

## Tesis de Posgrado

# Estructura del viento en una atmósfera sobre una superficie con cobertura vegetal

Garín, Alicia Beatriz de

1988

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

**Cita tipo APA:**

Garín, Alicia Beatriz de. (1988). Estructura del viento en una atmósfera sobre una superficie con cobertura vegetal. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_2097\\_Garin.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2097_Garin.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Garín, Alicia Beatriz de. "Estructura del viento en una atmósfera sobre una superficie con cobertura vegetal". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1988. [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_2097\\_Garin.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2097_Garin.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

Tesis  
2097

Ej. 2

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

Estructura del viento en una atmósfera sobre una superficie  
con cobertura vegetal

Trabajo de Tesis elaborado por la Licenciada Alicia Beatriz de Garín  
para acceder al título de Doctora en Ciencias Meteorológicas.

Director de Tesis : Dr. Nicolás Antonio Mazzeo

2097  
Ej. 2.

AÑO : 1985

"... Para darse cuenta de la gravedad de la situación, hay que pensar en lo siguiente : en los tiempos de necesidad, se suelen tomar en cuenta solamente las cuestiones e imposiciones del momento; se pagan los trabajos y las obras que crean directamente valores materiales. Pero la ciencia, para que no se marchite, tiene derecho a no pensar en objetivos puramente prácticos, ni tenerlos en cuenta. Los conocimientos y los métodos creados por ella sirven a los fines prácticos, en la mayoría de los casos, sólo en forma indirecta, y a menudo únicamente a las generaciones futuras. Si se descuida, faltan más tarde los trabajadores espirituales quienes, en virtud de su libre criterio y amplio juicio, están en condiciones de descubrir nuevos caminos para la economía o para adaptarse a la nueva situación. Si la investigación científica languidece, la vida espiritual de la nación se cubre de arena, y con ello se marchitan también las posibilidades para el futuro desarrollo.

... Por mi actividad docente, veo con profunda admiración, que las preocupaciones económicas aún no pudieron ahogar la voluntad y el amor hacia la investigación científica. Todo lo contrario : parece que las graves conmociones han intensificado el amor hacia los bienes ideales. En todas partes, y en medio de relaciones y circunstancias difíciles, se trabaja con ardiente celo. Procurad, pues, que todo lo que la juventud actual posee de voluntad y de talento no se pierda, causando el mayor detrimento de toda la sociedad. "

Albert Einstein, Fragmento de ' Ayuda para la Ciencia ! ', del libro " Como veo el mundo ".

INDICE GENERAL

	Pág.
Indice General .....	2
Indice de Tablas .....	4
Indice de Figuras .....	6
Símbolos y Definiciones .....	8
Resumen .....	--
1.- Introducción .....	12
2.- Antecedentes .....	13
2.1.- Flujo del aire sobre superficies aerodinámicamente suaves .....	15
2.1.1.- Teoría de la semejanza euleriana de Monin-Obukhov .....	19
2.2.- Flujo de aire sobre superficies aerodinámicamente rugosas .....	23
3.- Velocidad del viento en la capa atmosférica de transición .....	27
3.1.- Atmósfera estratificada neutralmente .....	29
3.1.1.- Desarrollo del modelo .....	29
3.1.2.- Aplicación del modelo .....	38
3.2.- Atmósfera estratificada inestablemente .....	57
3.2.1.- Desarrollo del modelo .....	57
3.2.2.- Velocidad de fricción .....	61
3.2.2.1.- Modelo .....	61
3.2.2.2.- Aplicación .....	64
3.3.- Atmósfera estratificada establemente .....	68
3.3.1.- Desarrollo del modelo .....	68
3.3.2.- Verificación .....	74
3.3.3.- Velocidad de fricción .....	80
3.3.3.1.- Desarrollo del modelo .....	80
3.3.3.2.- Verificación .....	81
3.4.- Discusión .....	86
4.- Velocidad media del viento en la capa atmosférica interna .....	91
4.1.- Forma funcional de $I$ .....	93
4.2.- Aplicación del modelo a datos experimentales .....	106
4.2.1.- Tipo de vegetación A .....	106

	Pág.
4.2.2.- Tipo de vegetación B .....	108
4.2.2.1.- Maíz .....	108
4.2.2.2.- Cultivo artificial .....	113
4.2.3.- Estudio de la bondad del modelo .....	114
4.3.- Discusión .....	115
5.- Comparación con los resultados de otros autores .....	116
6.- Conclusiones .....	130
Referencias .....	133
Anexo .....	137
Apéndice 1 .....	139
Apéndice 2 .....	146
A2.1.- Metodología utilizada en la determinación de formas funcionales a partir de datos observacionales .....	146
A2.2.- Determinación de formas funcionales .....	148
A2.2.1.- Perfil vertical adimensional del viento en la capa atmosférica de transición .....	148
A2.2.2.- variación vertical de la velocidad de fricción en la capa de transición inestable .....	150
A2.2.3.- Perfil vertical adimensional del viento en la capa de transición estable .....	150
A2.2.4.- Variación vertical de la velocidad de fricción en la capa de transición estable .....	151
A2.2.5.- Perfil vertical adimensional del viento en la capa interna de la atmósfera .....	151
Apéndice 3 .....	153

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I .....	30
Tabla II .....	39
Tabla III .....	45
Tabla IV .....	54
Tabla V .....	61
Tabla VI .....	67
Tabla VII .....	67
Tabla VIII .....	68
Tabla IX .....	70
Tabla X .....	74
Tabla XI .....	76
Tabla XII .....	76
Tabla XIII .....	77
Tabla XIV .....	79
Tabla XV .....	79
Tabla XVI .....	85
Tabla XVII .....	85
Tabla XVIII .....	86
Tabla XIX .....	93
Tabla XX .....	107
Tabla XXI .....	110
Tabla XXII .....	113
Tabla A1-1 .....	140
Tabla A1-2 .....	141
Tabla A1-3 .....	143
Tabla A1-4 .....	144
Tabla A1-5 .....	145
Tabla A3-1 .....	154
Tabla A3-2 .....	156
Tabla A3-3 .....	158
Tabla A3-4 .....	160
Tabla A3-5 .....	163

	Pág.
Tabla A3-6 .....	172
Tabla A3-7 .....	173

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 .....	14
Figura 2 .....	20
Figura 3 .....	23
Figura 4 .....	31
Figura 5 .....	35
Figura 6 .....	37
Figura 7 .....	40
Figura 7-bis) .....	46
Figura 8 .....	54
Figura 9 .....	57
Figura 10 .....	58
Figura 11 .....	59
Figura 12 .....	60
Figura 13 .....	63
Figura 14 .....	65
Figura 15 .....	66
Figura 16 .....	69
Figura 17 .....	71
Figura 18 .....	73
Figura 19 .....	75
Figura 20 .....	78
Figura 21 .....	82
Figura 22 .....	84
Figura 23 .....	87
Figura 24 .....	91
Figura 25 .....	95
Figura 26 .....	100
Figura 27 .....	106
Figura 28 .....	108
Figura 29 .....	109
Figura 30 .....	111
Figura 31 .....	114
Figura 32 .....	115



	Pág.
Figura 33 .....	117
Figura 34 .....	117
Figura 35 .....	118
Figura 36 .....	119
Figura 37 .....	119
Figura 38 .....	121
Figura 39 .....	122
Figura 40 .....	122
Figura 41 .....	124
Figura 42 .....	125
Figura 43 .....	126
Figura 44 .....	127
Figura 45 .....	129
Figura 46 .....	130
<b>Figura 47 .....</b>	<b>131</b>

SÍMBOLOS Y DEFINICIONES

Entre paréntesis se agrega una posible unidad para cada variable.

- densidad de área de arrastre, de los elementos rugosos, por unidad de volumen geométrico, normal al flujo medio, (  $\text{cm}/\text{cm}^2$  ),
- coeficiente de arrastre vegetal, por unidad de área foliar
- $c_p$  calor específico del aire a presión constante, (  $\text{cal}/\text{g} \cdot \text{K}$  ),
- $C_D(h) = (\bar{u}(h) / u_{*0})^{-2}$ , coeficiente de arrastre por unidad de área horizontal, en el tope de la cobertura vegetal,
- $C_{f(z)} = 0.5 h c_a(z)$ , factor de arrastre .
- $d$  desplazamiento del plano cero, (  $\text{cm}$  ).
- $f$  parámetro de Coriolis, (  $\text{s}^{-1}$  ).
- aceleración debida a la gravedad terrestre, (  $\text{cm}/\text{s}^2$  ),
- $h$  altura media de los elementos rugosos, (  $\text{cm}$  ),
- altura de la capa límite de superficie, (  $\text{cm}$  ),
- altura de la capa límite atmosférica, (  $\text{cm}$  ),
- $K$  constante de von Kármán,
- $K_u$  coeficiente de difusividad turbulenta de la cantidad de movimiento, (  $\text{cm}^2 / \text{s}$  ),
- $l_m$  longitud de mezcla. El subíndice " o " significa valor de superficie, (  $\text{cm}$  ),
- $\tilde{l}_m$  (  $u_{*0} \cdot l_m / \nu$  ), longitud de mezcla adimensionalizada. El subíndice " o " significa valor de superficie,
- $L = -u_*^3 / (\beta_0 k \overline{w'^2 \theta'})$ , es la longitud de Monin-Obukhov, escala de estabilidad atmosférica. El subíndice " o " significa valor en la capa de flujos constantes, (  $\text{cm}$  ),
- $F$  función adimensional de la variación vertical de la velocidad de fricción para condiciones de inestabilidad atmosférica. Si se halla " primada " significa que corresponde a condiciones atmosféricas estables,
- $C_H = -\rho c_p \overline{w'\theta'}$ , flujo vertical turbulento de calor sensible. El subíndice " o " representa su valor en la capa de flujos constantes, (  $\text{cal} / \text{s} \cdot \text{cm}^2$  ),
- coeficiente de correlación lineal,

$Re_{(z)}$  =  $\bar{u}(z) \cdot z / \nu$  , número de Reynolds a la altura  $z$  .

$Re_f$  =  $u_{*0}(z) \cdot z / \nu$  , número de Reynolds friccional a la altura  $z$  ,

$Ri$  =  $(g \cdot \partial \bar{\theta} / \partial z) / \bar{\theta} (\partial \bar{u} / \partial z)^2$  , número de Richardson, parámetro de estabilidad atmosférica,

$T_m$  temperatura de referencia del aire, ( K ),

$T'$  perturbación turbulenta de la temperatura del aire, ( K ),

$\bar{u}$  velocidad media temporal, ( proceso estacionario ), del viento, ( cm/s ),

$u'$  fluctuación turbulenta horizontal de la velocidad del viento, ( cm/s ),

$\tilde{u}$  =  $\bar{u} / u_{*0}$  , velocidad adimensionalizada del viento medio,

$u_*$  =  $-(\overline{u'w'})^{0.5}$  , velocidad de fricción . El subíndice " o " representa su valor en la capa de flujos constantes, ( cm/s ),

$\hat{u}$  =  $\bar{u}(z/h) / \bar{u}(1)$  , velocidad normalizada del viento medio.

$u_{\infty}$  velocidad característica del túnel de viento, ( m/s ) .

$U$  vector viento, ( m/s ) .

$U_0$  velocidad del viento correspondiente a atmósfera libre, ( m/s ) .

$U_T$  vector viento en el nivel  $z_T$  , ( m/s ) .

$V_g$  vector viento geostrofico, ( m/s ) .

$\overline{u'w'}$  flujo turbulento vertical de la velocidad del viento, (  $cm^2/s^2$  ),

=  $\bar{w}$  , velocidad media vertical del viento, ( cm/s ),

perturbación turbulenta vertical de la velocidad del viento, ( cm/s ),

$\overline{w'T'}$  flujo turbulento vertical de temperatura, ( cm . K / s ),

distancia viento abajo al borde de la plantación, ( cm ),

coordenada vertical. Los subíndices " 1 " y " 2 " significan niveles de medición de la velocidad media del viento, siendo el promedio geométrico entre ellos  $z'$ , ( cm ),

longitud de rugosidad del terreno, ( cm ),

altura de la capa viscoso-turbulenta, ( cm ),

$z_v$  altura de la capa viscosa o laminar, ( cm ),

$z_{*}$  altura de la capa atmosférica de transición, ( cm ),

~

- $\bar{z}$  altura de la capa límite interna, ( m ) .
- $z_T$  borde superior del modelo de Kondo y Akashi (1970), ( m ) .
- $\lambda$  =  $( S / 2 l_m^2 )^{1/3}$  , donde  $S = \frac{1}{2} c \cdot a$  , coeficiente de atenuación del perfil exponencial de la velocidad media del viento en la capa atmosférica interna, (  $cm^{-1}$  ) ,
- $\delta$  densidad de plantación de la cobertura vegetal, ( plantas /  $cm^2$  ) ,
- $\rho$  densidad media del aire, (  $g / cm^3$  ) ,  
 =  $\mu / \rho$  , coeficiente de viscosidad cinemática, (  $cm^2/s$  ) ,
- $\mu$  coeficiente de viscosidad dinámica, (  $g / cm \cdot s$  ) ,
- $\bar{\theta}$  temperatura potencial media del aire, ( K ) ,
- $\tau$  tensiones de corte. El subíndice " o " significa valor en la capa de flujos constantes, (  $g / s^2 \cdot cm$  ) ,
- $\beta_o$  =  $g / T_m$  , parámetro de empuje, (  $cm / s^2 \cdot K$  ) ,
- $\phi_M$  perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa límite de superficie desarrollada sobre superficies aerodinámicamente lisas,
- $\phi'$  perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición,
- $\phi_I$  perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica interna,
- $\psi_M$  apartamiento de la velocidad media del viento del perfil logarítmico por influencia de la estabilidad atmosférica,
- $\bar{z}$  =  $\int_0^z a(z) \cdot \partial z$  , índice de área de arrastre de la vegetación en el nivel  $z$  ,
- $\bar{z}_{II}$  =  $\int_0^h a(z) \cdot \partial z$  , índice de área de arrastre total de la vegetación.
- $\theta_T$  ángulo de desviación entre el viento geostrofico y  $U_T$  , (  $^\circ$  ) .

## RESUMEN

Con el objeto de estudiar la influencia de la vegetación sobre el flujo de aire, en este trabajo se desarrolla un modelo semiempírico, destinado a evaluar el perfil vertical de la velocidad media del viento, en la capa de la atmósfera en que se desarrollan los vegetales y la que se encuentra por encima de ellos. El modelo propuesto se basa en una modificación de la teoría de la semejanza euleriana desarrollada por Monin y Obukhov, y originalmente aplicada a superficies aerodinámicamente suaves. El modelo resultante permite representar la variación vertical de la velocidad media del viento en función de la altura de la vegetación y de su densidad de área de arrastre, y del coeficiente de arrastre en el tope de la cobertura vegetal. La verificación llevada a cabo con datos experimentales muestra una buena concordancia cuali-cuantitativa de los resultados del modelo en condiciones atmosféricas reales, para distintos tipos de vegetación y diferentes estratificaciones térmicas.

## 1.- INTRODUCCION

Todo ser vivo, tanto vegetal como animal, se enfrenta a similares necesidades fundamentales de supervivencia, y tiene los mismos problemas para alimentarse, obtener energía y espacio vital, y reproducirse. Para resolver estos problemas, las plantas y los animales se han diferenciado, adaptándose a la vida en un ambiente particular. Este ambiente está compuesto por el medio biológico y el medio físico ( Villee, 1966 ). Su relación con el medio físico está dada por la tolerancia o necesidad de los organismos de cierto grado de humedad, radiación solar, temperatura, viento, etc. . En el caso específico de los vegetales verdes, uno de los elementos fundamentales del medio físico es la luz, que está relacionada directamente con la fotosíntesis ( y mediante ella con la producción de materia seca), el fototropismo y la fotoperiodicidad ( Wilson y Loomis, 1968; Daubenmire, 1974; Weier y otros, 1979). Por su parte la fotosíntesis y la respiración dan por resultado la interacción con el medio a través del intercambio de dióxido de carbono y oxígeno ( Wilson y Loomis, 1968; Daubenmire, 1974; Weier y otros, 1979). Otro proceso de esta interacción es la transpiración estomática, que está regulada, entre otros factores, por la humedad atmosférica y el viento, y permite enfriar las hojas, evitando así la muerte de los tejidos, por alta insolación ( Wilson y Loomis, 1968; Daubenmire, 1974; Weier y otros, 1979).

El viento, además de intervenir en el proceso de evapotranspiración del vegetal, actúa en el transporte del polen, y de distintas propiedades, tales como el vapor de agua, calor sensible, cantidad de movimiento y dióxido de carbono. A su vez, es afectado por la estructura de la vegetación, al representar ésta una gran superficie de arrastre , perturbando el flujo de aire, y formándose pequeños torbellinos, que colaboran en la eficiencia del transporte mencionado, ( Oke, 1981).

Los vegetales representan una variable económica muy importante debido al suministro ( directo o indirecto) de alimentos y de productos no alimenticios ( tales como madera, caucho, pintura, jabón, fibras). Por lo tanto, es fundamental conocer las condiciones atmosféricas óptimas para controlar y mejorar la productividad de distintos vegetales, y mantener y adaptar diferentes especies en lugares que no representen su hábitat natural.

La capa atmosférica en la que se desarrollan los vegetales tiene características turbulentas. La turbulencia atmosférica tiene su origen en dos mecanismos diferentes, uno mecánico generado por la rugosidad de la superficie sobre la cual se desplaza el aire, y otro térmico o convectivo originado por las variaciones verticales de la densidad del aire ( Oke, 1981). En las zonas con vegetación, es necesario describir cada uno de estos mecanismos y su efecto sobre las distintas variables meteorológicas.

Como se mencionó, la turbulencia mecánica es originada por la presencia de una super

ficie rugosa, sobre la cual fluye el aire, o lo que es lo mismo, es el efecto de perturbación de la superficie sobre el viento. De lo expuesto, se desprende que el viento es uno de los parámetros que desempeña un papel importante en la interacción planta-atmósfera.

El objetivo principal de este trabajo es la determinación de expresiones destinadas a la evaluación del perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica ubicada en superficies con coberturas vegetales. La metodología que se utiliza es la adaptación de la hipótesis de la semejanza euleriana de Monin-Obukhov, desarrollada originalmente para superficies homogéneas y con rugosidades pequeñas.

