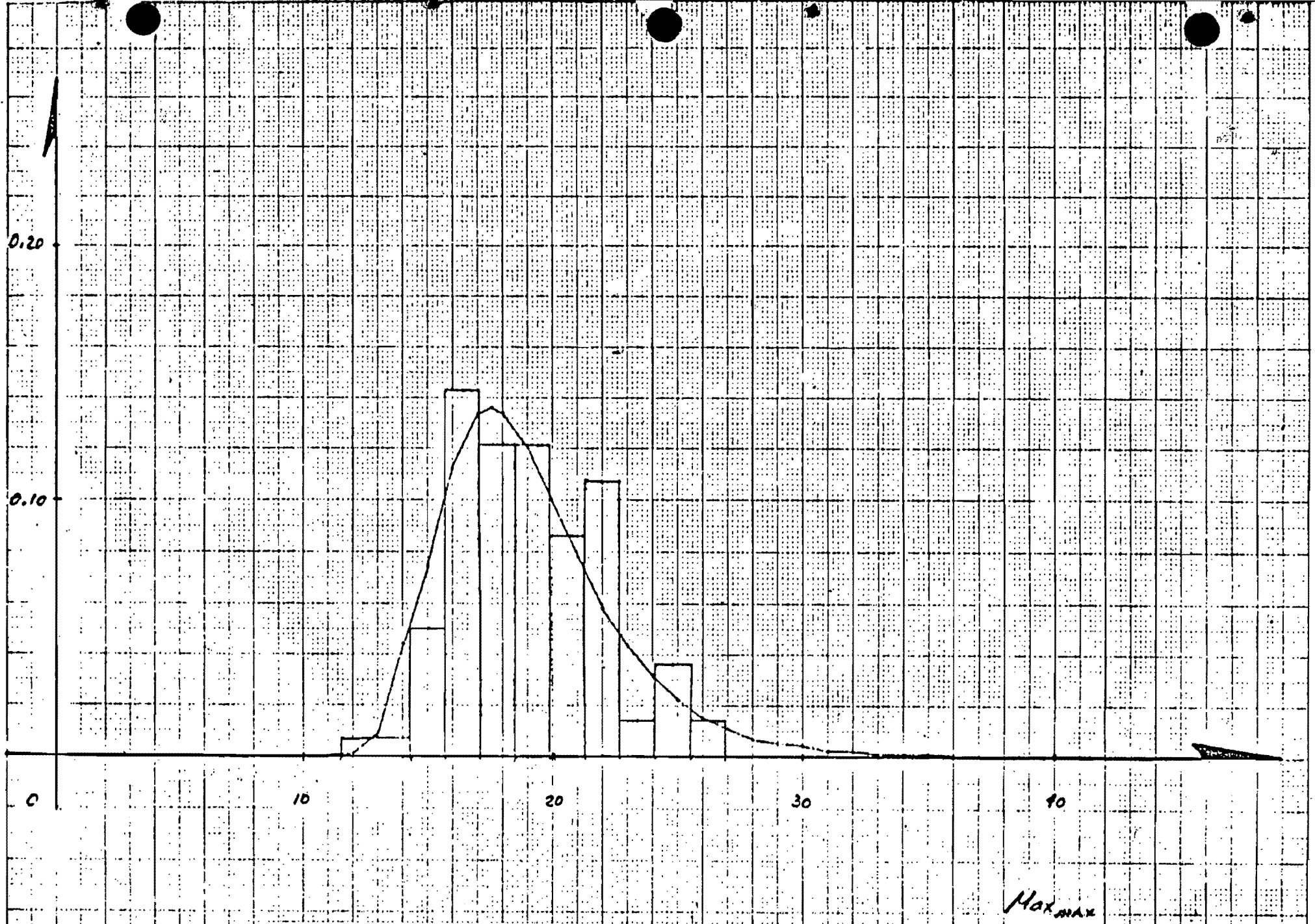


FIG 14. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

Max max
Distribución Extrema I

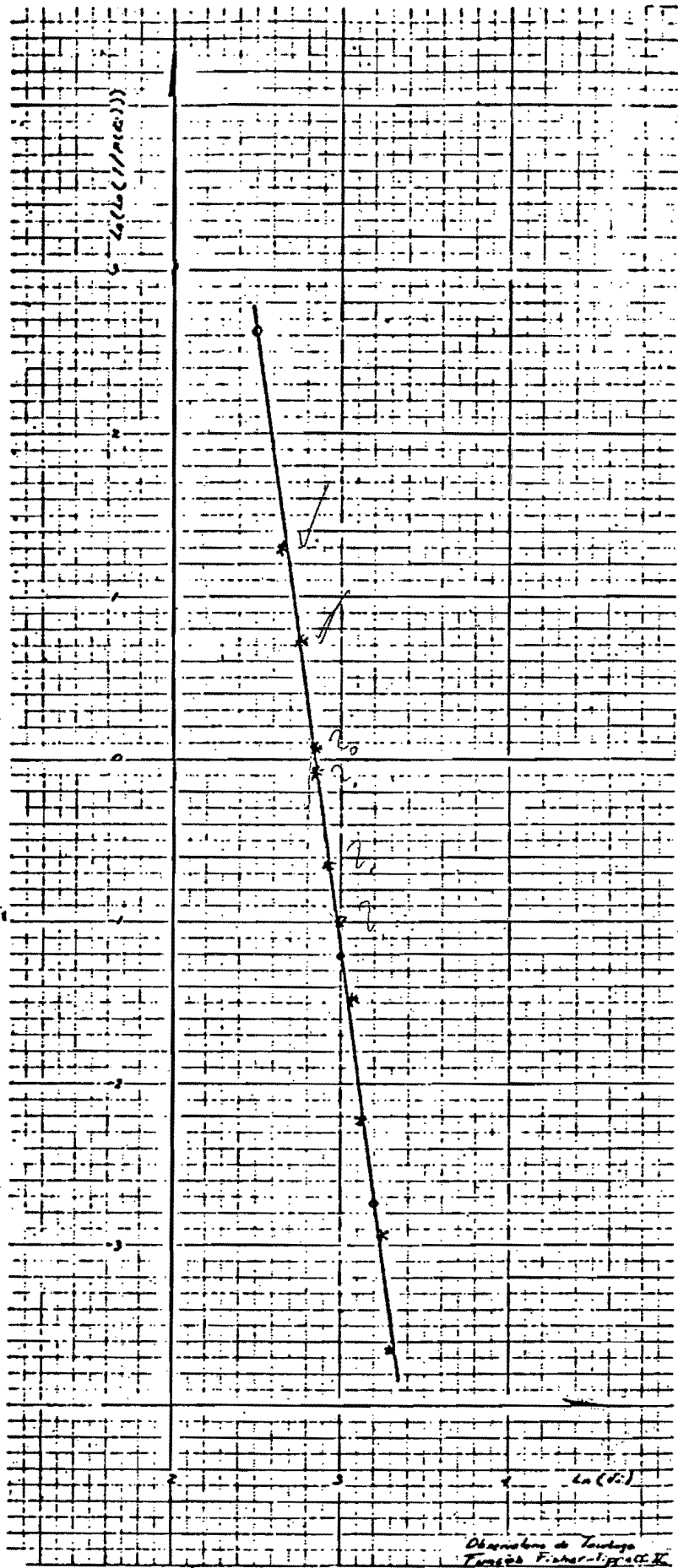
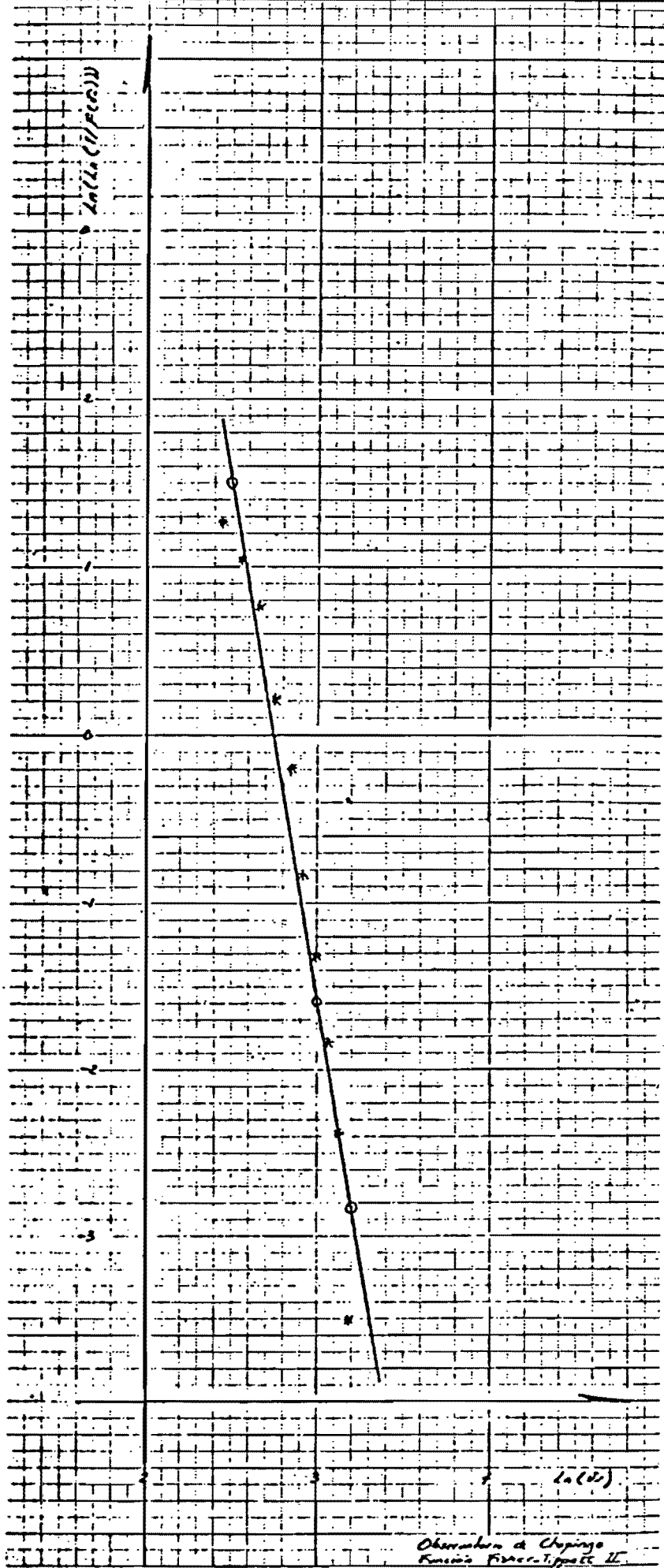


FIG 15. Recta de ajuste

Observaciones de Toulago
 Trazado Fisher-Lippert II



Observaciones de Chapingo
 Función Fisher-Tippett II.

FIG 16. Recta de ajuste

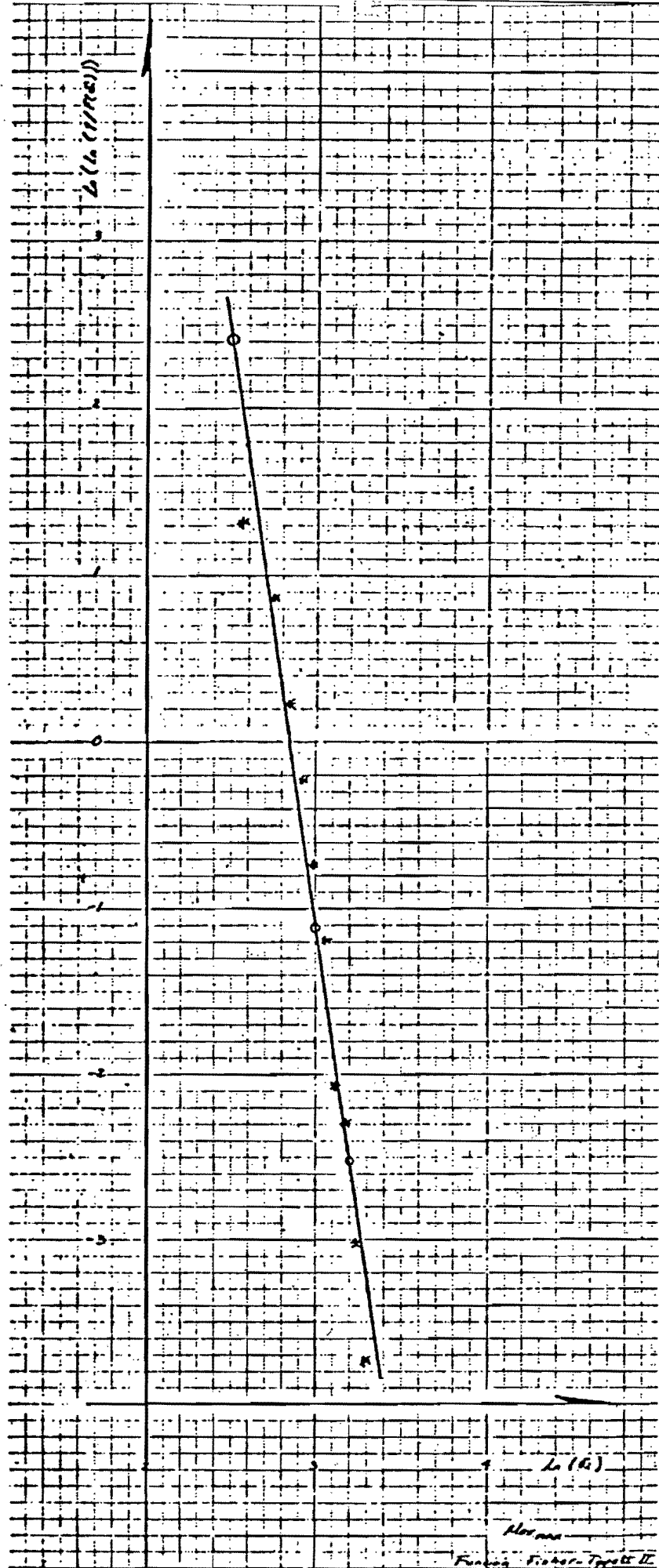


FIG 17. Recta de ajuste

Morales
Fuerza Fisher-Tippett II

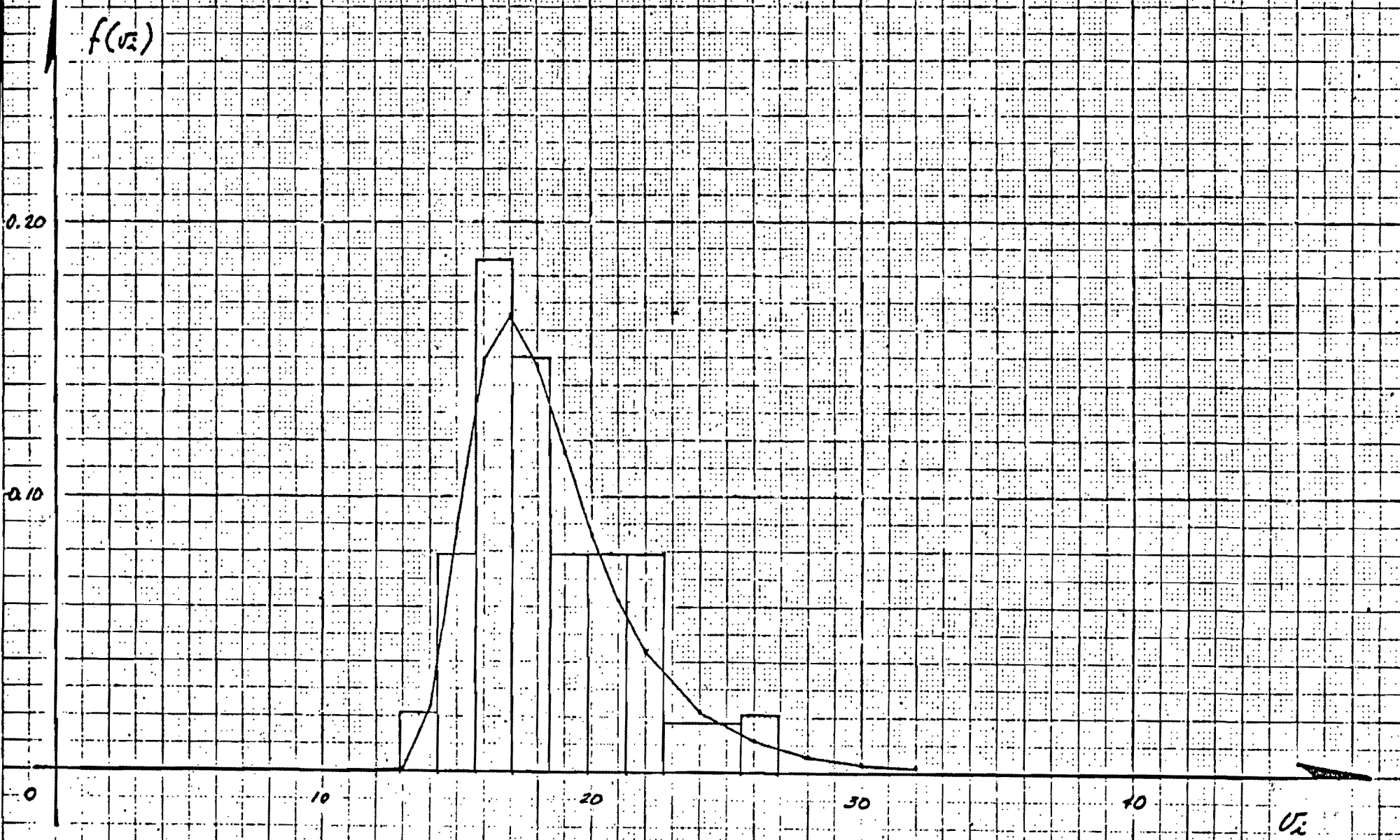


FIG 18. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

Observatorio de Tacubaya
 Distribución Fisher-Tippett II

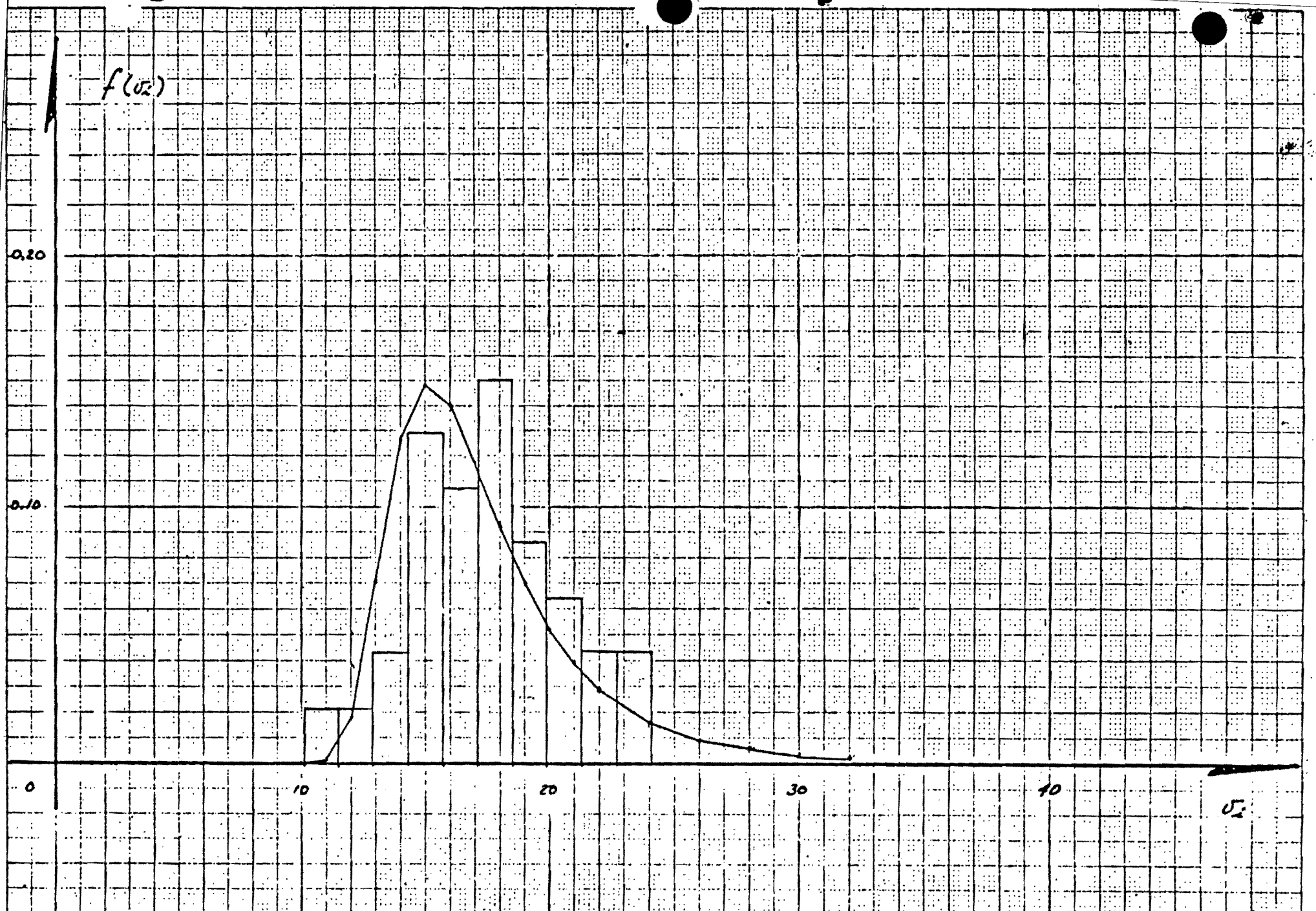


FIG 19. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