## 2.- ANTECEDENTES

Antes de introducir el tema específico, es conveniente resumir la evolución de las investigaciones destinadas a describir el comportamiento de la velocidad en un fluido que se desplaza sobre una superficie plana y homogénea. La capa de fluido donde se observa influencia de la superficie se denomina capa límite. Cuando el fluido es la atmósfera y la superficie es la terrestre esta capa se denomina capa límite atmosférica. En una capa límite es posible distinguir diferentes regiones, lo que fue inicialmente reconocido por varios autores, entre ellos Prandtl en 1932, Nikuradse en 1933 y von Kármán en 1939, ( Hinze, 1959).

Un fluido que se desplaza sobre una superficie deberá tener un flujo con características particularmente viscosas, ya que las velocidades e incluso sus fluctuaciones turbulentas, se anularán en la superficie. El número de Reynolds (  $Re$  ) podrá ser expresado en función de la velocidad media local y de la distancia a la superficie, y estará representado por la siguiente relación :

$$Re(z) = \frac{\bar{u}(z) \cdot z}{\nu} \quad (1)$$

donde  $\bar{u}(z)$  es la velocidad media del fluido en el nivel  $z$ , en la dirección del movimiento. ( Debe aclararse que el promedio de la velocidad es temporal, y que se considera un proceso estacionario).

$z$  es la coordenada vertical, con origen en la superficie.

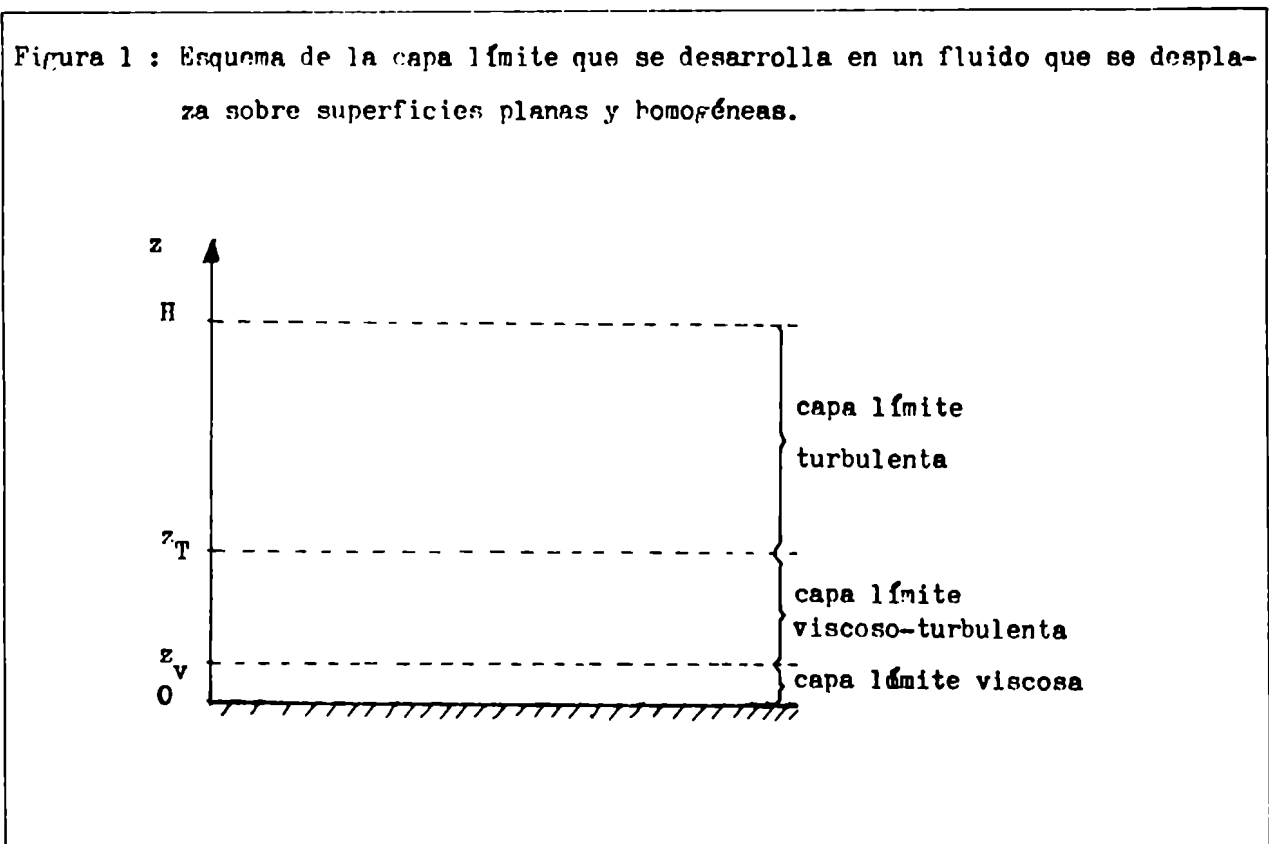
$\nu = \frac{\mu}{\rho}$  es el coeficiente de viscosidad cinemática del fluido, siendo  $\mu$  el coeficiente de viscosidad dinámica del fluido y  $\rho$  su densidad.

Cabe recordar que el número de Reynolds relaciona las fuerzas de fricción y visco-

sa, siendo menor para los flujos viscosos que para los turbulentos ( Reynolds, 1895). A medida que  $z$  aumenta en la relación (1), el efecto viscoso disminuye, encontrándose que para un nivel  $z_v$ , el flujo comienza a ser dominado por la turbulencia. Por lo tanto, el nivel  $z_v$  indica el espesor de la subcapa viscosa o laminar. Para alturas mayores el efecto de la viscosidad será despreciable, y a partir de un determinado nivel  $z_t$ , el flujo será netamente turbulento. Las alturas comprendidas entre  $z_v$  y  $z_t$  corresponden a una subcapa viscoso-turbulenta, la que puede denominarse de transición.

En la Figura 1 se presenta una esquematización de las diferentes regiones que conforman la capa límite de un fluido que se desplaza sobre una superficie plana y homogénea.

Cuando la superficie presenta elementos rugosos, el nivel  $z_v$  puede ser mayor o menor que la altura media ( $h$ ) de estos elementos de la superficie. Como es de esperar, la distribución de velocidades, estará afectada por  $h$ , sobre todo si ésta es mayor que  $z_v$ . Por lo tanto, para discutir el comportamiento de la velocidad, es necesario diferenciar la capa límite en dos casos : la desarrollada sobre superficies aerodinámicamente suaves ( con elementos rugosos pequeños) y la que se presenta sobre superficies aerodinámicamente rugosas ( con elementos rugosos altos), ( Sutton, 1953).





## 2.1.- Flujo del aire sobre superficies aerodinámicamente suaves

El flujo del aire adyacente a una superficie aerodinámicamente suave o lisa está principalmente determinado por la distancia a la superficie ( $z$ ), la viscosidad dinámica del fluido ( $\mu$ ) y las tensiones de corte, ( $\tau = -\rho \overline{u'w'}$ ), donde  $\rho$  es la densidad media del fluido,  $u'$  es la perturbación turbulenta horizontal de la velocidad del aire en la dirección del movimiento y  $w'$  es la fluctuación turbulenta vertical de la misma, (siendo  $\bar{w} = 0$ ). Suponiendo que la tensión de corte es casi constante e igual a la de superficie, ya que la región considerada es muy estrecha, la distribución de velocidad, en primera aproximación, estará dada por la siguiente expresión :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{\tau}{\mu} \quad (2)$$

de donde se desprende que :

$$\bar{u}(z) = \frac{\tau \cdot z}{\mu} \quad (3)$$

y si  $u_* = (\tau / \rho)^{0.5}$  y  $\nu = \mu / \rho$ , la expresión (3) resulta :

$$\bar{u}(z) = \frac{u_*^2 \cdot z}{\nu} \quad (4)$$

donde  $u_*$  es la velocidad de fricción o característica. De esta manera, a partir de la expresión (4) es posible considerar que la distribución de la velocidad del fluido en la subcapa viscosa ( $z \leq z_v$ ), es lineal con la altura.

En la región turbulenta,  $z \geq z_t$ , suponiendo que la tensión de corte permanece constante, ( $\tau = \tau_0$ ), se puede describir la variación de la velocidad media del fluido con la altura, a través de la "teoría K" o "teoría flujo-gradiente", por medio de la siguiente relación :

$$K_u \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{\tau_0}{\rho} \quad (5)$$

donde  $K_u$  es la viscosidad turbulenta o coeficiente de difusión turbulenta vertical para la velocidad. La viscosidad turbulenta está asociada con el transporte de cantidad de movimiento de una capa a otra, y éste está determinado por la difu-

sión de partículas del fluido debida a la turbulencia. En este aspecto existen dos líneas de investigación, considerando por una parte que  $K_u$  representa una característica del fluido, y por otra que es representativa del flujo ( Deardorff, 1974-a; Deardorff, 1974-b; Pasquill y Smith, 1974).

Suponiendo que la viscosidad turbulenta es constante con la altura, de la relación (5) se obtiene una variación vertical lineal de la velocidad media del fluido, lo que no concuerda con los valores experimentales. Por otra parte, se ha mostrado ( Hinze, 1959), que para distancias pequeñas, el proceso de difusión es lineal con el tiempo y que si se introduce un coeficiente de viscosidad turbulenta, éste varía linealmente con la distancia. Debido a que se consideran distancias cortas es posible suponer que  $K_u$  dependerá de  $z$  y esperar que el ajuste sea mejor que si fuese constante. Por lo expuesto, se puede expresar el coeficiente de difusión turbulenta vertical de la cantidad de movimiento, mediante la siguiente relación :

$$K_u = k \cdot u_{*0} \cdot z \quad (6)$$

donde  $k$  es la constante de von Kármán. El valor numérico de esta constante es incierto, ( Mazzeo, 1982). Plate (1971) manifiesta lo siguiente : " Existen evidencias experimentales de que los valores de  $k$  se encuentran entre 0.2 y 0.8 ". Sin embargo, estos valores extremos son muy raros. Pero, es necesario señalar la dispersión existente entre los valores experimentales correspondientes a la constante de von Kármán. En general, la mayoría de los autores optan simplemente, por considerar el promedio de los valores obtenidos, como el de la constante universal, ( 0.40 ó 0.41 ). Por otra parte, Tennekes (1968, 1972) desarrolló una teoría original destinada a describir los procesos que ocurren en tubos y canales. De acuerdo con la misma,  $k$  es una función decreciente del número de Reynolds, y se obtiene que si  $Re \rightarrow \infty$  entonces  $k = 0.33$ . Apoyando este valor, en el Proyecto de Observaciones Micrometeorológicas de Kansas, EE.UU. , ( Businger y otros, 1971), se encontró que para  $Re$  del orden de  $10^7$ , que es considerablemente mayor que los valores que se obtienen en experiencias de laboratorio,  $k = 0.35$  . Esta estimación fue verificada por Smedman-Högström en Suecia (1973) y por Weber y otros (1975). Sin embargo, este valor de  $k$  es considerablemente menor que la mayoría de los valores experimentales encontrados en la atmósfera. Por un lado, las mediciones de Kansas han sido realizadas por investigadores de renombre y con mucho cuidado, pero por otro los tres experimentos mencionados constituyen los únicos entre una serie de una mayor cantidad de experimentos que aportan valores superiores de  $k$ . Por lo tanto, es prematuro asegurar que  $k = 0.40$ , y lo que se puede afirmar es que para la

finido por  $u_{\infty 0} \cdot z / \nu$ . Por su parte, Hofmann en 1940 y Reichardt, en el mismo año, (Hinze, 1959), suponen que la aproximación está dada por un polinomio de tercer grado en  $\left\{ u_{\infty 0} \cdot (z - z_v) / \nu \right\}$  y una función exponencial, respectivamente. Sin embargo, no se registraron avances significativos. Posteriormente, Rotta en 1950 (Hinze, 1959), supuso que en la región de transición, la tensión de corte está determinada por efectos viscosos y turbulentos. Considerando la teoría de la longitud de mezcla, se obtiene:

$$\tau = \rho \left[ \nu + l_m^2 \left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right| \right] \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (11)$$

donde  $l_m = k (z - z_v)$ . Para  $z \leq z_v$  el efecto es completamente viscoso. La solución de la expresión (11), en forma adimensional, es la siguiente:

$$\tilde{u} = \frac{1}{2 \cdot k \cdot \tilde{l}_m} \left[ 1 - (1 + 4 \tilde{l}_m^2)^{0.5} \right] + \frac{1}{k} \ln (2 \tilde{l}_m + (1 + 4 \tilde{l}_m^2)^{0.5}) + \tilde{z}_v, \quad (12)$$

siendo  $\tilde{l}_m = u_{\infty 0} \cdot l_m / \nu$  y  $\tilde{z}_v = u_{\infty 0} \cdot z_v / \nu$ .

La expresión (12) coincide con los resultados obtenidos por Miles en 1957, (Hinze, 1959). Hinze (1959) realizó un estudio comparativo entre las expresiones mencionadas y datos experimentales obtenidos en diversas experiencias. Los resultados de la comparación muestran que en la capa dominada por la turbulencia los datos responden a la distribución logarítmica, expresada por la relación (9). Clauser (1956) propone para  $(1/k)$  un valor de 2.44, lo que indica un valor para la constante de von Kármán de 0.41, acorde con los utilizados frecuentemente, mientras que para  $c_1$  sugiere 4.9. Townsend en 1951 (Hinze, 1959), encuentra que  $c_1 = 7.0$ . El valor de este parámetro parece estar conectado con  $z_v$ , lo que se puede extraer de la expresión (12), según la cual para  $(u_{\infty 0} \cdot z / \nu)$  muy grandes, se puede escribir:

$$\tilde{u} = \frac{1}{k} \ln \tilde{z} + \frac{1}{k} (\ln 4k - 1) + \tilde{z}_v \quad (13)$$

donde  $c_1$  está representado por los dos últimos términos del segundo miembro.

Rotta en 1950 (Hinze, 1959) supone que  $k = 0.40$  y  $z_v = 6.7$ , y obtiene  $c_1 = 5.37$ .

Por su parte, Nikuradse (1933) propone  $c_1 = 3.68$ .

Para la región de transición y para la subcapa viscosa sólo se presentan datos de laboratorio para la comparación. De acuerdo con la dispersión que muestran los da-

tos se extrae que es posible considerar  $\tilde{z}_v$  comprendido entre 5.0 y 6.7, y las expresiones derivadas por Botta son válidas. Del mismo modo, se obtiene una aproximación para  $\tilde{z}_t = 30$ .

### 2.1.1.- Teoría de la semejanza euleriana de Monin-Obukhov

Hace casi 40 años, Obukhov (1946), ( Businger y Yaglom, 1971; Mazzeo, 1982), desarrolló una teoría semiempírica de la turbulencia en un medio estratificado, permaneciendo esta hipótesis prácticamente desconocida durante varios años. Sin embargo, algún tiempo después estudios efectuados por Monin y Obukhov (1953, 1954) configuraron una teoría más general de la turbulencia en un medio estratificado, basada en los métodos de la semejanza y del análisis dimensional. El estado presente en el desarrollo de las teorías de la turbulencia en la capa límite atmosférica está influenciado notoriamente por aquellos trabajos iniciales de Monin y Obukhov. Sin embargo, debe mencionarse que la teoría de Monin-Obukhov está basada en condiciones muy simplificadas de la capa límite atmosférica : estado estacionario de la atmósfera con superficies homogéneas y aerodinámicamente suaves. Hasta el presente existen muy pocos estudios encarados para extender esta teoría a condiciones más complejas.

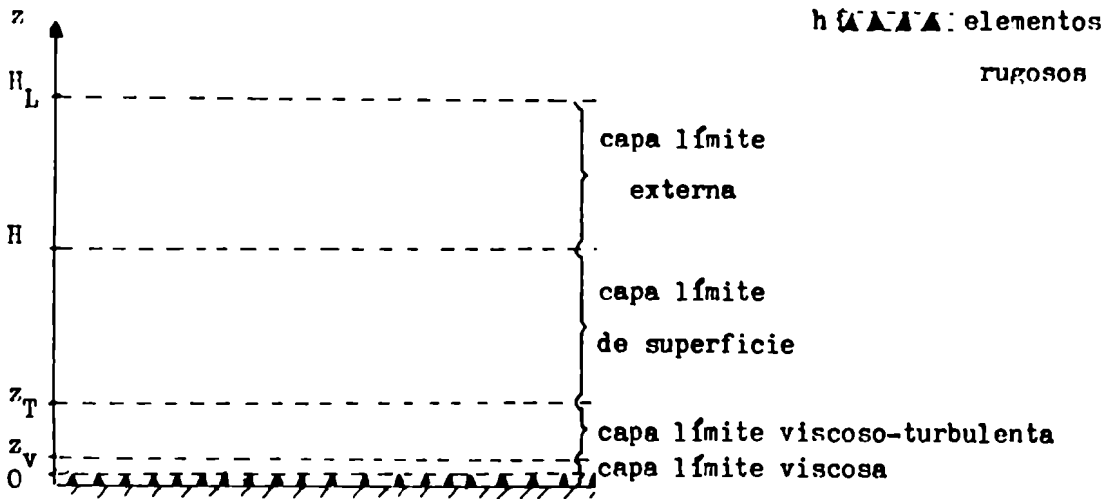
Antes de presentar la hipótesis de la semejanza euleriana de Monin-Obukhov, es conveniente describir la subdivisión de la capa límite atmosférica, ya que en ella se deben tener en cuenta otras fuerzas además de la de fricción y la viscosa. En la Figura 2 se muestra la esquematización correspondiente. En ella se observa la presencia de a) la capa viscosa o laminar, b) la subcapa viscoso-turbulenta, c) la capa netamente turbulenta, denominada capa límite de superficie, en la cual los flujos turbulentos verticales son considerados constantes con la altura, y finalmente d) una capa límite externa en la que actúan en forma conjunta la fuerza de fricción y la de Coriolis ( debida a la rotación terrestre), entre otras.

Debido a que el presente estudio sólo involucra la capa límite de superficie de la atmósfera, esta revisión estará abocada a la aplicación de la teoría de la semejanza euleriana a ella.

Cabe mencionar que la teoría sólo considera casos de homogeneidad horizontal tanto para los distintos parámetros meteorológicos como de superficie.

El caso más simple que presenta esta hipótesis es la correspondiente a una atmósfera estratificada neutralmente. En la misma, el flujo turbulento de calor es nulo y la turbulencia en la capa de superficie está determinada por las tensiones de corte,  $(\tau_0)$ .

Figura 2 : Esquema de la capa límite atmosférica, desarrollada sobre superficies aerodinámicamente suaves. ( Elementos rugosos de altura h ).



También, es común utilizar como parámetro característico la velocidad de fricción,  $( u_{*0} )$ . Por lo tanto, la variación vertical de la velocidad media del viento será función del flujo vertical turbulento de la cantidad de movimiento y de la altura, lo que se expresa mediante la siguiente relación :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = f( u_{*0} , z ) \quad (14)$$

Aplicando el análisis dimensional clásico, derivado del Teorema  $\Pi$  de Buckingham, ( Bridgman, 1937), se obtiene la expresión :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_{*0}}{k \cdot z} \quad (15)$$

donde k es la constante de von Kármán.

La solución de la ecuación diferencial (15), es la siguiente :

$$\bar{u}(z) = \frac{u_{*0}}{k} \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad (16)$$

la que expresa el perfil vertical de la velocidad media del viento, en la capa necesariamente turbulenta de la atmósfera, y que es similar a las encontradas originalmente, entre otros, por Prandtl y von Kármán, ( relación (9)).

En la expresión (16)  $z_0$  es la longitud de rugosidad, que representa el nivel teórico donde la velocidad media del viento se anula, y que está directamente relacionada con el parámetro  $c_1$  de la relación (9). La longitud de rugosidad varía con el tipo de terreno, y especialmente para vegetaciones altas y para el océano no está determinada aún, en forma definitiva.

Existen limitaciones en la aplicabilidad de la expresión (16), que están dadas por los límites verticales de validez, que son los siguientes :  $z/z_0 \gg 1$  y  $z/H \ll 1$ , donde  $H$  es la altura de la capa límite de superficie de la atmósfera. Estos límites son algo ambiguos; Tennekes (1973) propone que  $z/z_0 > 100$  y  $z/H < 0.1$ . Considerando valores típicos de  $H = 1000$  m y  $z_0 = 1$  m, para el caso de un bosque, se desprende la no aplicabilidad del perfil logarítmico, debido a la coincidencia de los límites superior e inferior en 100 m. De lo cual, se infiere que cuando los elementos rugosos de la superficie son grandes, la teoría desarrollada por Monin y Obukhov no es válida.

Cuando la estratificación térmica es diferente de la neutral, la teoría de Monin-Obukhov propone que el gradiente vertical de la velocidad media del viento también depende del flujo turbulento vertical de calor sensible. Este se introduce en la expresión (14) por medio de la estabilidad atmosférica, parametrizada por la longitud de Monin-Obukhov,  $L_0 = -\rho c_p u_{*0}^3 / k \cdot \beta_0 \cdot Q_H$ , donde  $\beta_0 = g / T_m$  es el parámetro de empuje, con  $g$  la aceleración de la gravedad y  $T_m$  una temperatura de referencia, y  $Q_H = \overline{w'T'}$  es el flujo turbulento vertical de temperatura, con  $T'$  la fluctuación turbulenta de la misma. De acuerdo con esto, la expresión (14) se modifica como sigue :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = f(u_{*0}, z, L_0) \quad (17)$$

y aplicando el análisis dimensional clásico, se obtiene la siguiente relación para la variación vertical de la velocidad media del viento :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_{*0}}{k \cdot z} \phi_M(z/L_0) \quad (18)$$

donde  $\phi_M(z/L_0)$  es el perfil adimensional de la velocidad media del viento.

Las formas funcionales de este perfil adimensional, más conocidas, determinadas empíricamente, son del siguiente tipo :

$$\phi_{M(z/L_0)} = \begin{cases} 1 + \beta \frac{z}{L_0} & \text{si } \frac{z}{L_0} \geq 0 \\ \left(1 - \alpha \frac{z}{L_0}\right)^{-1/4} & \text{si } \frac{z}{L_0} \leq 0 \end{cases} \quad (19)$$

donde  $\beta$  y  $\alpha$  son constantes. Un trabajo de Yaglom (1977) reseña los distintos valores de estas constantes, obtenidos por diferentes autores. Los valores de ellas más frecuentemente utilizados son los derivados por Businger y otros (1971),  $\beta = 4.7$  y  $\alpha = 15$ , a partir de las observaciones micrometeorológicas de Kansas, E.E.U.U. . La forma integrada de la relación (18), considerando las expresiones (19), es la siguiente, ( Paulson, 1970 ) :

$$\bar{u}(z) = \frac{u_{*0}}{k} \left[ \ln \frac{z}{z_0} - \psi_{M(z/L_0)} \right] \quad (20)$$

siendo  $\psi_{M(z/L_0)}$  el apartamiento de las condiciones neutrales originado por la estabilidad atmosférica, y se expresa mediante la siguiente relación :

$$\psi_{M(z/L_0)} = \begin{cases} -\beta \frac{z}{L_0} & \text{si } \frac{z}{L_0} \geq 0 \\ \ln(1+x^2/2) + 2 \ln(1+x/2) - 2 \arctg(x) + \pi/2 & \text{si } \frac{z}{L_0} \leq 0 \end{cases} \quad (21)$$

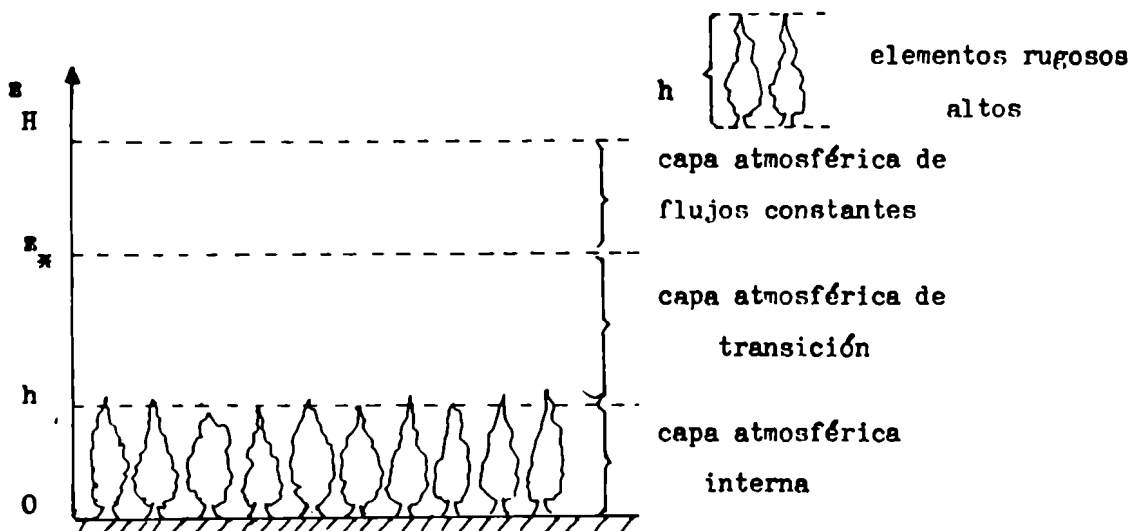
$$\text{con } x = \left(1 - \alpha \frac{z}{L_0}\right)^{1/4}$$

Cabe mencionar que estas expresiones, que describen el perfil vertical de la velocidad media del viento, de forma logarítmica, válidas para la región de la atmósfera caracterizada por los flujos turbulentos verticales constantes con la altura, se adaptan con una buena aproximación, para fines ingenieriles, en las zonas donde las tensiones de corte no permanecen constantes.

### 2.2.- Flujo de aire sobre superficies aerodinámicamente rugosas

La Figura 3 muestra una esquematización de la capa límite de superficie de la atmósfera desarrollada sobre una superficie aerodinámicamente rugosa. En ella : b-  
serva la presencia de las siguientes regiones : a) la superior, donde los flujos son constantes con la altura, b) por debajo de ella una capa atmosférica de transición, en la cual los flujos se reajustan a la ausencia de superficie de arrastre, representada por los elementos rugosos, y c) la inferior, que está comprendida dentro del volumen ocupado por la vegetación, y denominada capa atmosférica interna. Cuando el fluido se desplaza sobre una superficie que presenta elementos rugosos altos, generalmente el espesor de la capa viscosa es menor que la altura de ellos, por lo que suele suponerse que esta región atmosférica es despreciable. En estos casos, las investigaciones realizadas se limitan a efectuar correcciones a las expresiones previamente desarrolladas para superficies aerodinámicamente suaves. De esta manera, se introduce como parámetro característico la altura media de los elementos rugosos ( $h$ ), pudiéndose escribir el perfil vertical logarítmico de la velocidad media del viento, en forma adimensionalizada, por medio de una expresión similar a la (9), con la salvedad de que en este caso la altura adimensional estará representada por  $\tilde{z} = z / h$ . De todos modos uno de los mayores inconvenientes es la determinación de la constante de integración, la que se encuentra, como ya

Figura 3 : Esquema de la capa límite atmosférica de superficie, desarrollada sobre superficies aerodinámicamente rugosas. ( Elementos rugosos de altura  $h$  ).





no mencionó, directamente relacionada con la longitud de rugosidad, la que no está aún definida para superficies con elementos rugosos grandes. Estas expresiones modificadas son válidas para una delgada capa cercana a la superficie, pero con  $z > z_t$ . Para las capas superiores se ha utilizado, en general la ley de defecto de velocidad media, la que relaciona la velocidad media del viento en la capa con la correspondiente a la atmósfera libre ( $U_0$ ), y la altura de la capa límite de la atmósfera ( $H_L$ ), de acuerdo con la siguiente relación :

$$\frac{\bar{u}(z) - U_0}{u_{*0}} = f\left(\frac{z}{H_L}, H_L/L_0\right) \quad (22)$$

La capa de transición, por su parte, ha sido estudiada por Potta en 1950 (Hinze, 1959), a través de la teoría de la longitud de mezcla, considerando que ésta es nula en  $z = 0$ , debido a la presencia de la rugosidad del terreno, adjudicándole en ese nivel un valor finito  $l_{m0}$ , expresándola por la siguiente relación :

$$l_m = l_{m0} + k \cdot z \quad (23)$$

Considerando que la velocidad media es nula en  $z = 0$ , la solución para el perfil vertical de la velocidad media del viento es la siguiente :

$$\begin{aligned} \tilde{u} = & \frac{1}{2 \cdot k} \left( \frac{1}{\tilde{l}_m} - \frac{1}{\tilde{l}_{m0}} \right) - \frac{1}{2 \cdot k} \left[ \frac{(1 + 4 \tilde{l}_m^2)^{\frac{1}{2}}}{\tilde{l}_m} - \frac{(1 + 4 \tilde{l}_{m0}^2)^{\frac{1}{2}}}{\tilde{l}_{m0}} \right] + \\ & + \frac{1}{k} \ln \frac{(2 \tilde{l}_m - (1 + 4 \tilde{l}_m^2)^{\frac{1}{2}})}{(2 \tilde{l}_{m0} - (1 + 4 \tilde{l}_{m0}^2)^{\frac{1}{2}})} \end{aligned} \quad (24)$$

donde  $\tilde{l}_{m0} = u_{*0} \cdot l_{m0} / \nu$ .

La comparación realizada por Hinze (1959), entre las expresiones descriptas y los datos observacionales, muestra que el perfil logarítmico aproxima suficientemente bien las condiciones reales del flujo, para aplicaciones ingenieriles.

Otra de las modificaciones a las expresiones desarrolladas para superficies aerodinámicamente suaves, está dada en las expresiones de la teoría de Monin-Obukhov, incluyendo una variación en el origen de la coordenada vertical, a través del desplazamiento del plano cero ( $d$ ), (Plate, 1971; Grace, 1977), escribiendo la expresión (20) de la siguiente forma :

$$\bar{u}(z) = \frac{u_{z_0}}{k} \left[ \ln \frac{(z-d)}{z_0} - \Psi_M \left[ (z-d)/L_0 \right] \right] \quad (25)$$

La longitud de rugosidad y el desplazamiento del plano cero varían con el tipo de elemento rugoso, su altura, flexibilidad y densidad, con la velocidad media del viento en el tope de la vegetación, con la estabilidad atmosférica y con la distancia al lugar en donde se origina el cambio de rugosidad. Estos hechos son evidenciados en estudios realizados por diferentes autores. Pennann y Long (1959) encuentran una variación de estos dos parámetros con el número de Richardson, ( parámetro de estabilidad atmosférica, definido como  $Ri = (g \partial \bar{\theta} / \partial z) / \bar{\theta} (\partial \bar{u} / \partial z)^2$ , donde  $\bar{\theta}$  es la temperatura potencial media del aire), para una superficie cultivada con maíz, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Liver (1971) para el caso de un bosque de pinos. Este hecho es corroborado por otros autores ( Thom, 1971; Plate y Quarishi, 1965), para otros tipos de vegetación. Por otra parte, Meroney (1968) realizó una experiencia en túnel de viento con árboles artificiales, encontrando en el análisis de sus mediciones ( Sadeh y otros, 1970) que  $z_0$  y  $d$  varían con la distancia al borde de plantación. Las experiencias de laboratorio de Seginer (1974) confirman estas conclusiones. En la investigación efectuada por Allen (1968) es posible observar, de las mediciones realizadas sobre un bosque de alerces, que estos parámetros varían considerablemente con la velocidad media y dirección del viento.

Este amplio rango de variación de la longitud de rugosidad y del desplazamiento del plano cero, a pesar de que la expresión (25) describe correctamente el perfil vertical de la velocidad media del viento, impide una generalización de ellas y así su aplicabilidad sin limitaciones por la particularidad del caso.

La descripción más simple del movimiento del aire dentro de una cobertura rugosa, capa atmosférica interna, consiste en una de las componentes de la ecuación de la cantidad de movimiento, en la cual la fuerza de arrastre por unidad de volumen suministrada por los elementos rugosos está balanceada por el gradiente vertical de las tensiones horizontales de corte, que se expresa de la siguiente forma :

$$\frac{\partial \tau}{\partial z} = \frac{1}{2} \rho \text{ .c.a. } \bar{u}^2 \quad (26)$$

donde  $c$  es el coeficiente de arrastre de cada elemento y  $a$  el área de elementos rugosos expuesta normalmente al flujo por unidad de volumen geométrico.

Los modelos fenomenológicos, basados en la teoría de la longitud de mezcla de

Prandtl ( Schlichting, 1968), son frecuentemente utilizados para expresar las tensiones de corte en función del gradiente vertical de la velocidad media del viento, de acuerdo con la siguiente relación, ( expresión (5) ) :

$$\frac{\tau}{\rho} = K_u \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (27)$$

El sistema de ecuaciones se cierra a través de especificaciones sobre las características de la longitud de mezcla, permitiendo así determinar el perfil vertical de la velocidad media del viento, considerando que el coeficiente de difusividad turbulenta de la cantidad de movimiento está expresado por :

$$K_u = l_m^2 \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (28)$$

Inoue (1963) y Cionco (1965, 1972) suponen que la longitud de mezcla es constante dentro de la cobertura vegetal, y obtienen un perfil vertical de la velocidad media del viento de la siguiente forma :

$$\bar{u}(z) = \bar{u}(h) \cdot \exp [ \gamma ( z - h ) ] \quad (29)$$

donde  $\gamma = ( S / 2 \cdot l_m^2 )^{1/3}$ , es un coeficiente de atenuación, con  $S = \frac{1}{2}$  c.a. La aplicación de la expresión (29) a un cultivo de maíz ( Cionco y otros, 1963), muestra que el ajuste con datos reales es, en general, bueno, pero el análisis de la constancia de la longitud de mezcla muestra que sólo puede ser supuesta en algunos casos particulares. En las situaciones reales se evidencia una variación de  $l_m$  a través de la cobertura vegetal.

Cowan (1968) supone que la longitud de mezcla responde a la siguiente relación :

$$l_m^2 = A \cdot \operatorname{tgh} ( B \cdot z ) \quad (30)$$

donde  $A = ( 4 K_{u(h)}^3 / \text{c.a.} \cdot \bar{u}(h)^3 )^{1/2}$  y  $B = ( \text{c.a.} \cdot \bar{u}(h) / K_{u(h)} )^{1/2}$ , obteniéndose la siguiente expresión para el perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica interna :

$$\bar{u}(z) = \bar{u}(h) \left[ \frac{\operatorname{tgh} ( B \cdot z )}{\operatorname{tgh} ( B \cdot h )} \right]^{1/2} \quad (31)$$

La aplicación de la expresión (31) permite obtener un perfil vertical de la velocidad media del viento similar al representado por la relación (29), para la región comprendida entre  $0.4 h$  y  $h$ , mientras que para los niveles inferiores, el modelo propuesto por Cowan presenta una disminución, de acuerdo con la cual, la velocidad se anula en la superficie.

Landsberg y James (1971), al igual que Thom (1971), desarrollan una expresión independiente de la longitud de mezcla, suponiendo que la tensión de corte es proporcional al gradiente vertical de la velocidad media del viento, pero esto puede interpretarse como que ella es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del gradiente vertical de la velocidad media del viento. Con el modelo propuesto por Landsberg y James resulta un perfil vertical de la velocidad media del viento cualitativamente similar al obtenido por Cionco, pero más atenuado.

Algunos modelos de orden mayor (Bergen, 1975; Wilson y Shaw, 1977; Shaw, 1977), proponen introducir al sistema más ecuaciones y parámetros, pero la solución de ellos implica un importante apoyo computacional. Wilson y Shaw (1977), proponen un sistema de cinco ecuaciones, al agregar las tres componentes de la energía cinética turbulenta, siendo el perfil resultante de una buena aproximación a las condiciones reales. En él se presenta un "jet" en la zona inferior de la capa, cuando la vegetación no tiene hojas desde la superficie terrestre. Este "jet" se observa también en los resultados del modelo bidimensional sugerido por Kondo y Akashi (1976), el que propone que la longitud de mezcla es proporcional a la altura en la capa inferior y permanece constante por encima, hasta el tope de la vegetación. Mientras que, los modelos mencionados proveen predicciones que ajustan bien con las observaciones de la velocidad media del viento y de las tensiones de corte, la diversidad de expresiones utilizadas para describir dichas tensiones es desconcertante. Por otra parte, todos los modelos incluyen alguna escala de longitud, pero no una posible escala intrínseca de la cobertura, al considerar a ésta como un continuo. Albini (1981) incorpora este tratamiento a un modelo de segundo orden. La expresión que resulta de él, para la velocidad media del viento puede ser aproximada con exactitud por la exponencial de la integral sobre la altura de la densidad de área de arrastre de los elementos rugosos. El perfil resultante es idéntico al obtenido por el modelo de Cionco.