Observatorio de Chapinza

Distribucion Fisher-Tippett II

$f(x_i)$

0.20

0.10

0

10

20

30

40

x_i

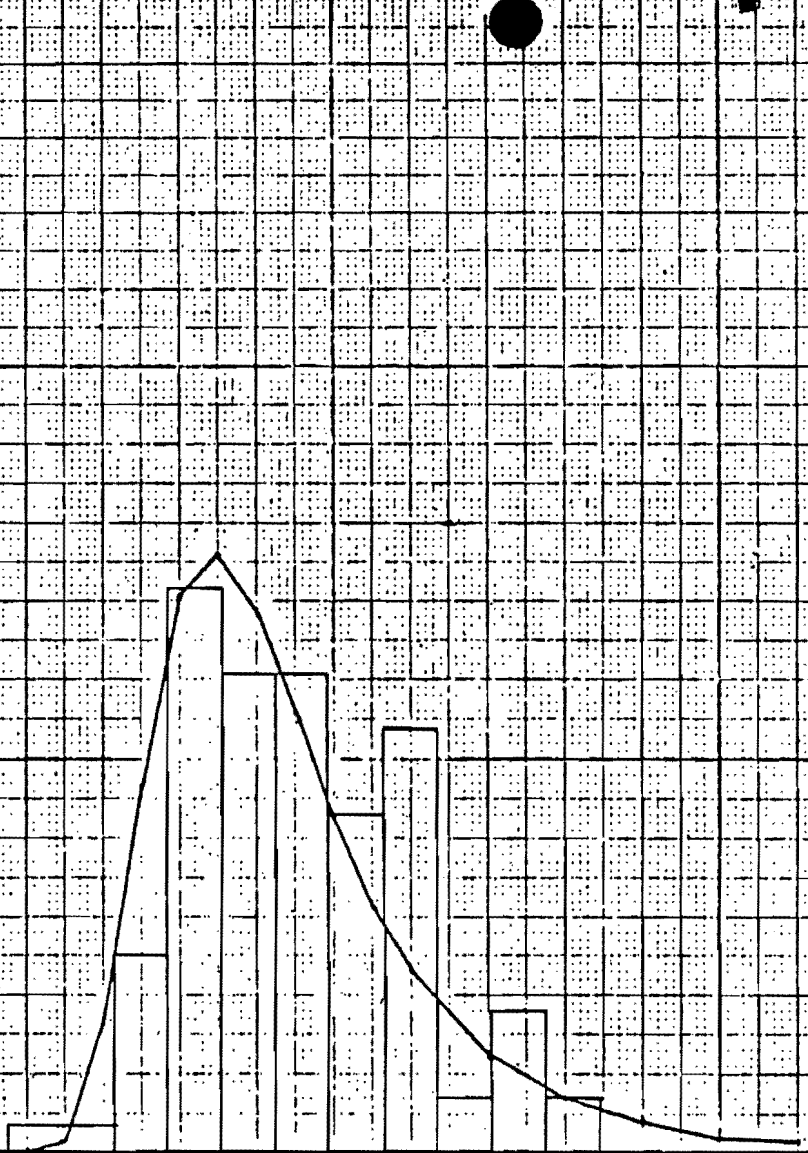


FIG 20. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

Max max
Distribución Fisher-Tippott II

72.

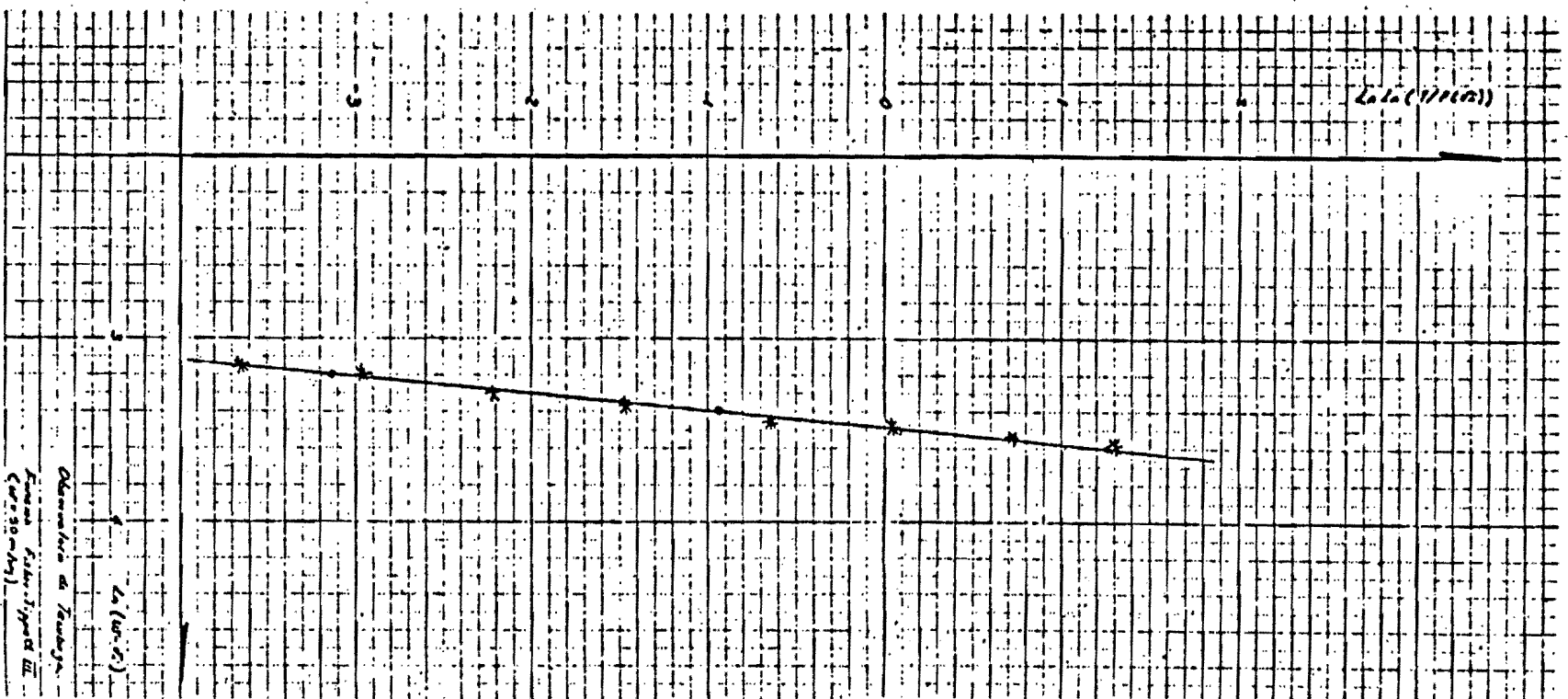


FIG 21. Recta de ajuste

Observaciones de Foucault
 Fuente: Fournier, 1962, p. 111
 (ver 30-40)

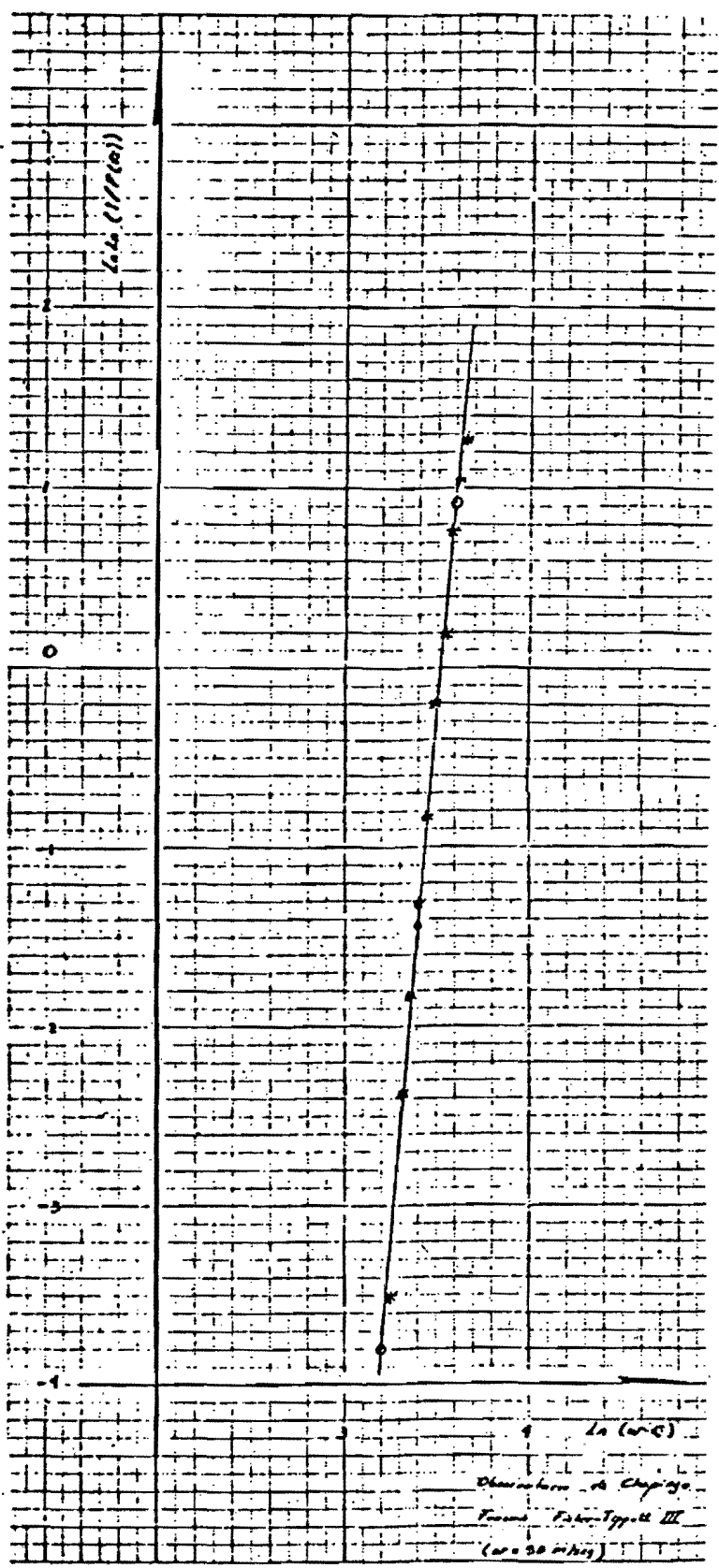


FIG 22. Recta de ajuste

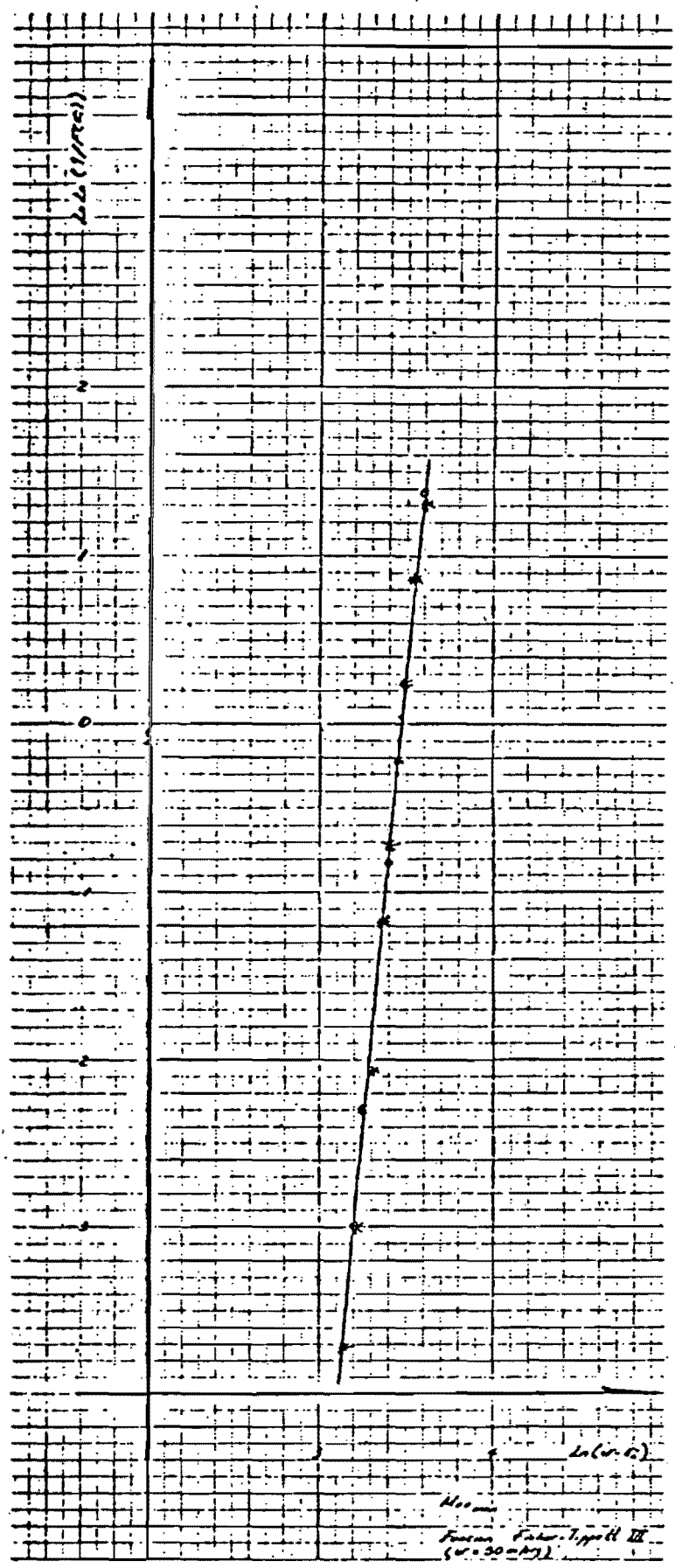


FIG 23. Recta de ajuste

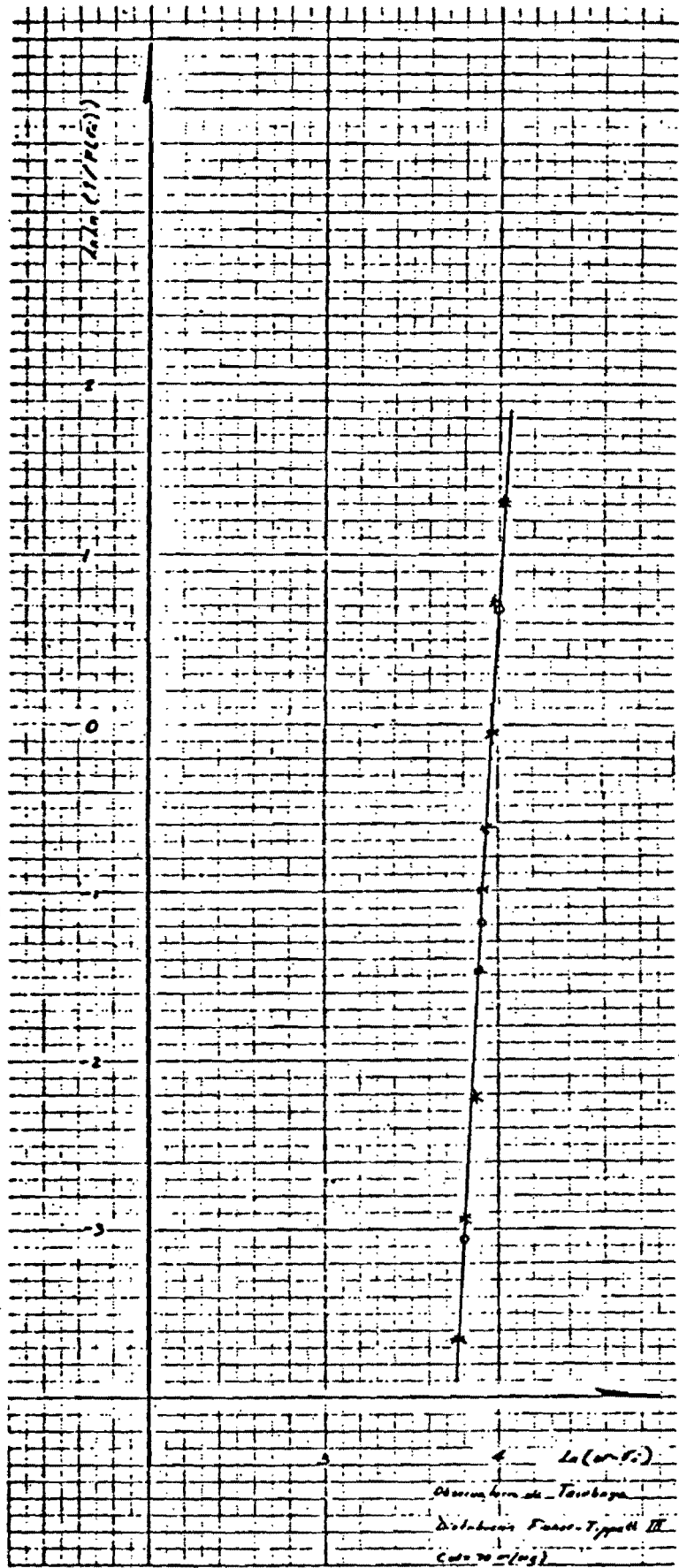


FIG 24. Recta de ajuste

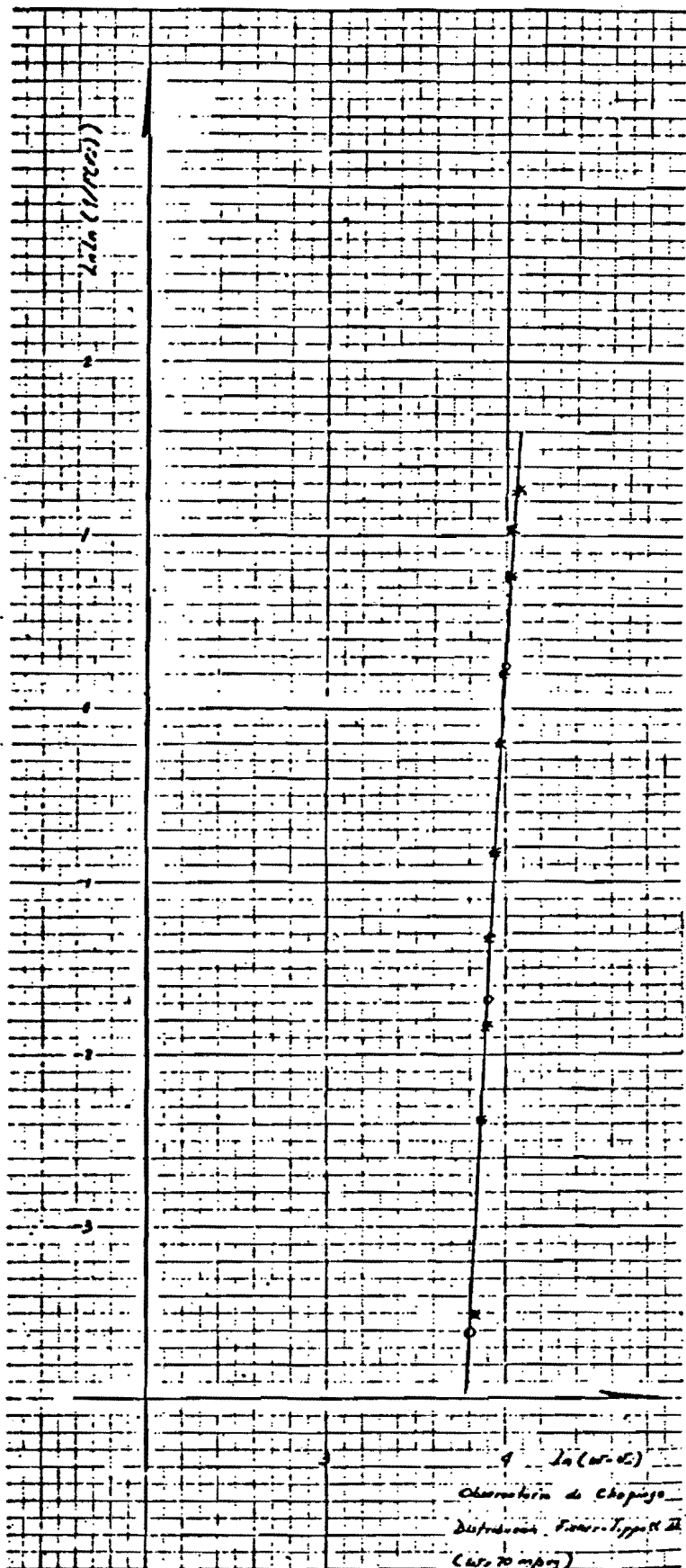


FIG 25. Recta de ajuste

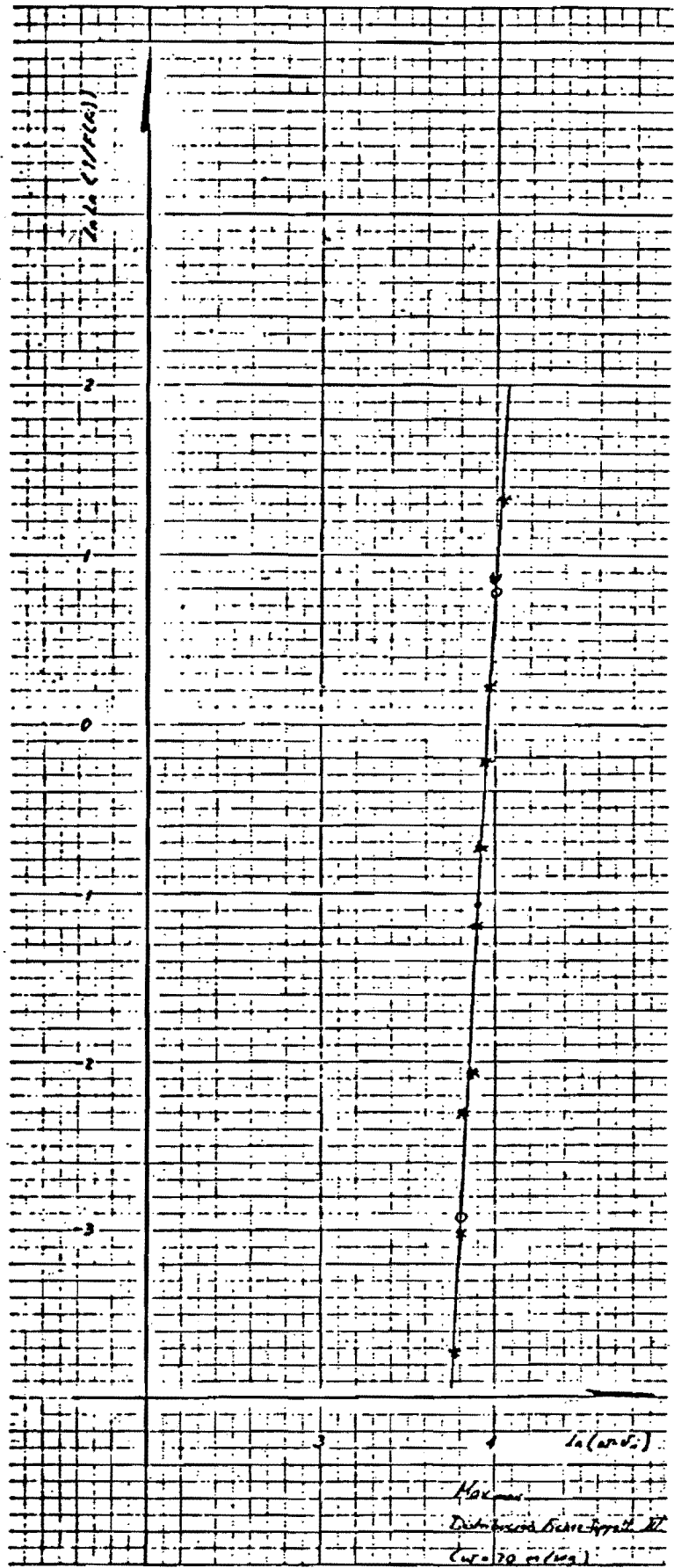
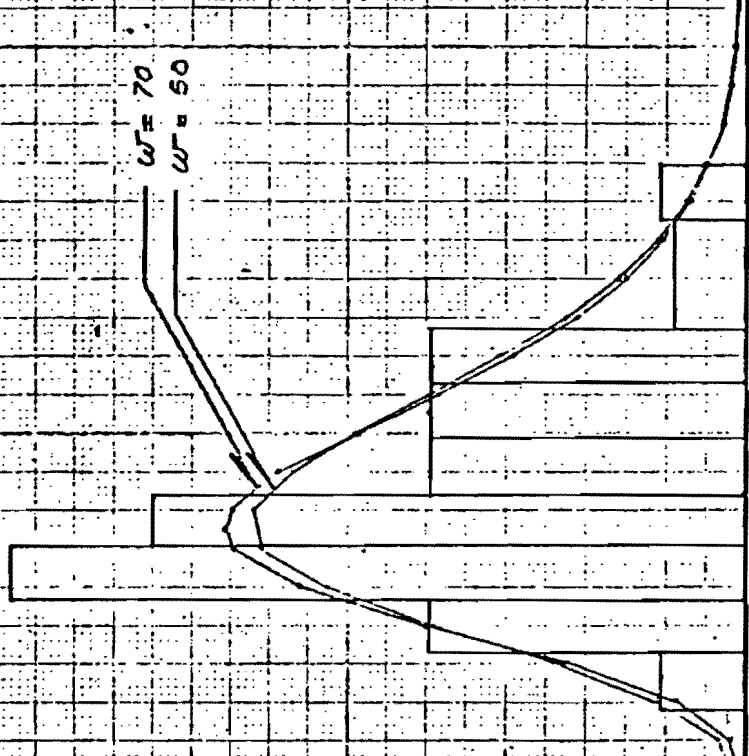


FIG 26. Recta de ajuste

$f(x)$