### 3.- VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA CAPA ATMOSFERICA DE TRANSICION

El perfil vertical de la velocidad media del viento, en la capa atmosférica de transición, como se mencionó en el punto 2.1.1., no puede reproducirse matemática-

fil ser modificado o no por la estabilidad atmosférica.

La necesidad de conocer el tipo de dependencia funcional de la variación vertical de la velocidad media del viento, con los distintos argumentos de semejanza de la relación (33), conduce a la determinación de la forma funcional del perfil adimensional ( $\phi'$ ), a partir de datos observacionales provenientes de experimentos llevados a cabo en el campo y en el laboratorio.

### 3.1.- Atmósfera estratificada neutralmente

#### 3.1.1.- Desarrollo del modelo

Las condiciones atmosféricas neutrales, en los argumentos de la relación (33), están representadas por  $h/L_0 = 0$ , ( $L_0 \rightarrow \infty$ ). Debido a ello la relación (33) se reduce a :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_{*0}}{k \cdot z} \phi' (z/h, C_D(h)) \quad (35)$$

Como se mencionó anteriormente, la determinación de la forma funcional del perfil adimensional requiere un tratamiento semiempírico. La necesidad de la mayor generalización posible en esta determinación, conduce a la utilización de datos observacionales correspondientes a experimentos realizados en diferentes tipos de vegetación y con distintos coeficientes de arrastre. En la Tabla I, se encuentran reseñadas las características de las distintas experiencias incluidas en esta parte del trabajo, hallándose los datos observacionales en la TABLA A1-1, Apéndice 1.

De la Tabla I se desprende que las experiencias utilizadas abarcan un rango de posibilidades bastante amplio, tanto por el tipo y altura de la vegetación, como por el coeficiente de arrastre definido en el tope de la misma. Todas las experiencias incluidas constan de mediciones de la velocidad media del viento a varios niveles por encima de la cobertura vegetal, mientras que, no todas incluyen mediciones del flujo turbulento vertical de la cantidad de movimiento en la región de flujos constantes.

De esta forma, la estimación del coeficiente de arrastre presenta dos posibles inconvenientes : ausencia de mediciones de la velocidad media del viento a la altura de la vegetación ( $\bar{u}_{(h)}$ ), y de la velocidad de fricción constante con la altura ( $u_{*0}$ ).

El valor de  $\bar{u}_{(h)}$ , no contando con su medición, fue estimado mediante la interpo-

mente por medio de las expresiones derivadas de la hipótesis de la semejanza eulariana de Monin-Obukhov, desarrollada originalmente para su aplicación en superficies aerodinámicamente suaves. Por lo tanto, es necesario realizar modificaciones en la parametrización de dicha hipótesis destinadas a expresar la variación vertical de la velocidad media del viento para superficies horizontalmente homogéneas y con altas rugosidades. Para este caso, se plantea la siguiente hipótesis, ( de Garrín y Mazzeo, 1983 ) : " En una capa atmosférica de transición, desarrollada sobre una superficie con cobertura vegetal horizontalmente homogénea, la variación vertical de la velocidad media del viento es función de : el flujo vertical turbulento de cantidad de movimiento (  $\tau_o$  ), correspondiente a la capa de flujos constantes; de la altura media de la vegetación (  $h$  ); de la altura (  $z$  ); de la velocidad media del viento en el tope de la vegetación (  $\bar{u}_{(h)}$  ) y del parámetro de estabilidad atmosférica en la capa de flujos reajustados (  $L_o$  ) " . Esta propuesta puede ser expresada por medio de la siguiente relación funcional :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = f( u_{*o}, h, z, \bar{u}_{(h)}, L_o ) \quad (32)$$

Aplicando a la expresión (32) el análisis dimensional clásico, se obtiene :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_{*o}}{k \cdot z} \phi' ( z/h, C_{D(h)}, h/L_o ) \quad (33)$$

donde  $\phi'$  es el perfil adimensional de la velocidad media del viento, y  $C_{D(h)}$  es el coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación, por unidad de área horizontal, expresada por la siguiente relación :

$$C_{D(h)} = ( u_{*o} / \bar{u}_{(h)} )^2 \quad (34)$$

En la expresión (33) se comprueba que los argumentos de semejanza para el perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición son la altura normalizada por la de la vegetación, el coeficiente de arrastre de la atmósfera en el tope de la cobertura vegetal y la estabilidad atmosférica en la capa de flujos constantes.

La comparación de las expresiones (18) y (33) muestra que la presencia de elementos con marcada rugosidad produce un apartamiento de las condiciones aerodinámicamente suaves, regulado por la distancia vertical al tope de la vegetación y por el grado de fricción generado por la superficie de arrastre lindante, pudiendo el per-

TABLA I

Especificaciones de las experiencias incluidas en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición.

tipo de Vegetación	h (m)	$C_D(h)$	Referencia
Habas, Caso C	1.18	0.489	Thom, 1971.
Caso D		0.218	
Caso E		0.231	
Caso F		0.196	
Mafz, Caso A	2.60	0.065	Desjardins y otros, 1978.
Caso B		0.106	
Caso C		0.074	
Caso D		0.118	
Caso E		0.105	
Mafz, Caso A	2.78	0.032	Cionco y otros, 1963.
Caso B		0.079	
Robles	20.00	0.360	Kondo y Akashi, 1976.
Acacias, Caso 2-09	10.00	0.002	Clarke y Brook, 1979.
Caso 5-07		0.232	
Caso 9-08		0.023	
Caso 9-09		0.007	
Caso 11-09		0.025	
Caso 15-17		0.031	
Caso 17-17		0.111	
Caso 18-17		0.072	
Caso 19-09		0.010	

lación del perfil del viento conociendo la velocidad media dentro de la cobertura. Por su parte, la velocidad de fricción, no conocida, se estimó por ajuste logarítmico de las velocidades medias de los niveles superiores ( $z > 2.5 h$ ). La exigencia de conocimiento o de estimación de estos dos parámetros redujo considerablemente el número de experiencias disponibles para su análisis.

Los valores empíricos del perfil adimensional se obtuvieron a partir de la siguiente expresión, derivada de la (35) :

$$\phi'(z'/h, C_D(h)) = \left. \frac{k \cdot z'}{u_{*0}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right|_{z'} \quad (36)$$

donde  $k = 0.4$ ,  $z' = (z_1 \cdot z_2)^{\frac{1}{2}}$ , y el gradiente vertical fue determinado por diferencias finitas, siendo  $z_1$  y  $z_2$  niveles contiguos de medición de la velocidad media del viento, ( ANEXO ).

En las Figuras 4-a) a 4-t) se encuentran graficados los valores de  $\phi'$  obtenidos mediante la expresión (36) en función de la altura adimensionalizada, para cada

Figura 4 : Perfil adimensional ( $\phi'$ ) de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, en función de la altura normalizada ( $z/h$ ). ( Los puntos representan los valores empíricos determinados por la expresión (36), y la línea representa una curva tentativa, trazada a "ojo")

Fig. 4-a): Habas, caso C.  
( Thom, 1971)

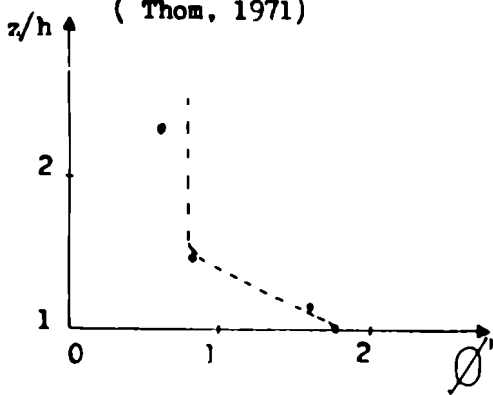


Fig. 4-b): Habas, caso D.  
( Thom, 1971)

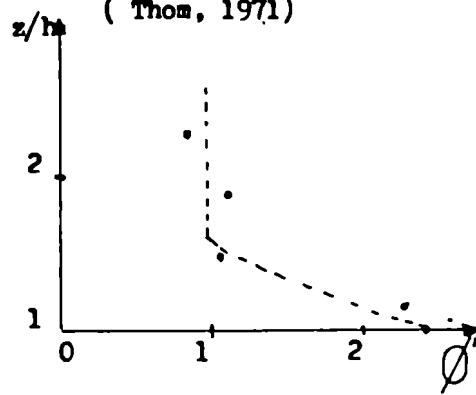


Fig. 4-c): Habas, caso E.  
( Thom, 1971)

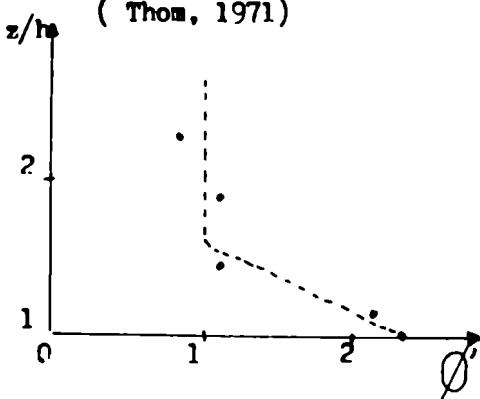


Fig. 4-d): Habas, caso F.  
( Thom, 1971)

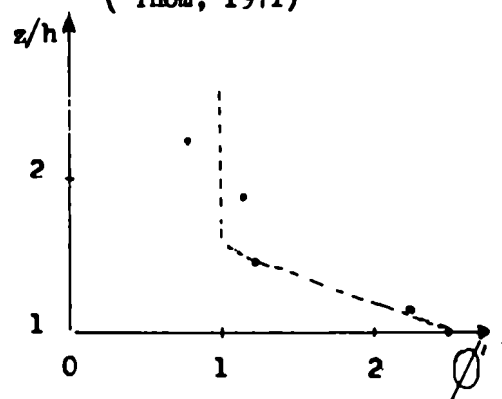
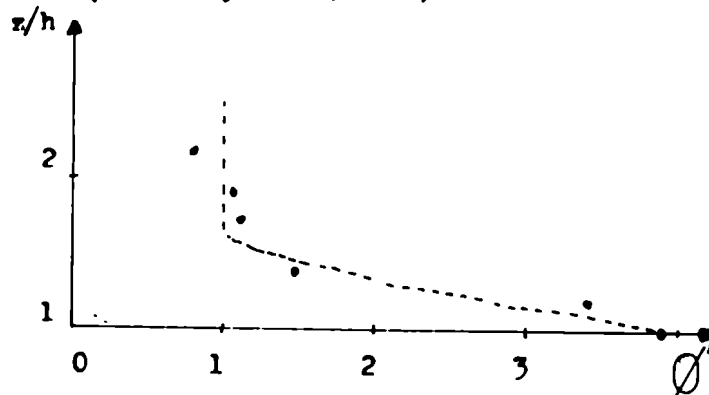


Fig. 4-e): Maíz, caso A.  
( Cionco y otros, 1963)



(continúa)



Figura 4 : (continuación).

Fig. 4-f): Maíz, caso B.

( Cionco y otros, 1963)

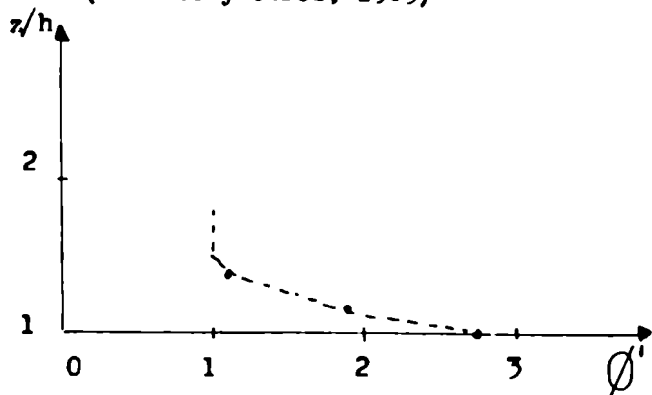


Fig. 4-g): Robles.

( Kondo y Akashi, 1976)

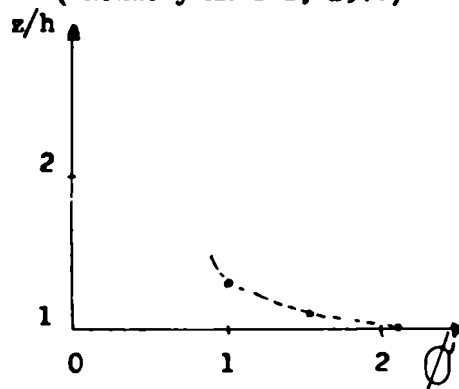


Fig. 4-h): Maíz, caso A.

( Desjardins y otros, 1978)

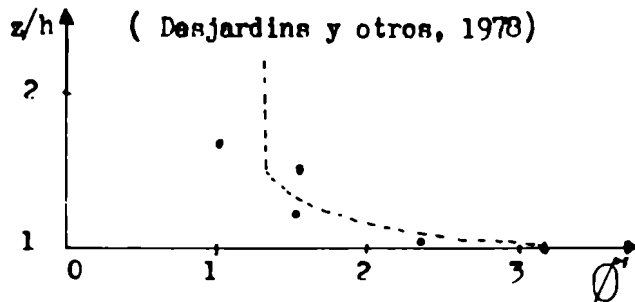


Fig. 4-i): Maíz caso B.

( Desjardins y otros 1978)

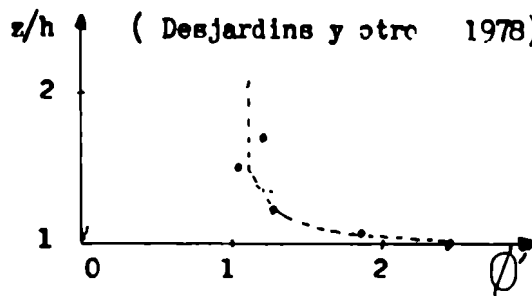


Fig. 4-j): Maíz, caso C.

( Desjardins y otros, 1978)

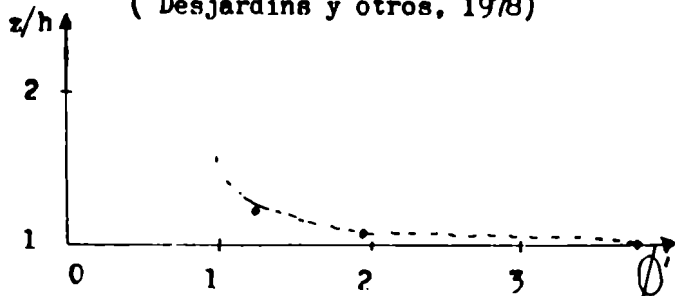


Fig. 4-k): Maíz, caso D.

( Desjardins y otros, 1978)

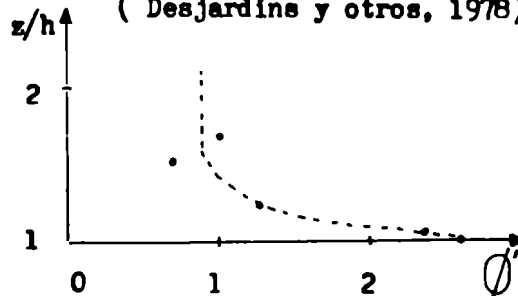
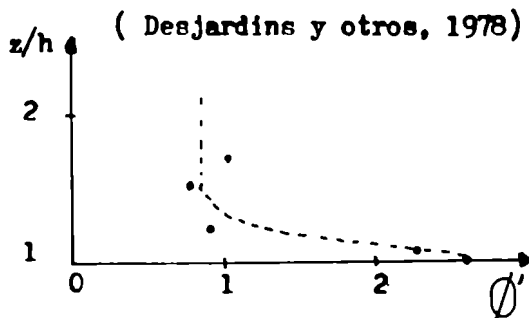


Fig. 4-l): Maíz, caso E.