0.20

0.10



10

20

30

40

50

Observatorio A Tacubaya

Distribución Fisher-Tippett III

($w = 50$ m/sec, $w = 70$ m/sec)

FIG 27. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

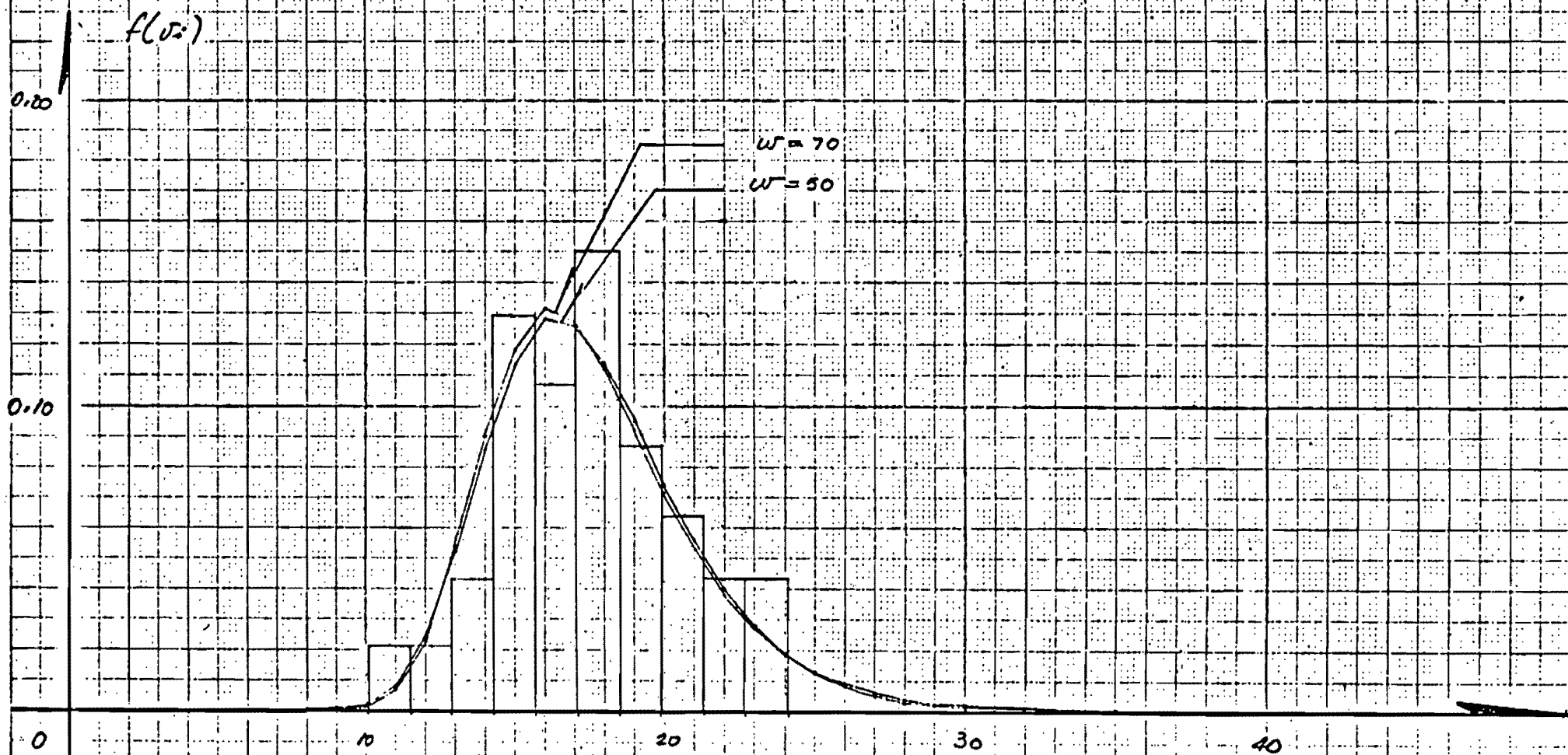


FIG 28. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

Observatorio de Chapingo

Distribución Fisher-Tippett III

($w=50$ m/seg, $w=70$ m/seg)

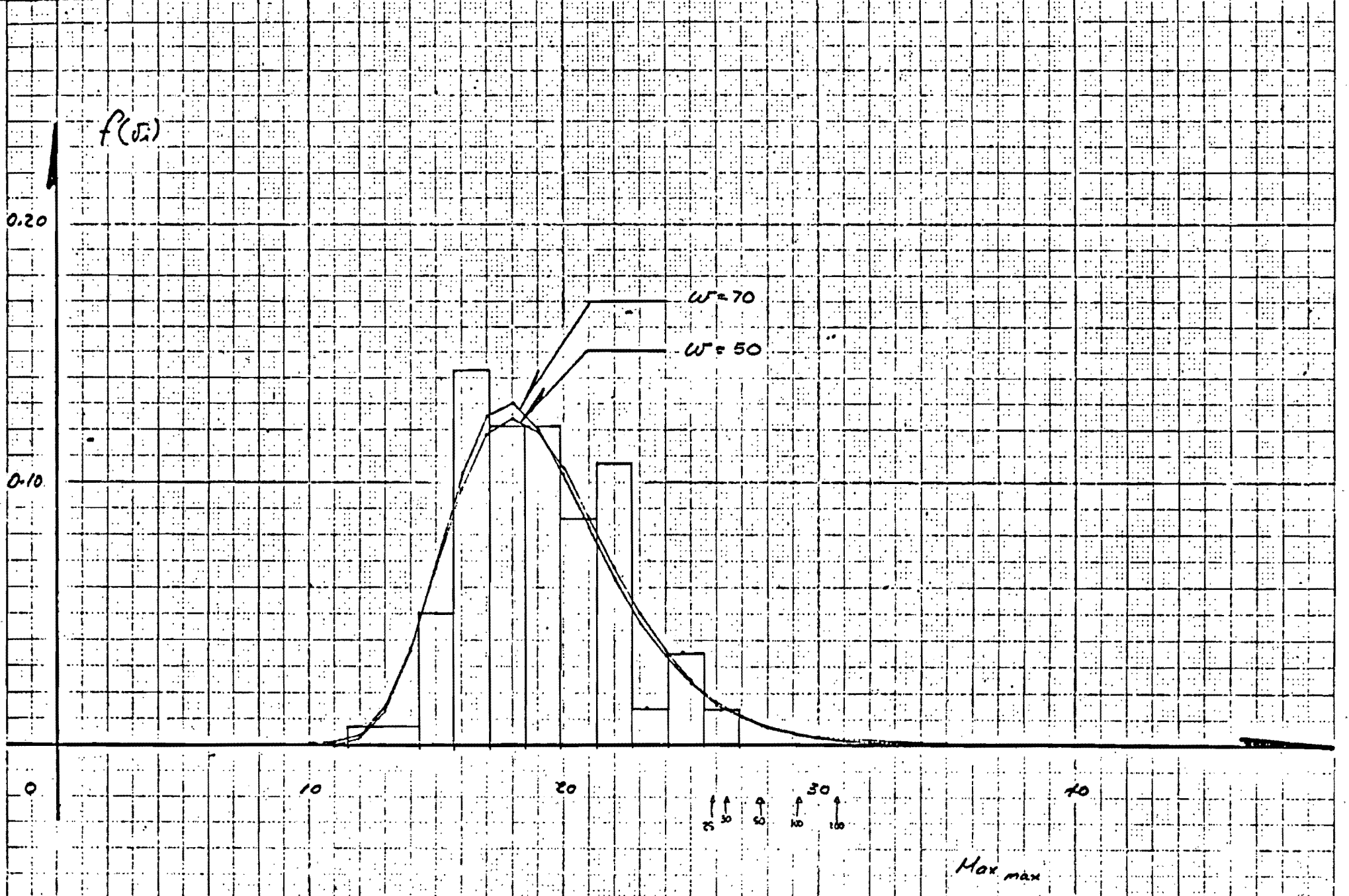


FIG 29. Comparación de la función de densidad y el histograma de frecuencias normalizadas

Max max
 Distribución Fisher-Tippett III
 ($w=50$ m/seg , $w=70$ m/seg)

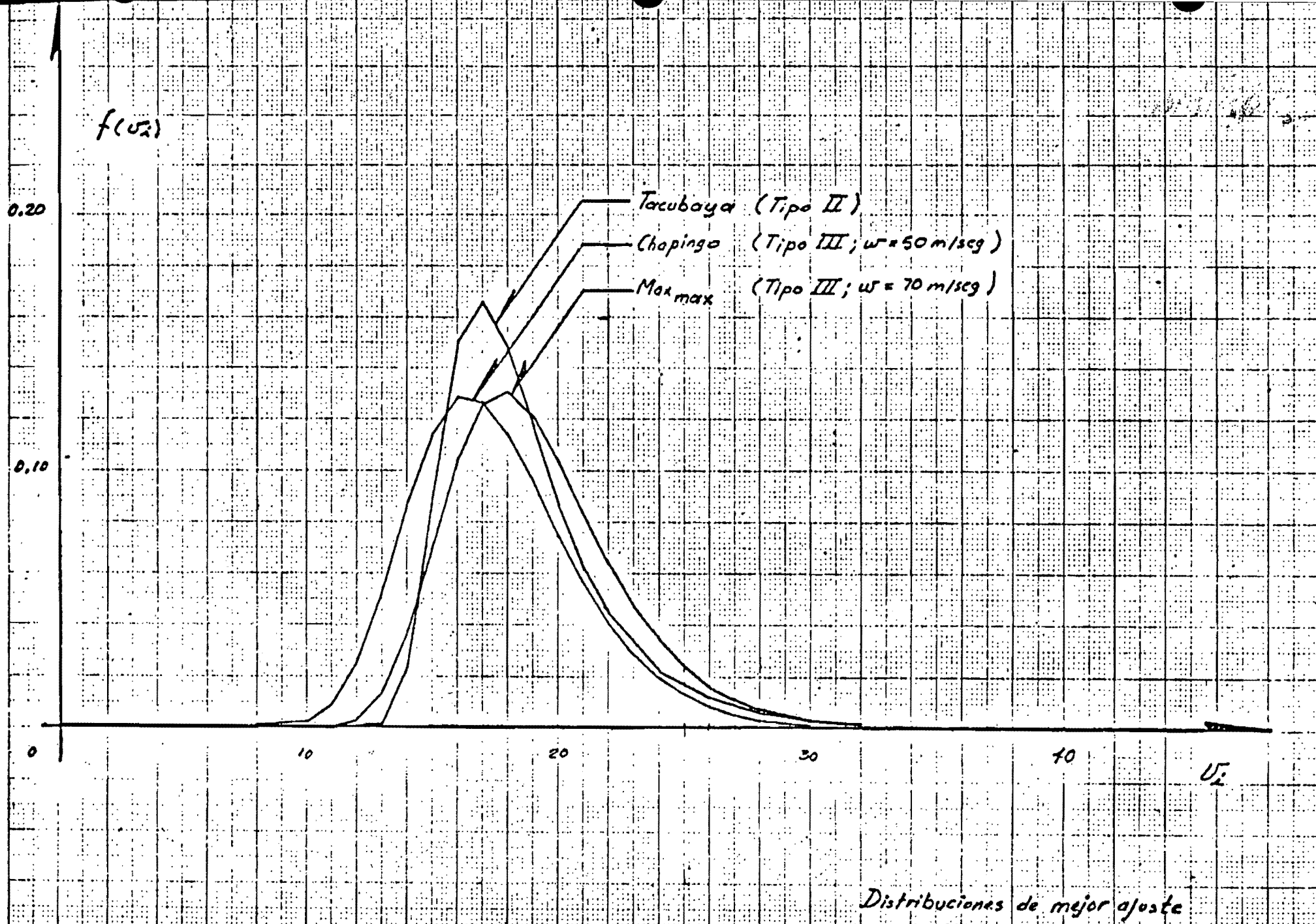


FIG 30. Funciones de densidad de mejor ajuste para cada estación

Distribuciones de mejor ajuste

$F(u)$

1.0

0.5

0

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

Tecuboya (Tipo II)

Chapingo (Tipo III, $w = 50 \text{ m/sec}$)

Max max (Tipo III, $w = 70 \text{ m/sec}$)