( Desjardins y otros, 1978)



(continúa)

Figura 4 : ( continuación )

Fig.4-m) : Acacias , 02-09

( Clarke y Brook ,  
1979 )

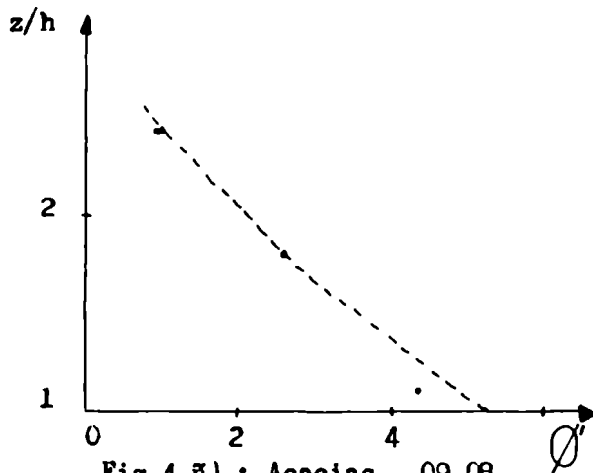


Fig.4-n) : Acacias , 05-07

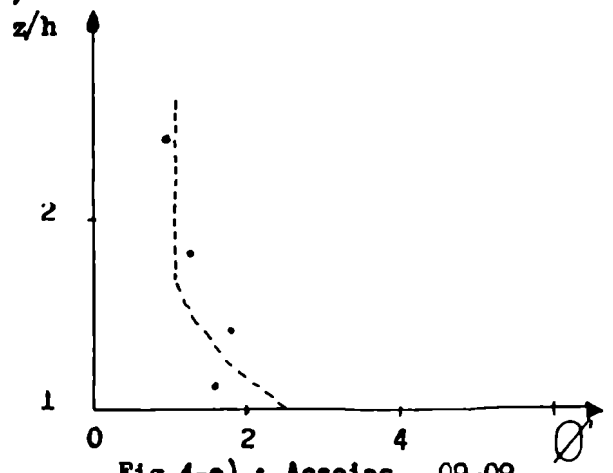


Fig.4-ñ) : Acacias , 09-08

( Clarke y Brook ,  
1979 )

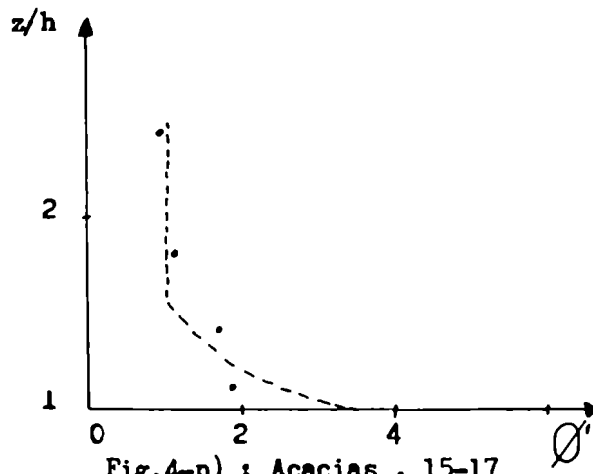


Fig.4-o) : Acacias , 09-09

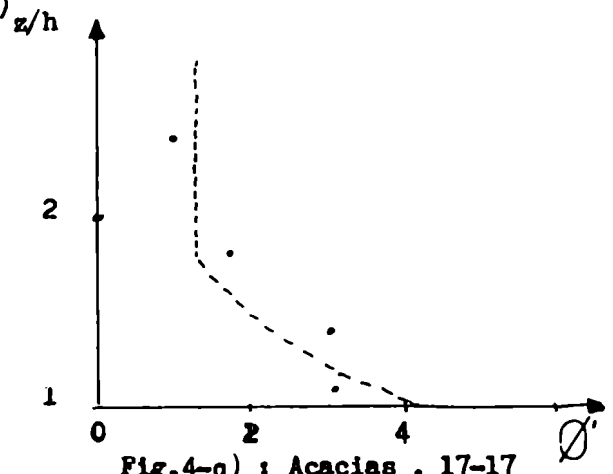


Fig.4-p) : Acacias , 15-17

( Clarke y Brook ,  
1979 )

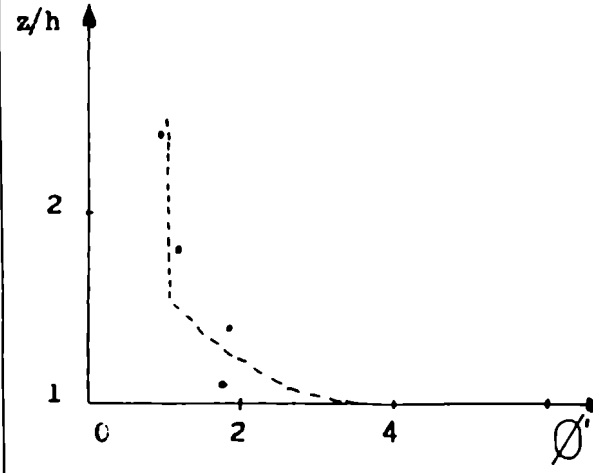
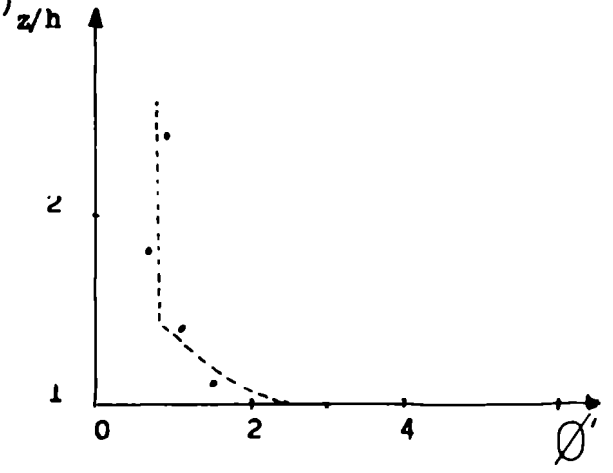


Fig.4-q) : Acacias , 17-17



( continúa )

Figura 4 : ( continuación )

Fig.4-r) : Acacias , 11-09  
(Clarke y Brook ,1979)

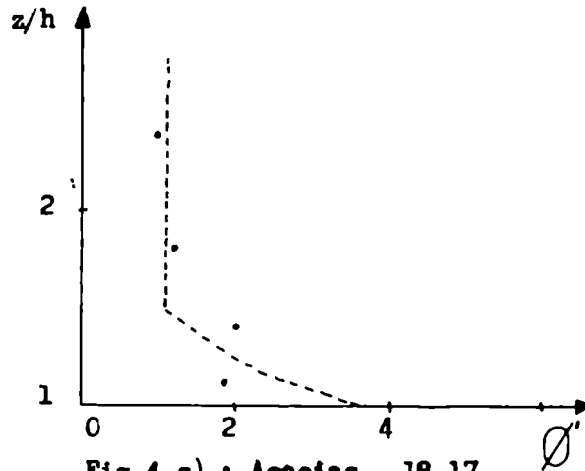


Fig.4-s) : Acacias , 18-17  
(Clarke y Brook ,1979)

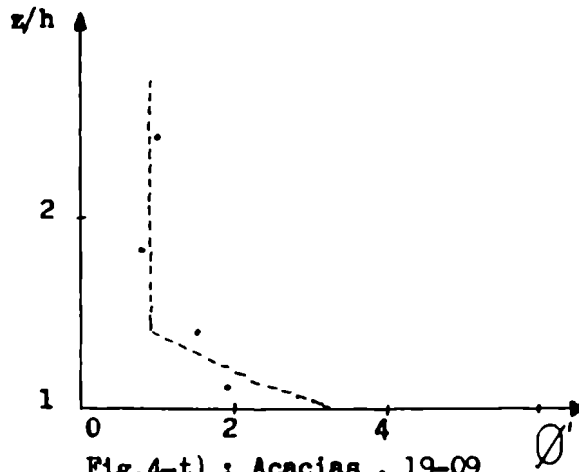
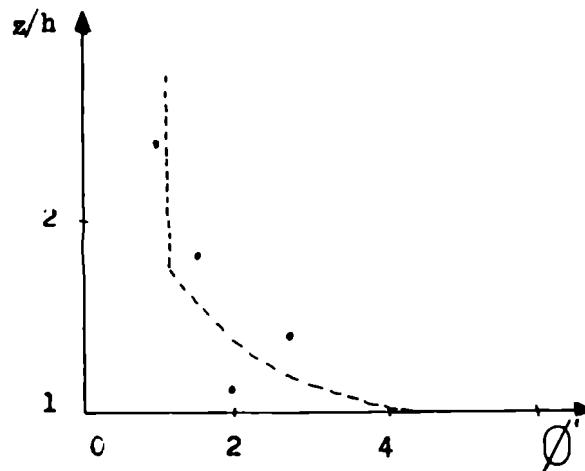


Fig.4-t) : Acacias , 19-09  
(Clarke y Brook ,1979)

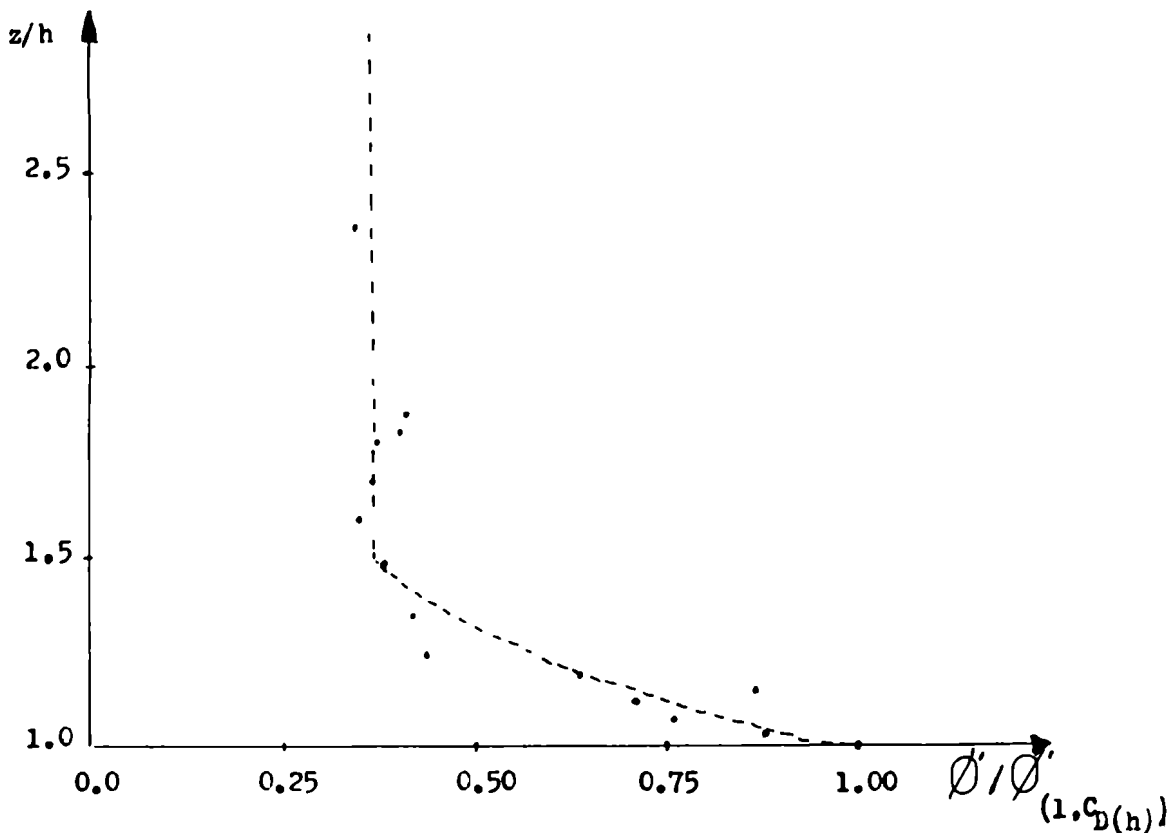


una de las experiencias. Los 21 perfiles dimensionales presentan una semejanza cualitativa, difiriendo en su valor máximo, que se verifica en la altura que coincide con el tope de la vegetación. Debido a ello se utilizó el valor máximo del perfil para normalizar a éste. En la Figura 5 se encuentran graficados los valores de  $\phi'$  normalizados por su valor máximo, que corresponde al nivel  $z/h = 1$ . En esa Figura se observa una clara disminución del valor del perfil dimensional normalizado para  $z/h \leq 1.5$ , para luego mantenerse constante con la altura.

Del análisis de los resultados obtenidos en la Figura 5, se encuentra que el perfil dimensional normalizado puede expresarse en función de la altura mediante las siguientes relaciones:

Figura 5 : Perfil dimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, normalizado por su valor máximo ( $\phi' / \phi' (1, C_{D(h)})$ ) en función de la altura normalizada ( $z/h$ ).

( Los puntos representan los valores empíricos promediados por experiencia , y la curva corresponde a las expresiones (37) ).

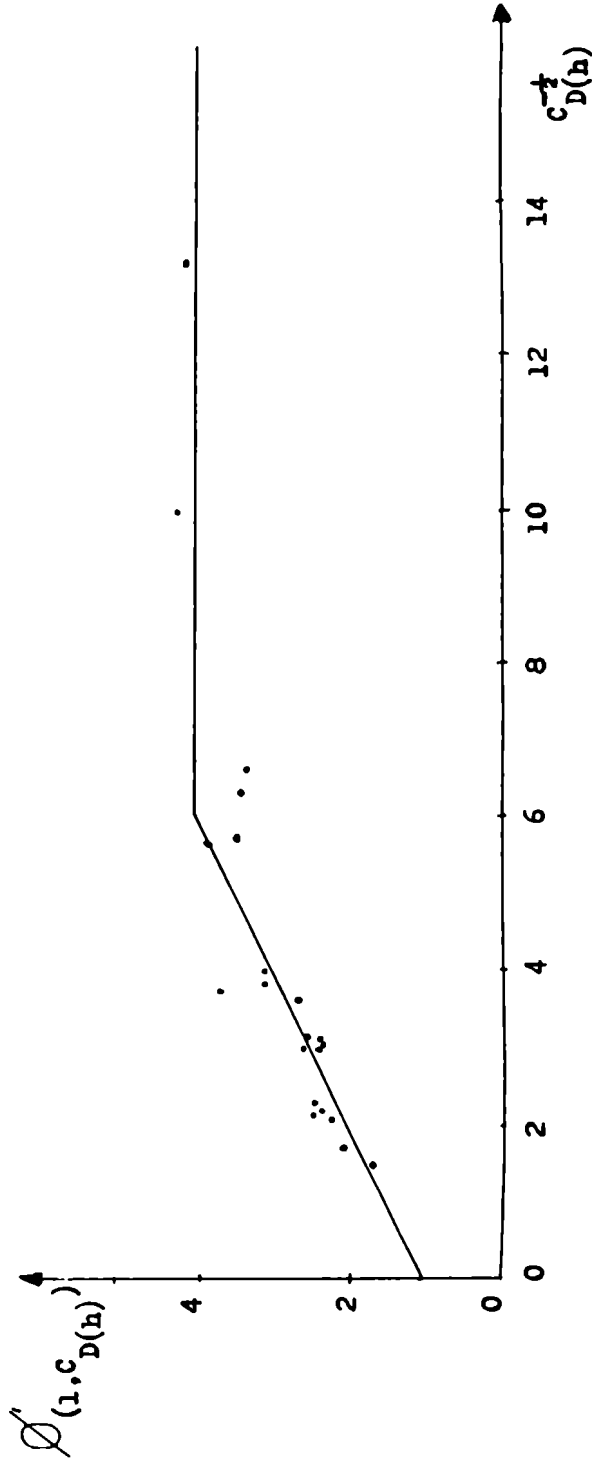


$$\frac{\phi' (z/h, C_{D(h)})}{\phi' (1, C_{D(h)})} = \begin{cases} \left( \frac{z}{h} \right)^{-2.41} & \text{si } 1 \leq \frac{z}{h} \leq \frac{z_{\phi}}{h} \\ \left( \frac{z_{\phi}}{h} \right)^{-2.41} & \text{si } \frac{z_{\phi}}{h} \leq \frac{z}{h} \leq \frac{z_{*}}{h} \end{cases} \quad (37)$$

Donde  $z_{\phi}$  es la altura a partir de la cual el perfil adimensional de la velocidad media del viento permanece constante y que en los casos analizados coincide con  $z_{\phi} = 1.5 h$ . Las funciones resultantes fueron determinadas por el método de ajuste por cuadrados mínimos y escogidas por menor desviación cuadrática media, de acuerdo con la metodología descrita en el Apéndice 2. La escasa dispersión, de los datos respecto de las curvas en la Figura 5, hace inferir que el coeficiente de arrastre deberá estar contenido en el valor máximo del perfil adimensional. En la Figura 6 se presentan los valores de  $\phi' (1, C_{D(h)})$  en función del coeficiente de arrastre, observándose en ella una dependencia lineal con  $C_{D(h)}^{-\frac{1}{2}}$  para los valores mayores del coeficiente, mientras que para los menores ( $C_{D(h)} \leq 0.028$ ) se observa una constancia. Las expresiones funcionales encontradas para esta relación, de acuerdo con la metodología descrita en el Apéndice 2, son las siguientes :

$$\phi' (1, C_{D(h)}) = \begin{cases} 1.11 + 0.496 C_{D(h)}^{-\frac{1}{2}} & \text{si } C_{D(h)} \geq 0.028 \\ 4.086 & \text{si } C_{D(h)} \leq 0.028 \end{cases} \quad (38)$$

Figura 6 : Valor máximo del perfil de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, en función del coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación. ( Los puntos representan los valores empíricos, y la curva corresponde a las expresiones (38) ).



A partir de las expresiones (37) y (38), se puede obtener la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición neutral. Reemplazando (37) y (38) en la relación (33), e integrando entre  $h$  y un nivel  $z$ , se encuentra que el perfil vertical de la velocidad media del viento en esta capa, responde a la siguiente forma :

$$\bar{u}(z) = \begin{cases} \bar{u}(h) + \frac{u_{*0}}{k} \frac{\phi'(1, C_{D(h)})}{2.41} \left[ 1 - \left( \frac{z}{h} \right)^{-2.41} \right] , & \text{si } 1 \leq \frac{z}{h} \leq \frac{z_\phi}{h} \\ \bar{u}(z_\phi) + \frac{u_{*0}}{k} \phi'(1, C_{D(h)}) \left( \frac{z_\phi}{h} \right)^{-2.41} \ln \frac{z}{z_\phi} , & \text{si } \frac{z_\phi}{h} \leq \frac{z}{h} \leq \frac{z_*}{h} \end{cases} \quad (39)$$

Con estas expresiones se puede generar el perfil vertical del viento, para condiciones atmosféricas neutrales, conociendo su velocidad media en el tope de la cobertura vegetal, la altura de ésta y la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes.

### 3.1.2.- Aplicación del modelo

Con el objeto de verificar el modelo, compuesto por las expresiones (39), considerando  $z_\phi = 1.5 h$ , se realiza su aplicación a otras experiencias, tanto de campo como de laboratorio. En la Tabla II, se presentan las especificaciones de los distintos experimentos utilizados, encontrándose los valores observacionales en la TABLA A3-1, del Apéndice 3.

La condición de neutralidad atmosférica, incluida en el modelo, limitó el número de experiencias de campo utilizadas en esta aplicación.

Complementando estos dos tipos de vegetación ( real y artificial ), disímiles tanto por altura como por estructura, las diferentes experiencias de laboratorio con variadas densidades de plantación y de distancia al borde de ella, corresponden a un amplio espectro de tipos de cobertura y de coeficientes de arrastre, (  $0.012 \leq C_{D(h)}$  y  $C_{D(h)} \leq 5.510$  ) .

TABLA II

Especificaciones de las experiencias utilizadas en la verificación del modelo desarrollado para la capa atmosférica de transición en condiciones de estabilidad neutra. ( Expresiones (39) ).

Tipo de Vegetación	h (m)	$C_D(h)$	Observaciones(★)	Referencia
Maíz, Caso C	2.730	0.032	-----	Cionco y otros, 1963.
Caso D		0.110	-----	
Caso E		0.141	-----	
Pinos	15.500	0.314	-----	Oliver, 1971.
Artificial, Caso A	0.050	1.196	Arboles, $\delta = 16 \text{ a}/24\text{cm}^2$	Schuepp y White, 1975.
Caso B		5.510	$\delta = 16 \text{ a}/24\text{cm}^2$	
Caso C		0.619	$\delta = 16 \text{ a}/36\text{cm}^2$	
Caso D		0.090	$\delta = 10 \text{ a}/36\text{cm}^2$	
Caso E		3.089	$\delta = 10 \text{ a}/24\text{cm}^2$	
Artificial, Caso A	0.070	0.041	Varillas, $\delta = 4 \text{ v}/9\text{cm}^2$	Seginer y Mul- hearn, 1978.
Caso B		0.019	$\delta = 3 \text{ v}/9\text{cm}^2$	
Caso C		0.012	$\delta = 1 \text{ v}/9\text{cm}^2$	
Artificial, Caso A	0.143	2.942	Varillas, $x = 1.43 \text{ h}$	Thom, 1971.
Caso B		3.122	$x = 1.60 \text{ h}$	
Artificial,	0.180		Arboles, $\delta = 1 \text{ a}/36\text{cm}^2$	Meroney, 1968.
Caso A		0.074	$x = 22.22 \text{ h}$	
Caso B		0.174	$x = 27.77 \text{ h}$	
Caso C		0.578	$x = 33.33 \text{ h}$	
Caso D		0.401	$x = 55.55 \text{ h}$	
Artificial,	0.180		Arboles, $\delta = 1 \text{ a}/46\text{cm}^2$	Sadeh y otros, 1970.
Caso A		1.846	$x = 11.11 \text{ h}$	
Caso B		1.811	$x = 16.66 \text{ h}$	
Caso C		0.142	$x = 27.77 \text{ h}$	
Caso D		1.532	$x = 33.88 \text{ h}$	
Caso E		0.741	$x = 52.77 \text{ h}$	
Artificial, Caso A	0.190	0.058	Varillas, $\delta = 4 \text{ v}/9\text{cm}^2$	Seginer y otros, 1976.
Caso B		0.055	$\delta = 4 \text{ v}/9\text{cm}^2$	
Caso C		0.033	$\delta = 3 \text{ v}/9\text{cm}^2$	
Caso D		0.038	$\delta = 1 \text{ v}/9\text{cm}^2$	

(★) x representa la distancia en la dirección del flujo, desde el sitio de observación hasta el borde de plantación, y  $\delta$  es la densidad de plantación. ( a significa árboles y v varillas ).

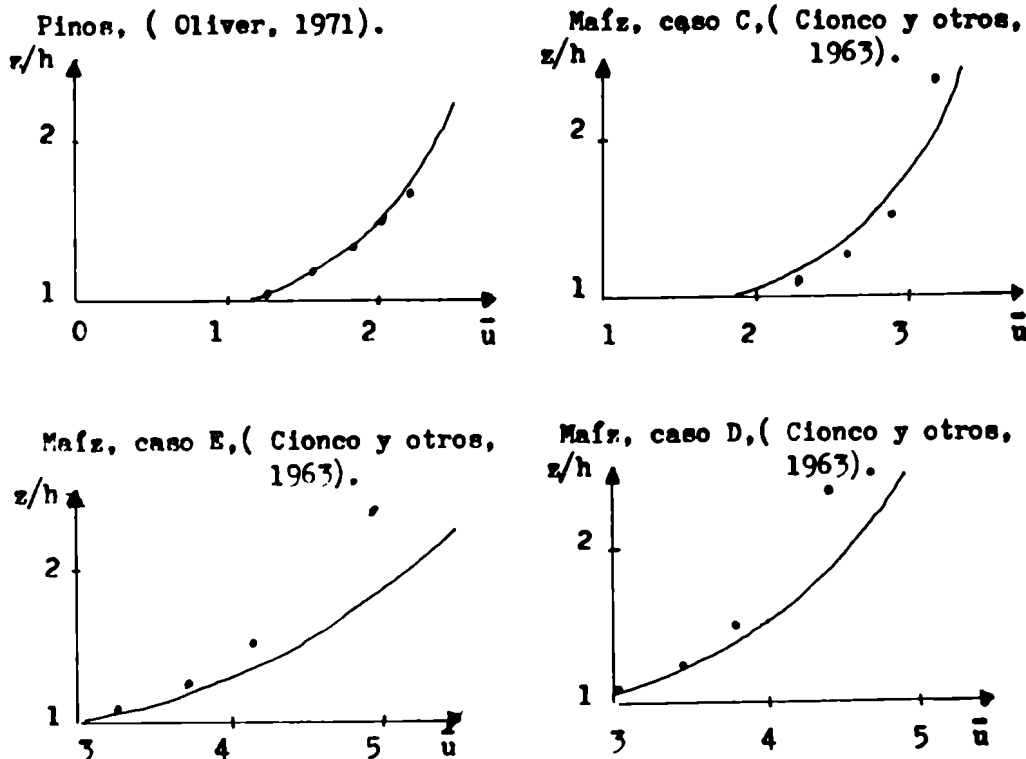


En la mayoría de los casos utilizados en la aplicación ( 27 experiencias), no se cuenta con mediciones de  $\bar{u}_{(h)}$  y  $\delta u_{\pi_0}$ , por lo que en estos experimentos, suponiendo la validez de las expresiones (38) y (39), se determina el o los parámetros faltantes, a partir de uno o dos niveles de observación, (ANEXO).

En la Figura 7 están graficados los perfiles de viento generados, para cada experimento, por el modelo ( expresiones (38) y (39) ), como así también las observaciones de las velocidades medias del viento, apreciándose un satisfactorio ajuste cualitativo. En la Tabla III se encuentran los errores medios, absoluto y relativo porcentual, correspondientes a cada experimento, que, en términos generales, permite asegurar la bondad del modelo.

En la Tabla IV se muestran los errores medios relativos porcentuales para distintos rangos de  $C_D(h)$ . Observando los resultados de la Tabla IV se comprueba que el error relativo aumenta con el incremento del rango del coeficiente de arrastre, llegando al 3% para los casos de mayor grado friccional, aunque es de destacar que el nivel de error es de una magnitud aceptable.

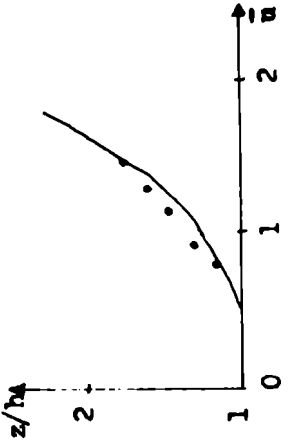
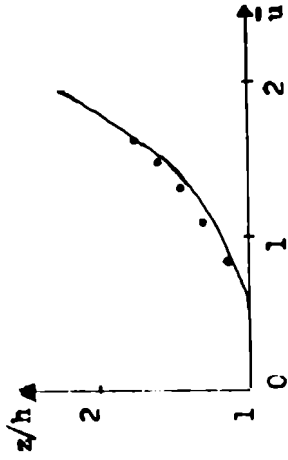
Figura 7 : Perfiles verticales de la velocidad media del viento generados por el modelo propuesto, en la capa atmosférica de transición. (Los puntos representan las velocidades medias del viento medidas). (  $\bar{u}$  en m/s ).



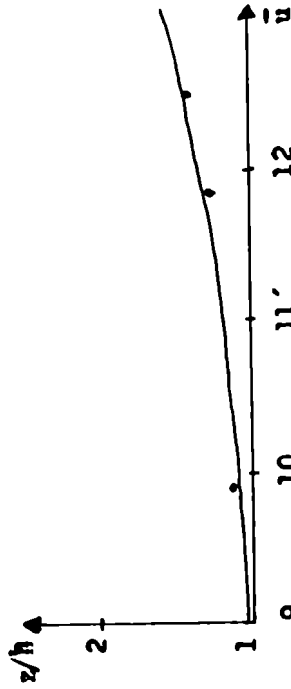
(continúa)

Figura 7 : (continuación)

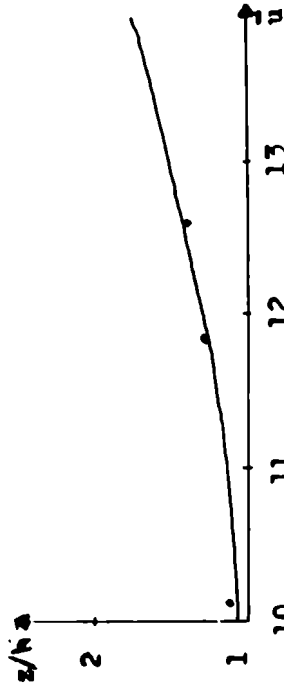
Varillas, caso A, ( Thom, 1971).      Varillas, caso B, ( Thom, 1971).



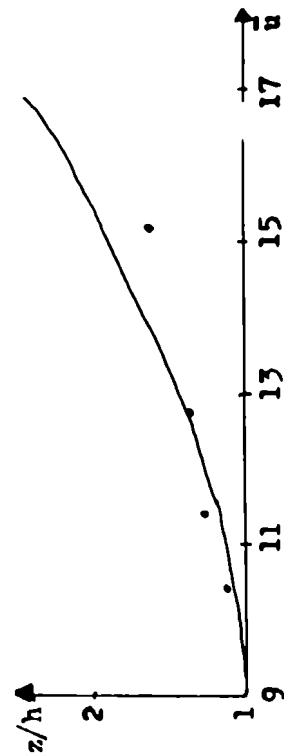
Varillas, caso A, ( Seginer y otros, 1976).



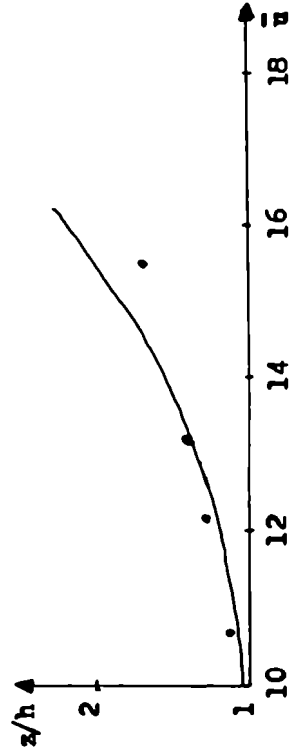
Varillas, caso B, ( Seginer y otros, 1976).



Varillas, caso A, ( Seginer y Mulhearn, 1978).



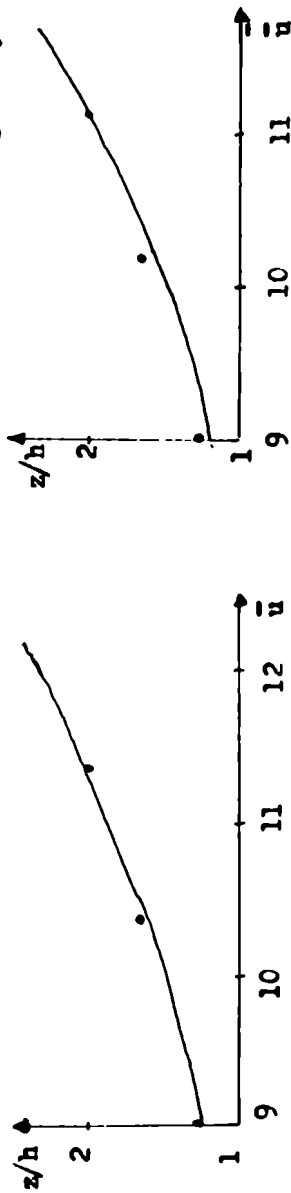
Varillas, caso B, ( Seginer y Mulhearn, 1978).



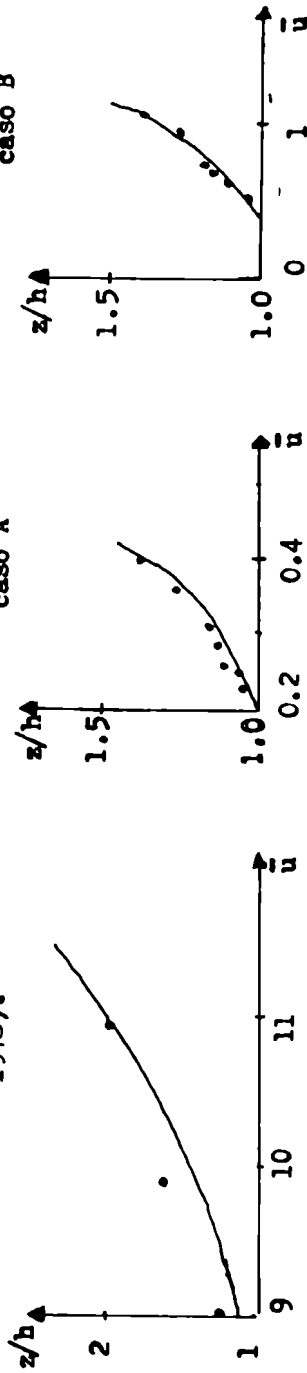
(continúa)

Figura 7 : (continuación)

Varillas, caso C, (Seginer y Mulhearn, 1978). Varillas, caso D, (Seginer y Mulhearn, 1978).



Varillas, caso E, (Seginer y Mulhearn, 1978). Arboles artificiales, (Schnepp y White, 1975). caso B



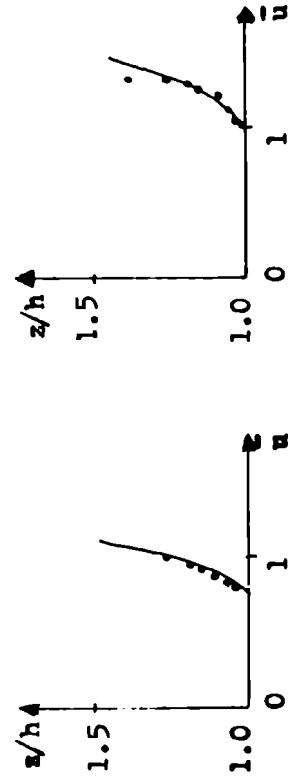
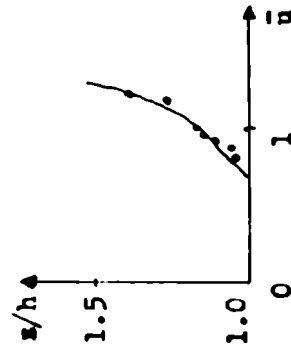
(continúa)

Figura 7 : (continuación) .

Arboles artificiales, ( Schuepp y White, 1975).  
caso E

caso C

caso D



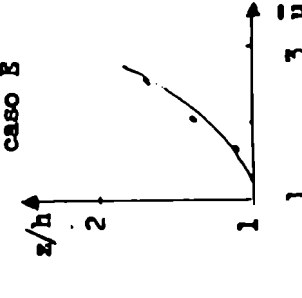
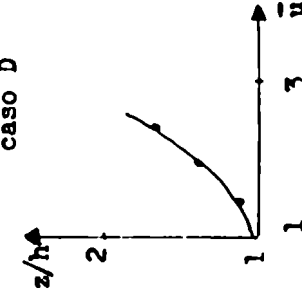
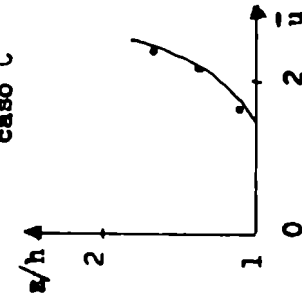
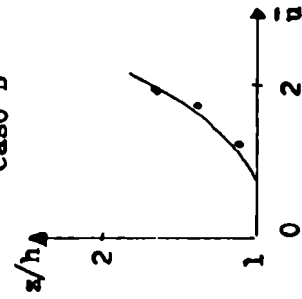
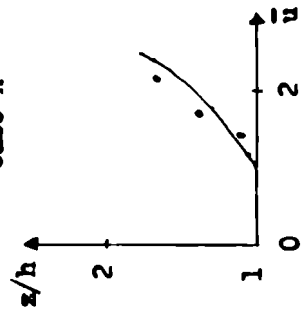
Arboles artificiales, ( Sadeh y otros, 1970).  
caso B

caso A

caso C

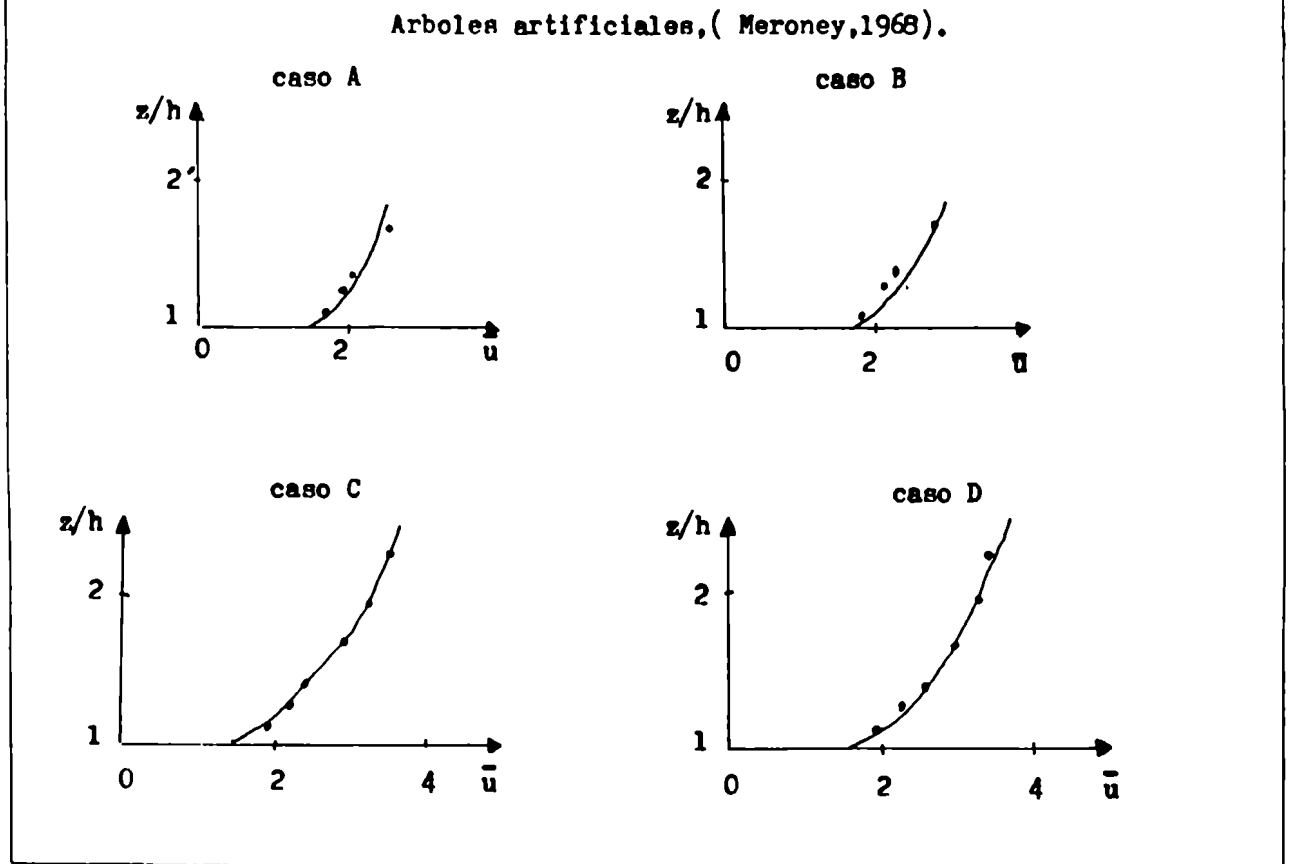
caso D

caso E



(continúa)