10

20

30

40

50

FIG 31. Funciones de distribución de mejor ajuste

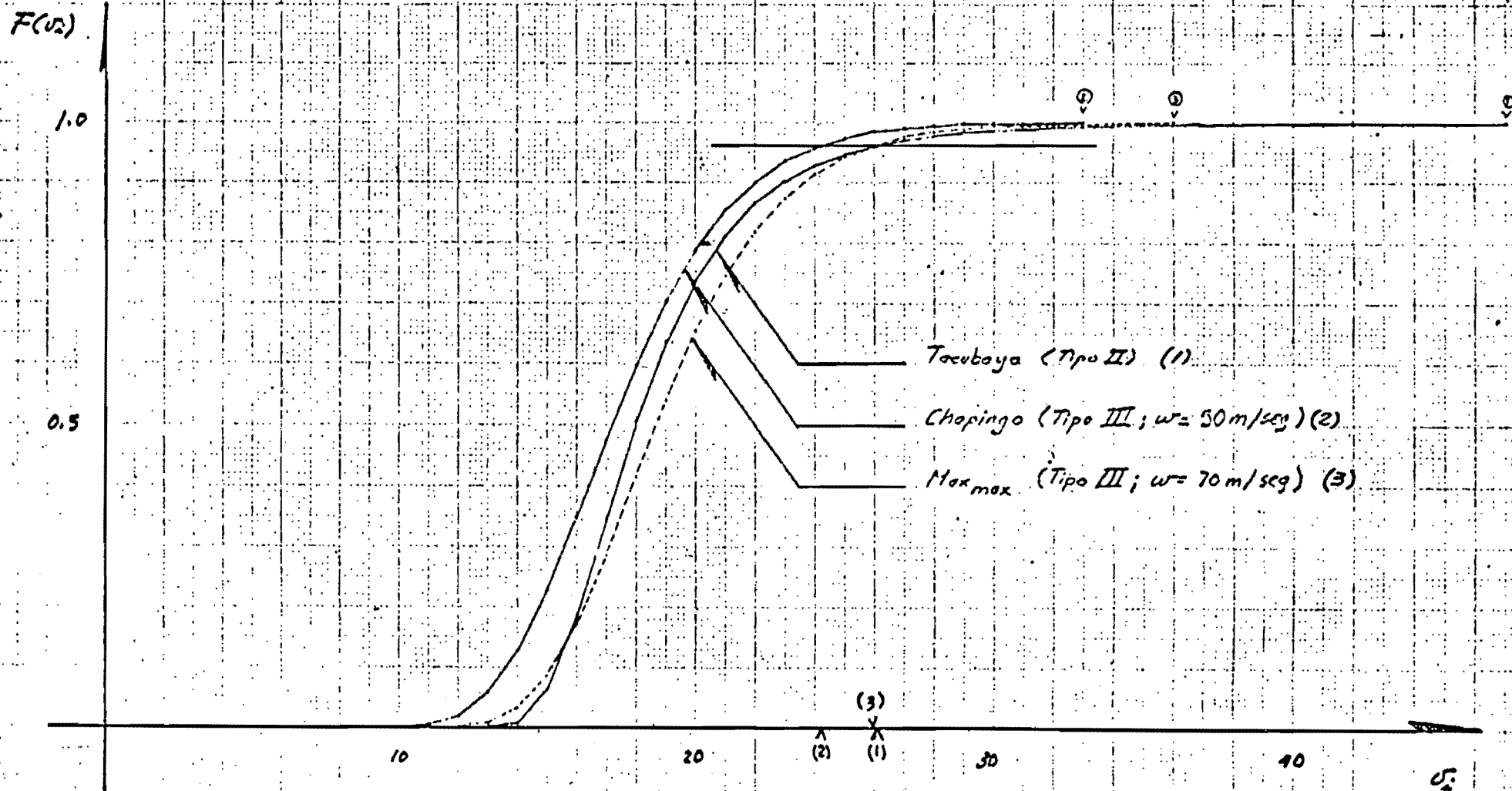


FIG 32. Velocidades de diseño asociados a cada estación para $R=25$ años

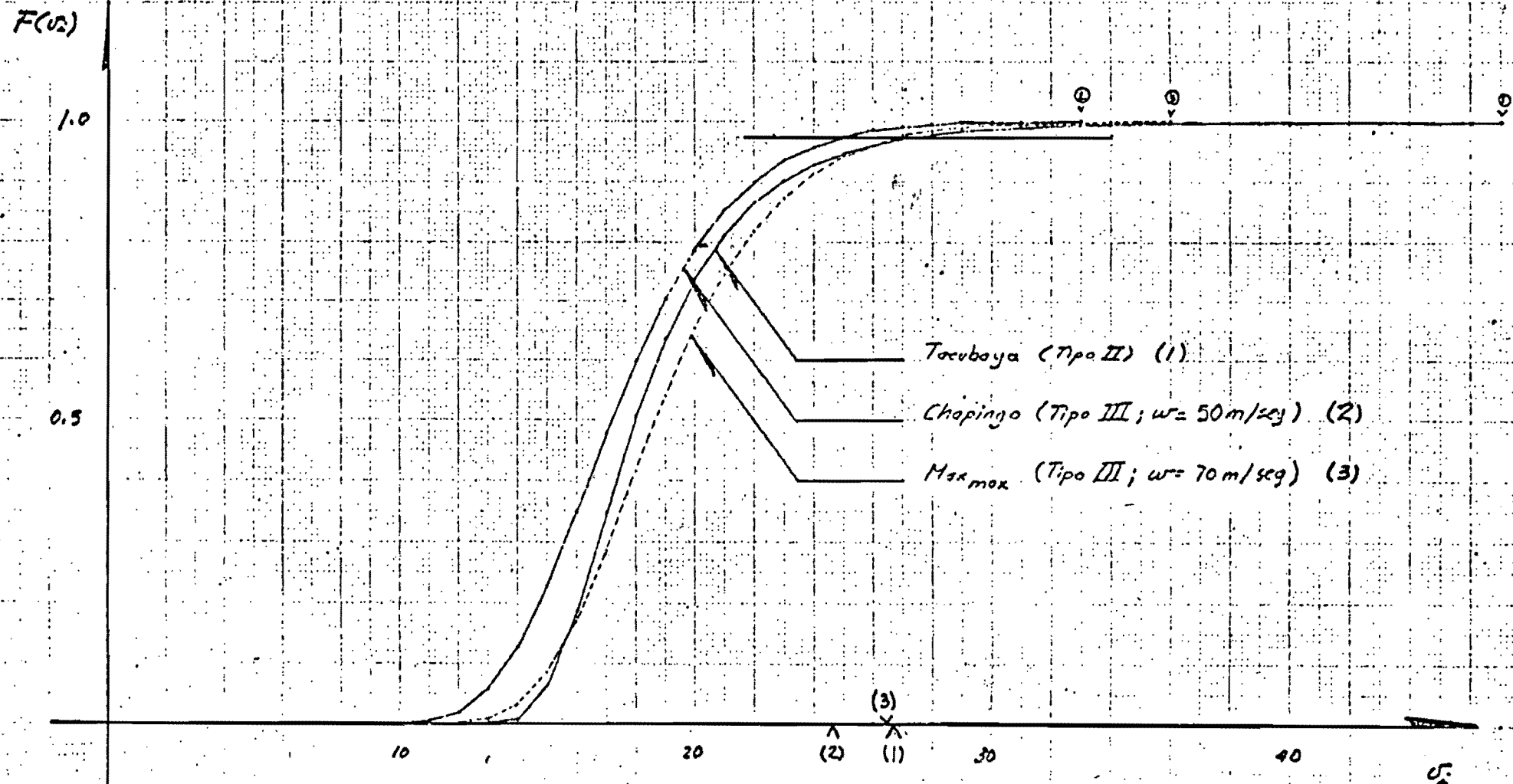


FIG 33. Velocidades de diseño asociados a cada estación para R=30 años

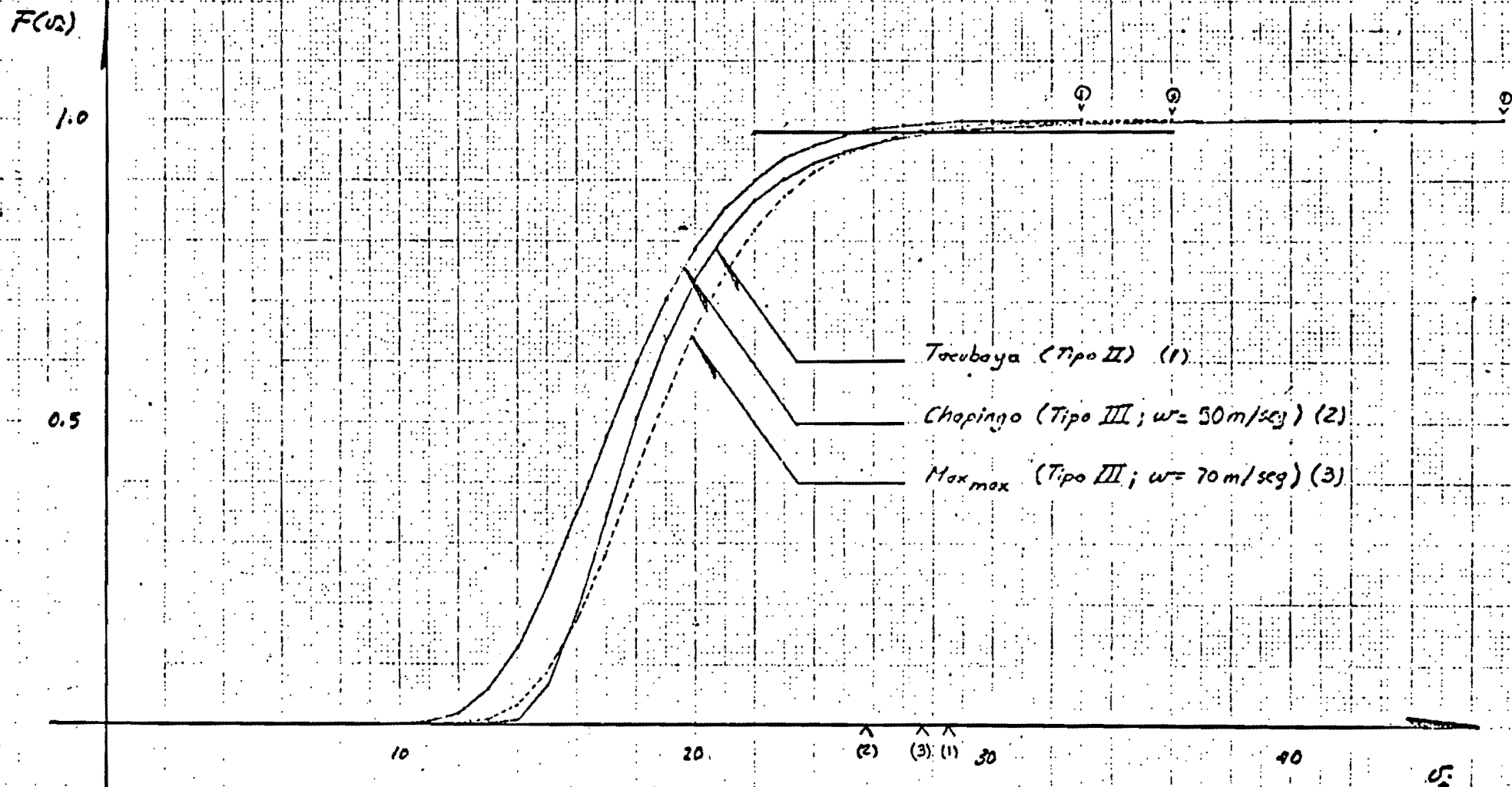


FIG 34 Velocidades de diseño asociados a cada estación para R=50 años

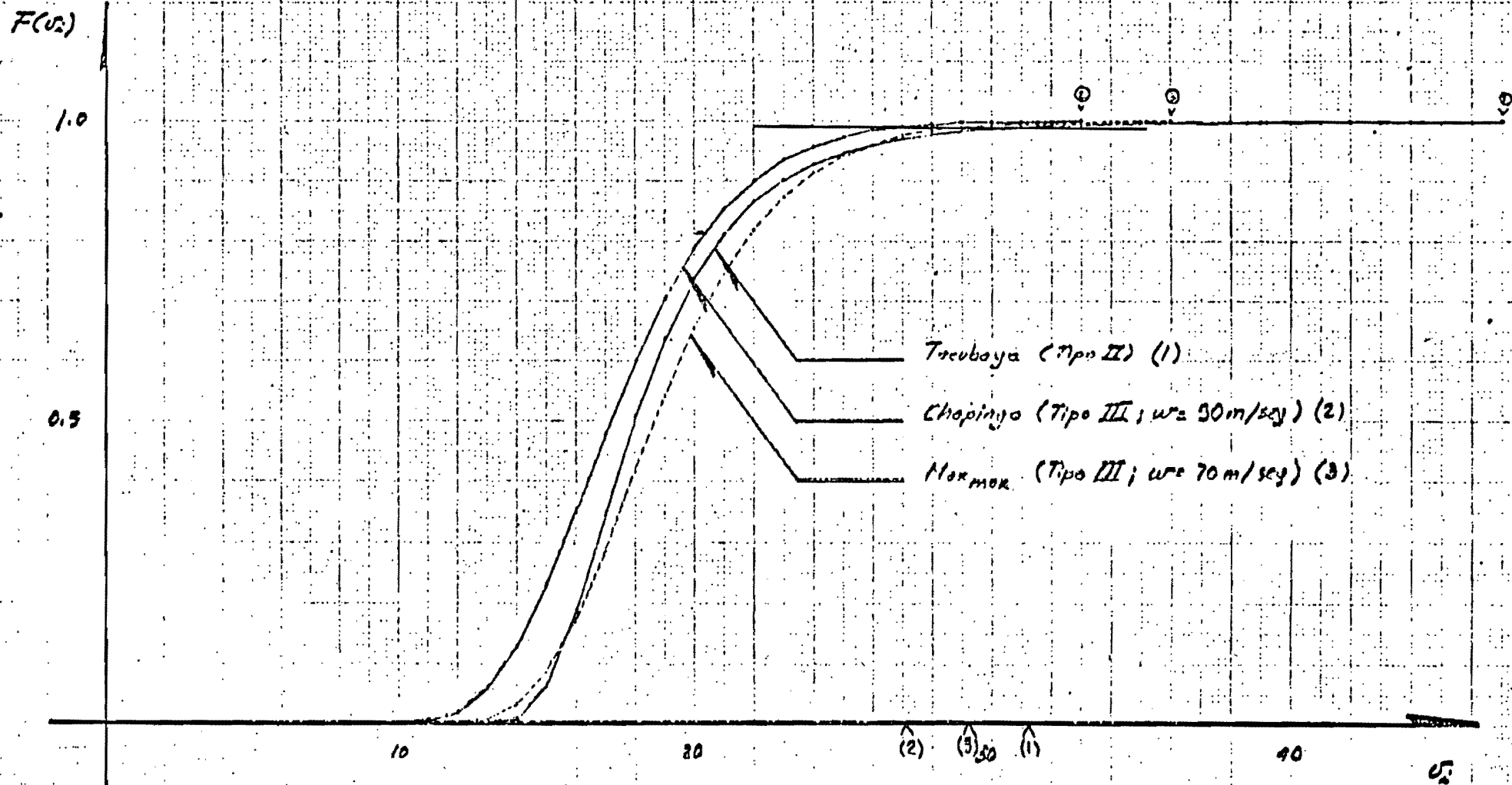


FIG 35. Velocidades de diseño asociados a cada estación para R=100 años