Figura 7: (continuación)



La Figura 7 presenta los valores observacionales y los perfiles correspondientes solamente a la capa de transición atmosférica. En la Figura 7-bis), se presentan los perfiles extrapolados más allá de la capa en estudio, conjuntamente con los correspondientes a la aplicación de la teoría de la semejanza euleriana no modificada, de acuerdo con la expresión clásica del perfil logarítmico del viento, para los experimentos pertenecientes a las experiencias de Sadeh y otros (1970) y de Meroney (1968). En estos casos, el modelo propuesto se aplicó de acuerdo con el método descrito en el ANEXO , mientras que la velocidad de fricción y la longitud de rugosidad incluidas en la ley logarítmica, se determinaron por medio de dos valores de velocidad media del viento correspondientes a la capa de flujos constantes. Los valores observados y generados se reproducen en la TABLA A3-2, Apéndice 3. De la Figura 7-bis) se puede inferir, para los casos más cercanos al borde de plantación, la presencia de una capa límite interna ( Bradley, 1968); Panofsky y Petersen, 1972; Panofsky, 1973) producida por el cambio de rugosidad de la superficie, manifestada por un perfil de velocidad media del viento superior, cuyo comportamiento responde a las condiciones a barlovento del cambio de rugosidad, y otro perfil logarítmico inferior con características diferentes y representativo de las condiciones del terreno a sotavento del cambio.

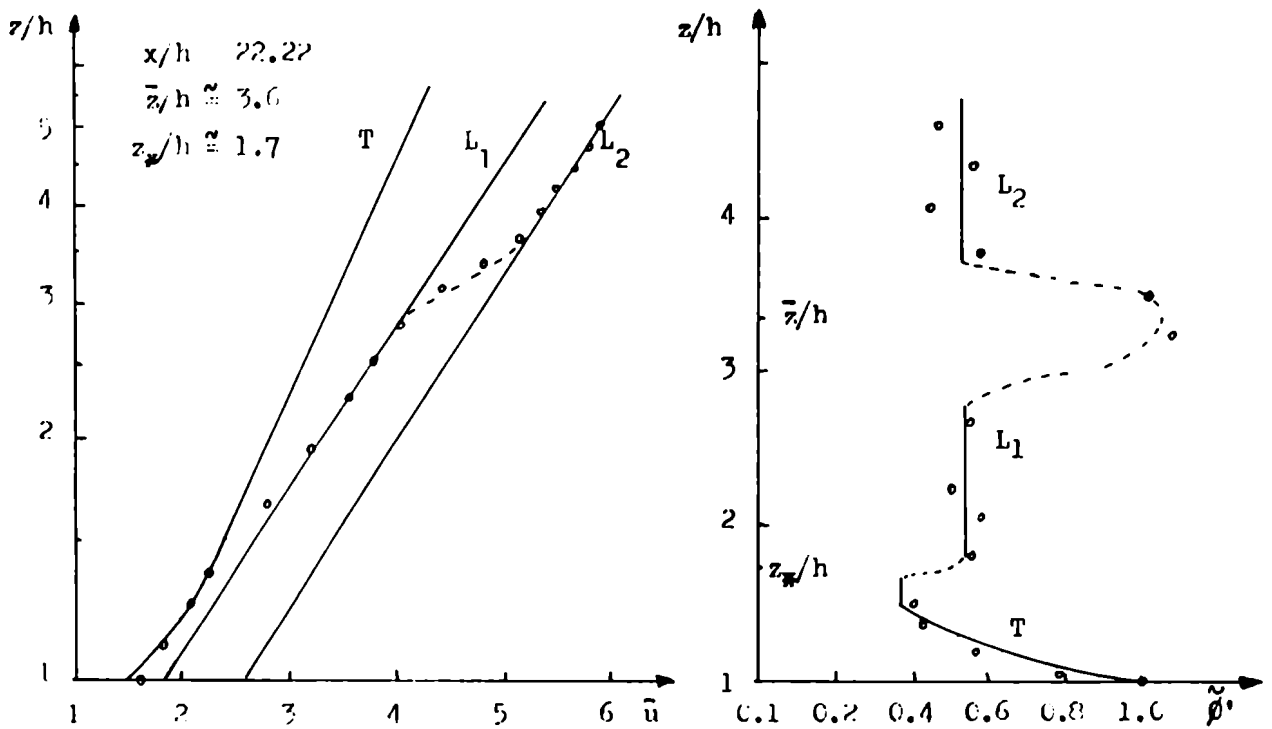
TABLA III

Errores medios absoluto y relativo porcentual para cada perfil de velocidad media del viento generado por el modelo desarrollado para la capa atmosférica de transición, en condiciones de estabilidad neutral. ( $\Delta = \bar{u}_c - \bar{u}_m$ , y  $\mathcal{E} = 100(\bar{u}_c - \bar{u}_m)/\bar{u}_m$ , siendo  $\bar{u}_c$  la velocidad generada y  $\bar{u}_m$  la observada).

Tipo de Vegetación	Nº de niveles generados	$ \Delta $ (m/s)	$ \mathcal{E} $ (%)	Referencia
Maíz, Caso C	4	0.13	4.4	Cionco y otros, 1963.
Caso D	4	0.19	4.5	
Caso E	4	0.29	6.4	
Pinos	4	0.04	1.8	Oliver, 1971.
Artificial, Caso A	6	0.01	4.7	Schuepp y White, 1975.
Caso B	6	0.05	7.4	
Caso C	6	0.03	3.1	
Caso D	6	0.01	1.3	
Caso E	6	0.03	2.1	
Artificial, Caso A	2	0.15	1.6	Seginer y Mulhearn, 1978.
Caso B	2	0.26	2.7	
Caso C	2	0.41	4.4	
Artificial, Caso A	4	0.09	9.3	Thom, 1971.
Caso B	4	0.12	12.3	
Artificial, Caso A	3	0.06	3.1	Meroney, 1968.
Caso B	3	0.19	9.3	
Caso C	5	0.07	3.0	
Caso D	6	0.08	3.1	
Artificial, Caso A	9	0.16	5.4	Sadeh y otros, 1970.
Caso B	3	0.04	2.8	
Caso C	3	0.05	2.7	
Caso D	3	0.05	2.2	
Caso E	2	0.08	3.8	
Artificial, Caso A	2	0.31	3.0	Seginer y otros, 1976.
Caso B	2	0.20	1.9	
Caso C	4	0.82	5.7	
Caso D	4	0.90	5.8	
TOTAL	107	0.16	4.3	

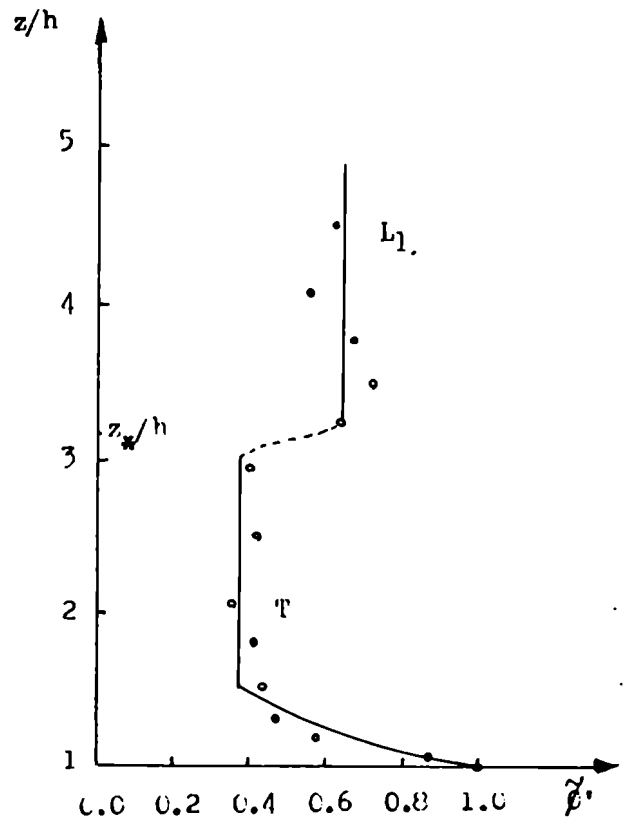
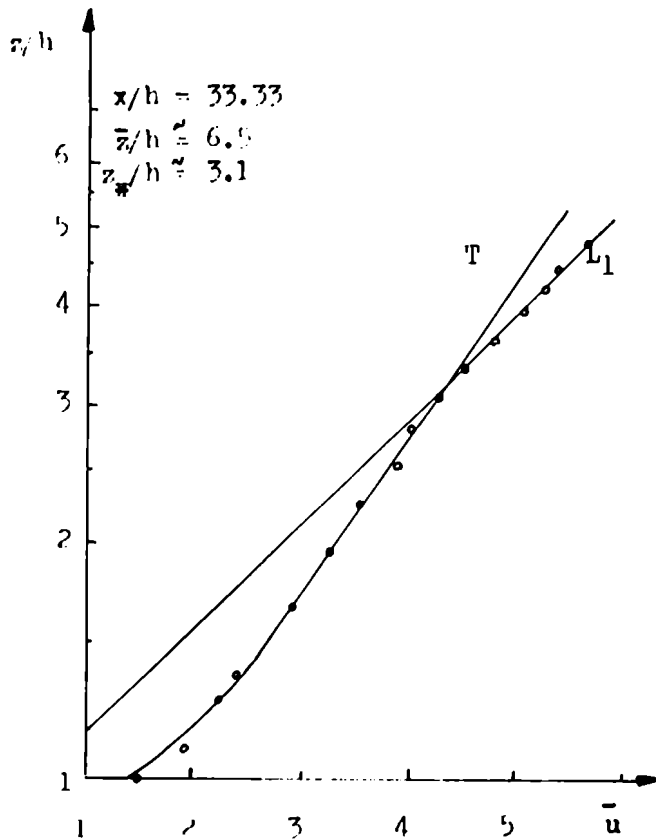
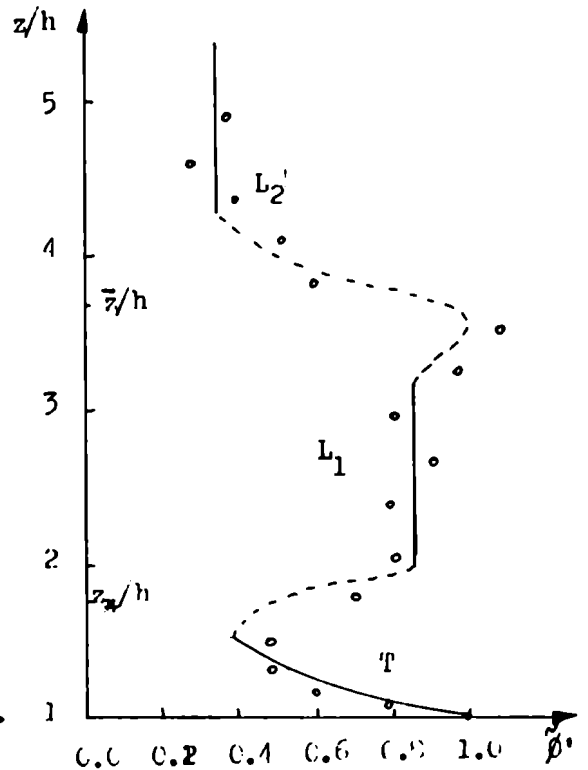
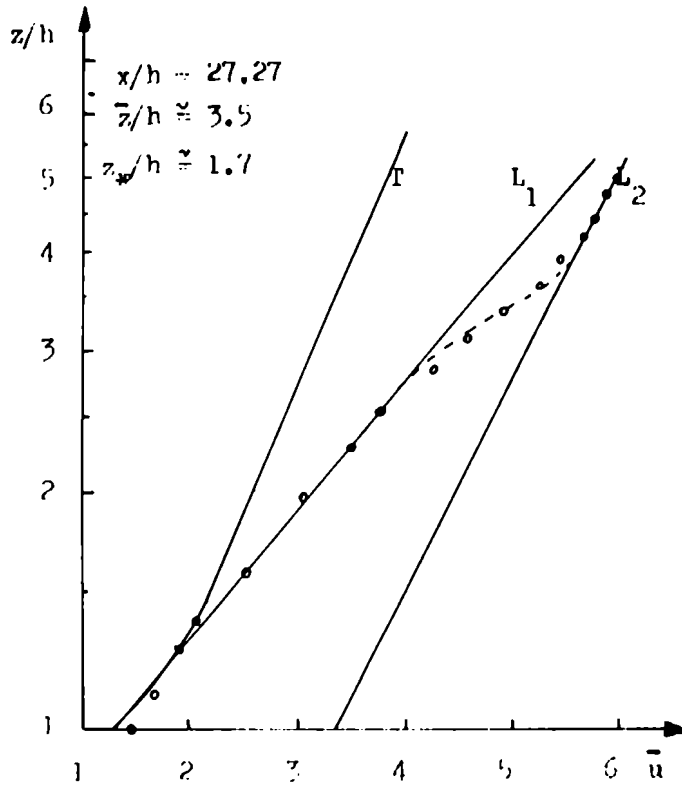
Figura 7-bis) : Perfiles verticales de la velocidad media del viento, a diferentes distancias del borde de una plantación, correspondientes a dos experimentos realizados en túnel de viento, con árboles artificiales, y sus correspondientes perfiles adimensionales normalizados. (  $\circ$  valores observados,  $\bullet$  valores observados utilizados en la determinación, T perfil de la capa de transición,  $L_1$  perfil de la capa de flujos constantes de la capa límite interna,  $L_2$  perfil representativo de la capa de flujos constantes a barlovento del borde de plantación,  $x/h$  distancia adimensional al cambio de rugosidad,  $\bar{z}/h$  espesor adimensional de la capa límite interna,  $z_*/h$  altura de la capa de transición,  $[\bar{u}] = m/s$  ).

Arboles artificiales, Meroney (1968).