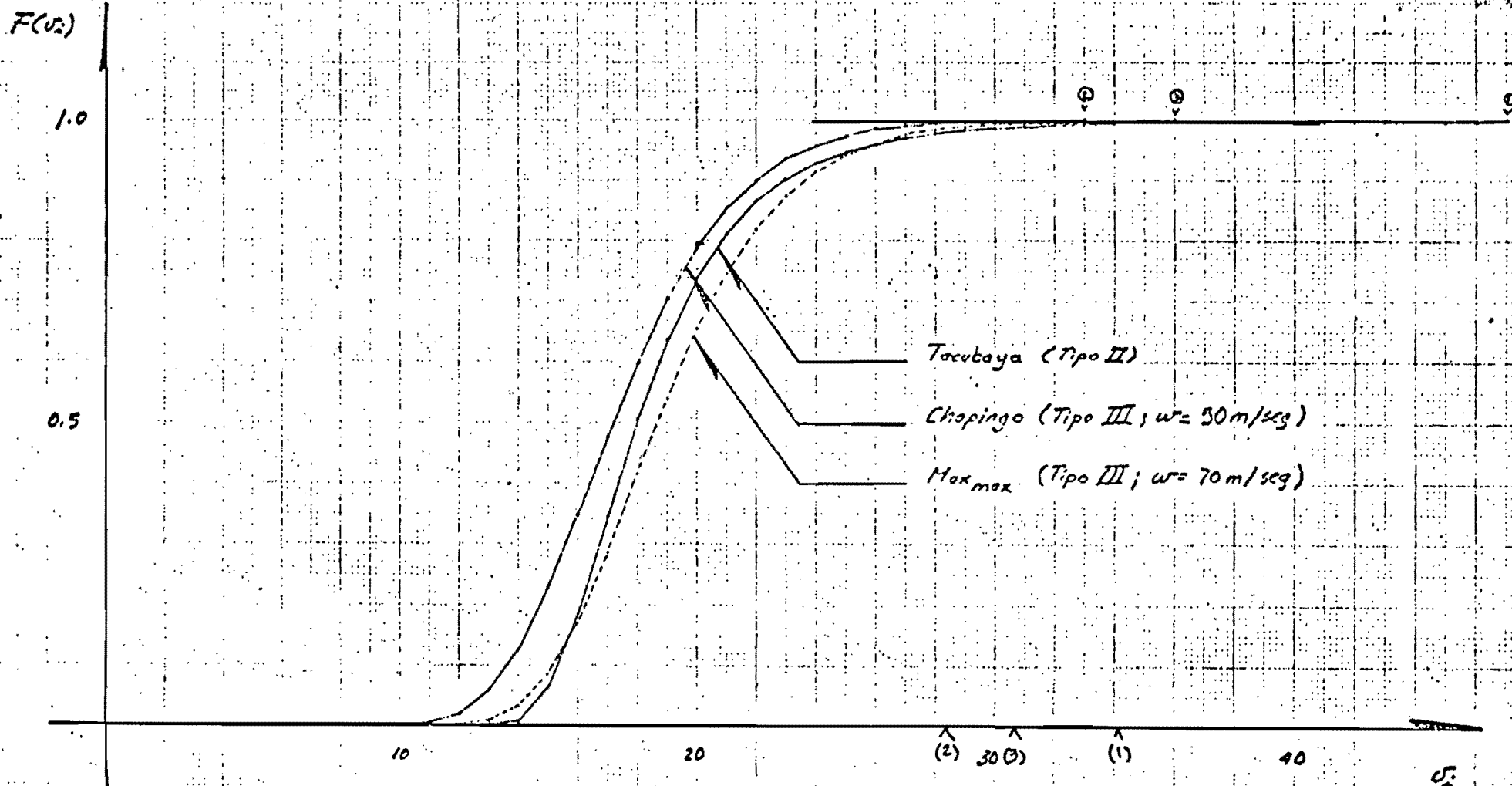


FIG 36. Velocidades de diseño asociados a cada estación para R=200 años

84

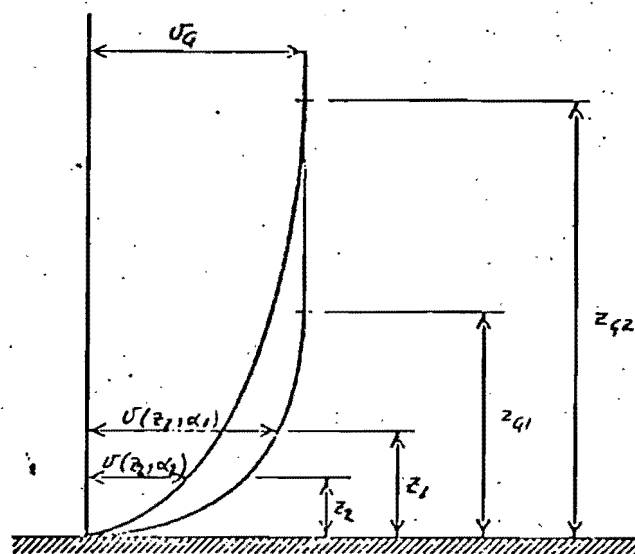


FIG 37. Ley de variación potencial por efectos de la rugosidad

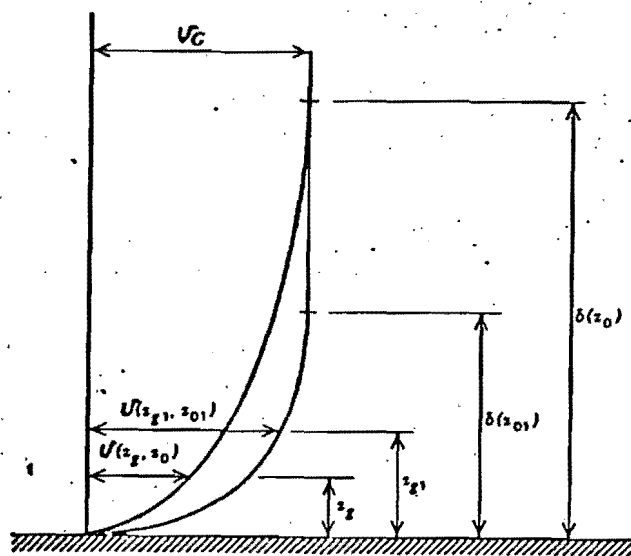


FIG 38. Ley de variación logarítmica por efectos de la rugosidad

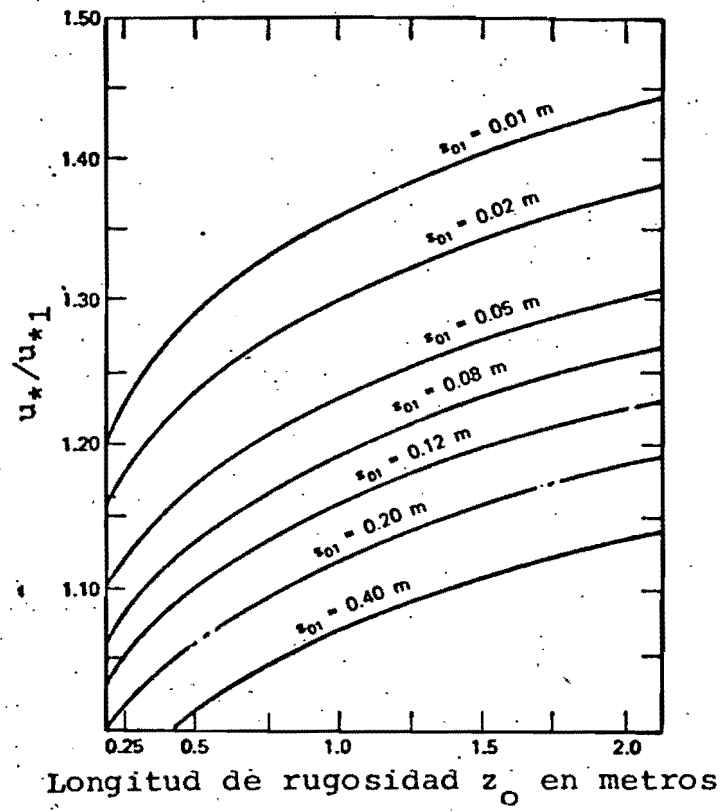


FIG 39. Relación u_*/u_{*1}

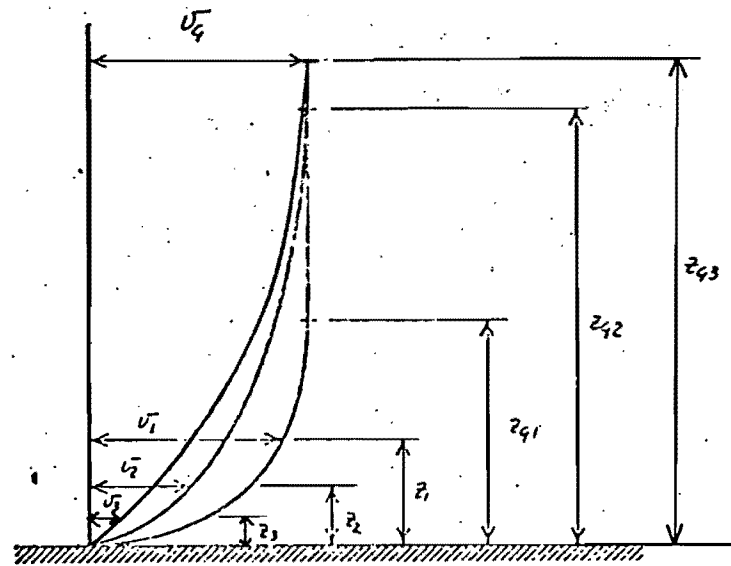


FIG 40. Perfiles para la ciudad de México.