(continúa)

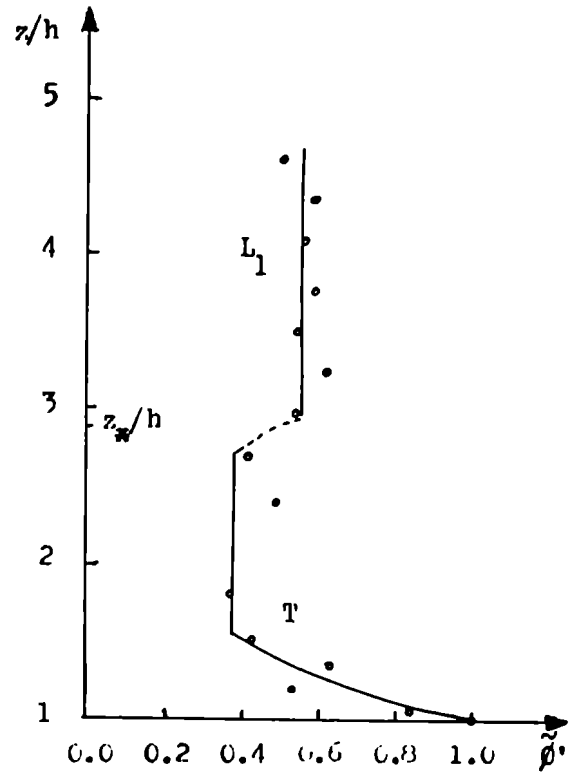
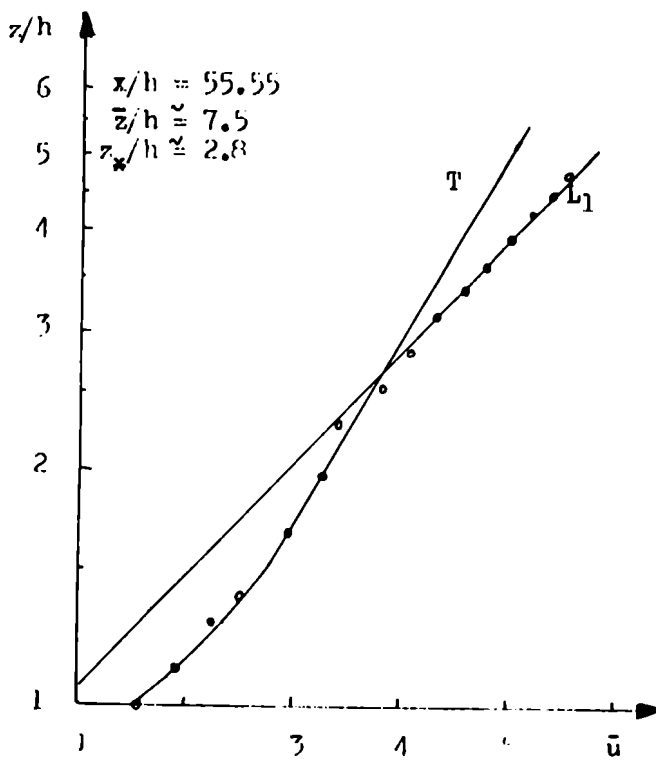
Figura 7-bis) : (continuación)



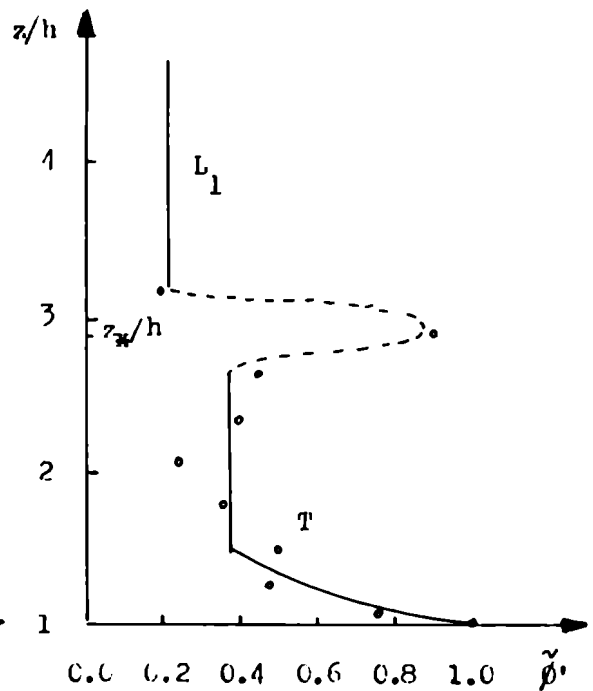
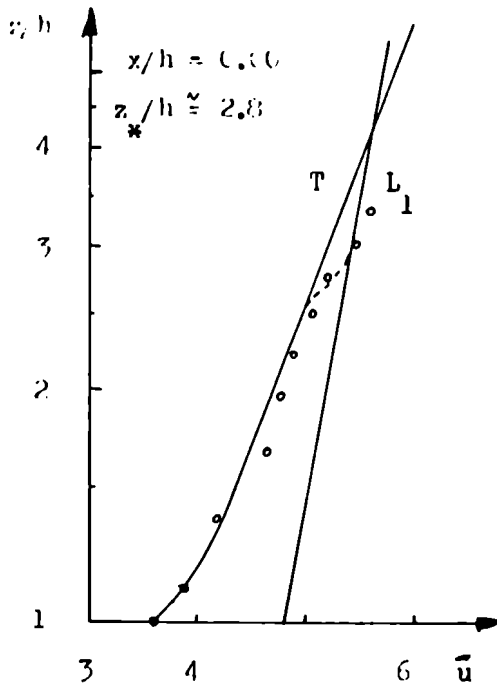
(continúa)



Figura 7-bis) : (continuación)

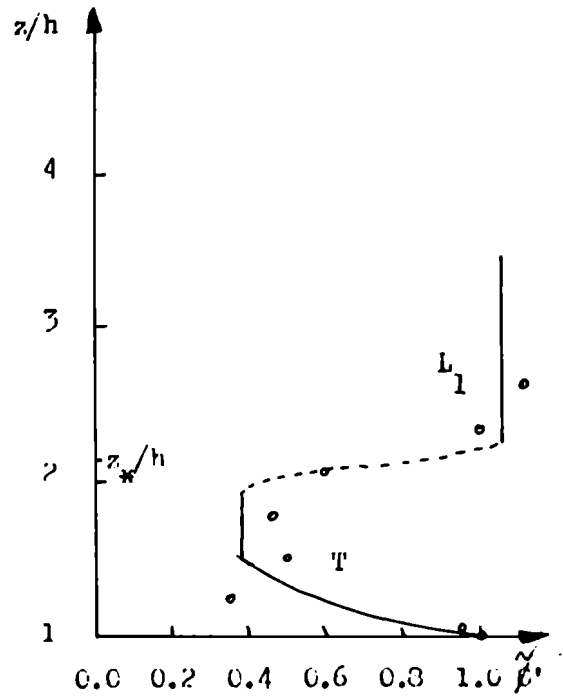
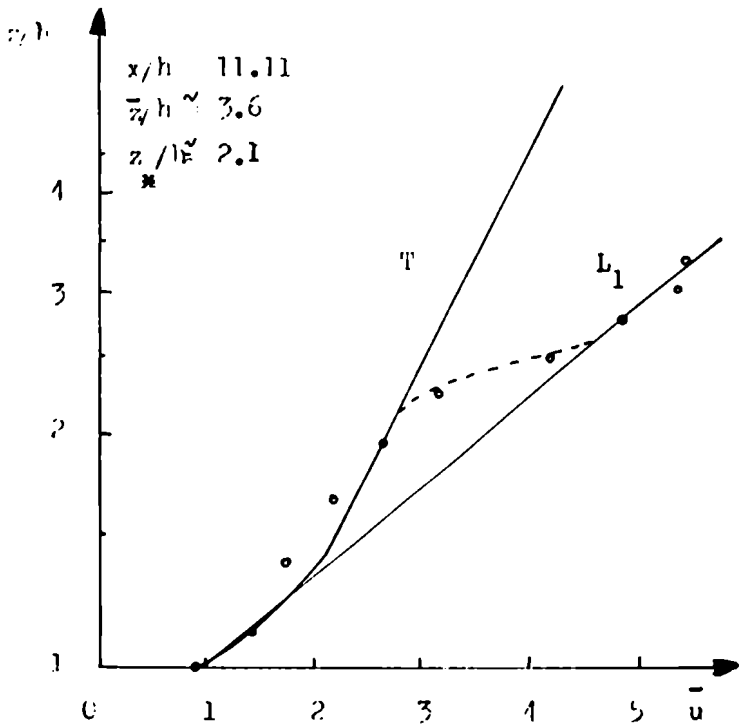
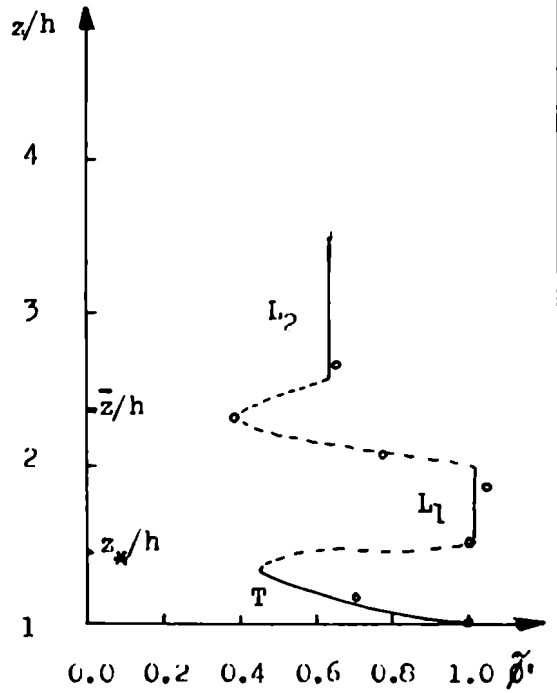
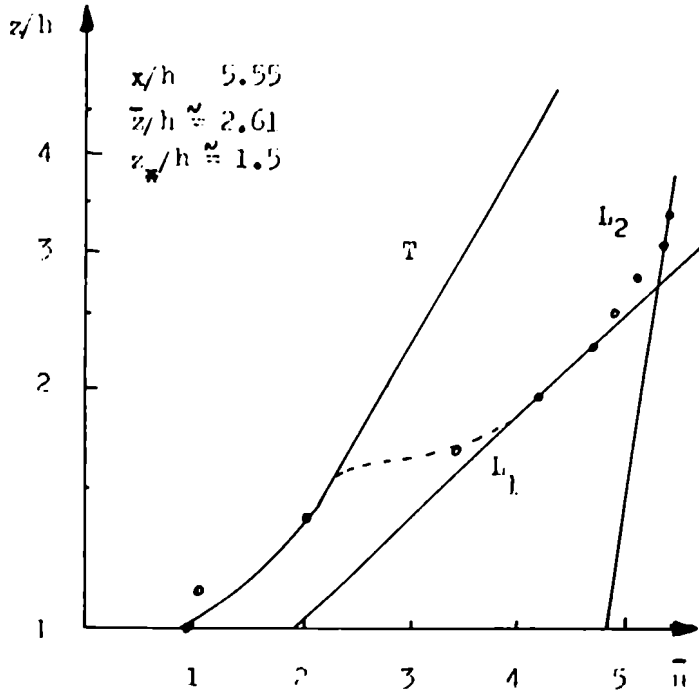


Arboles artificiales, Sadeh y otros (1970)



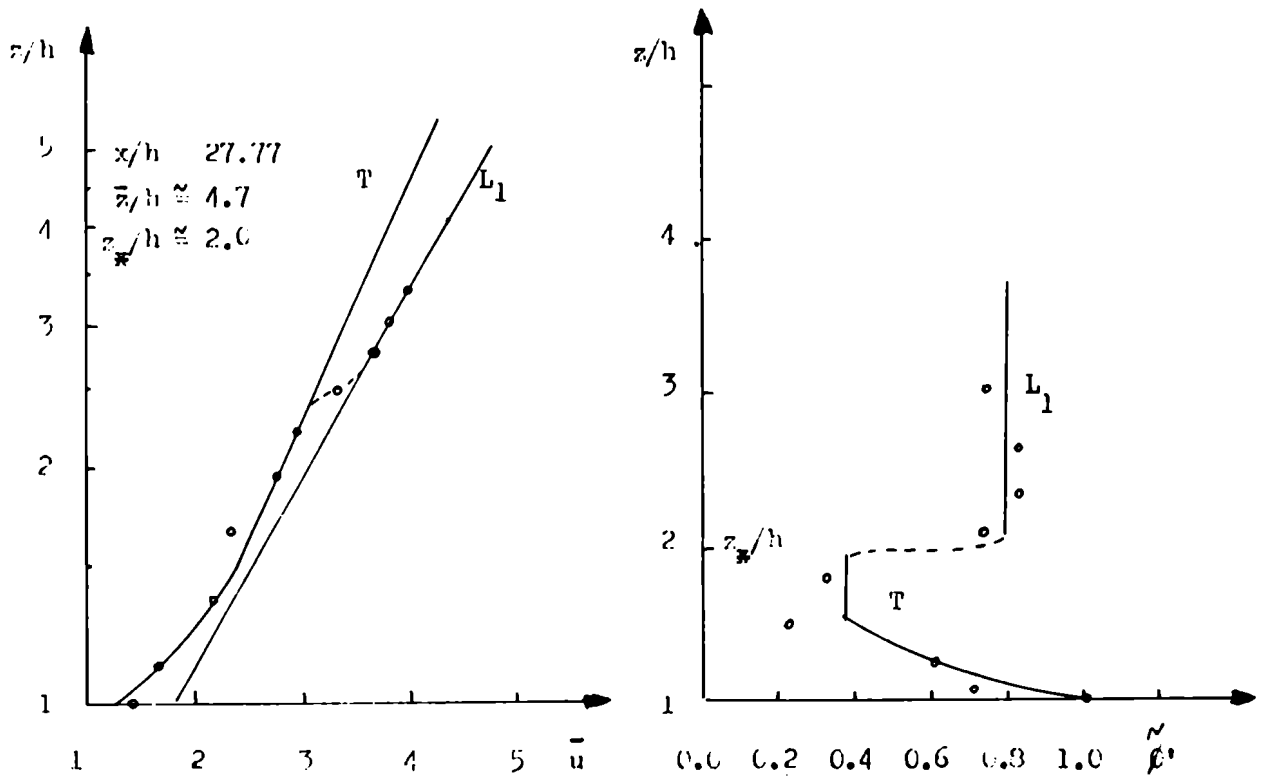
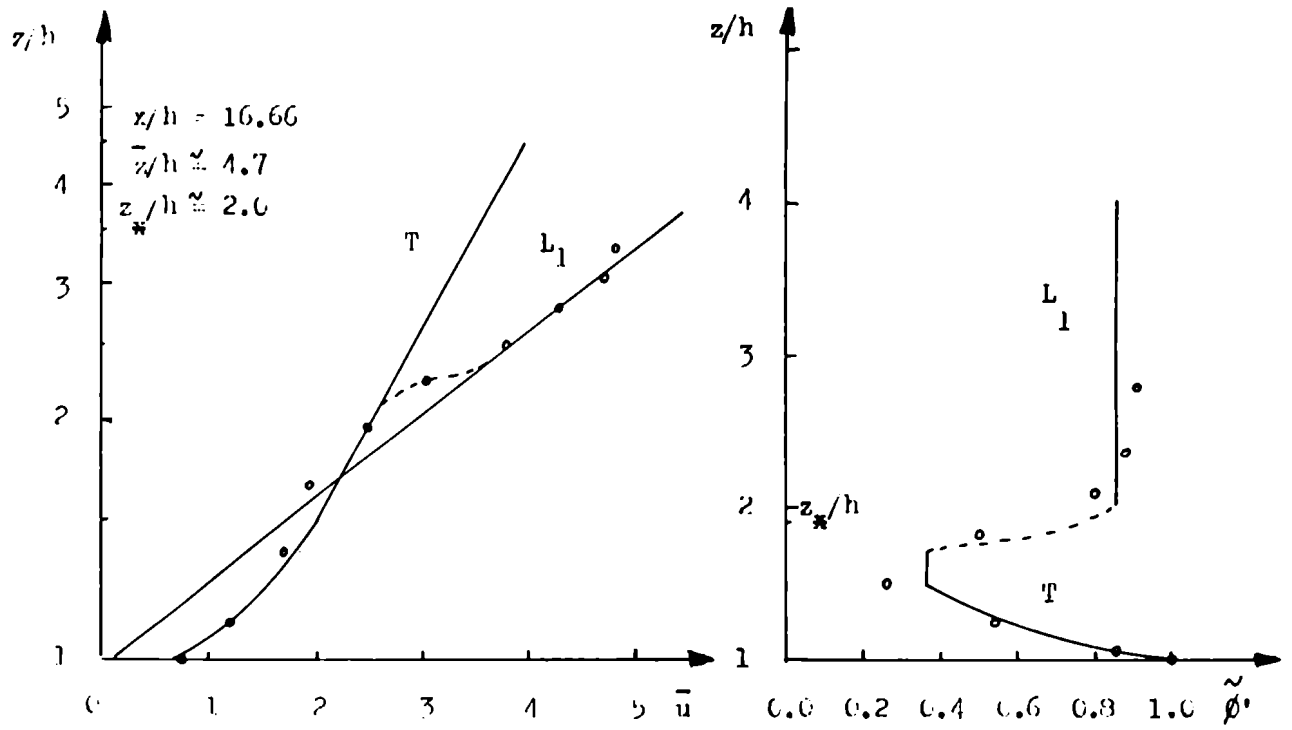
(continúa)

Figura 7-bis) : (continuación)



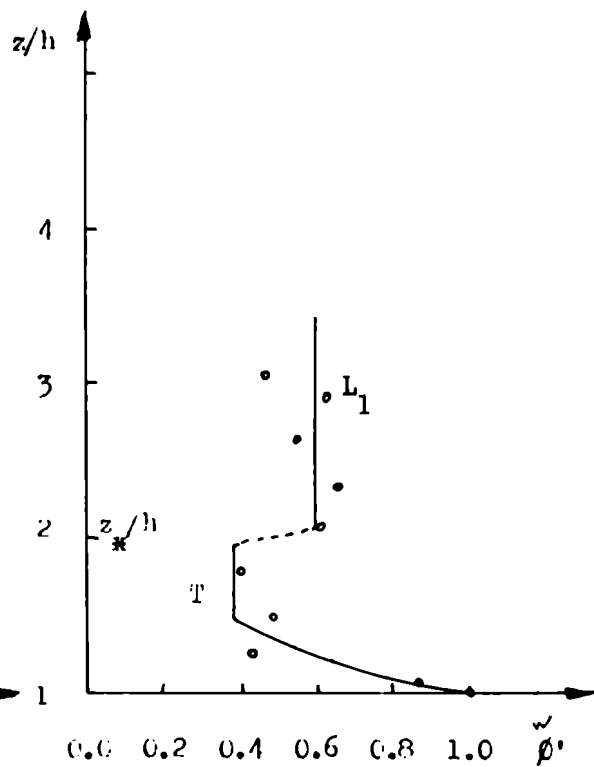
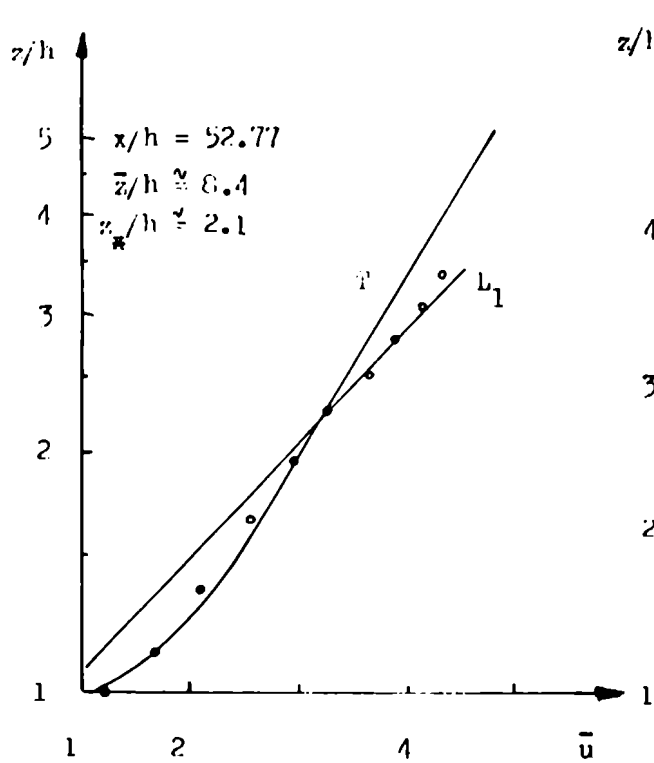
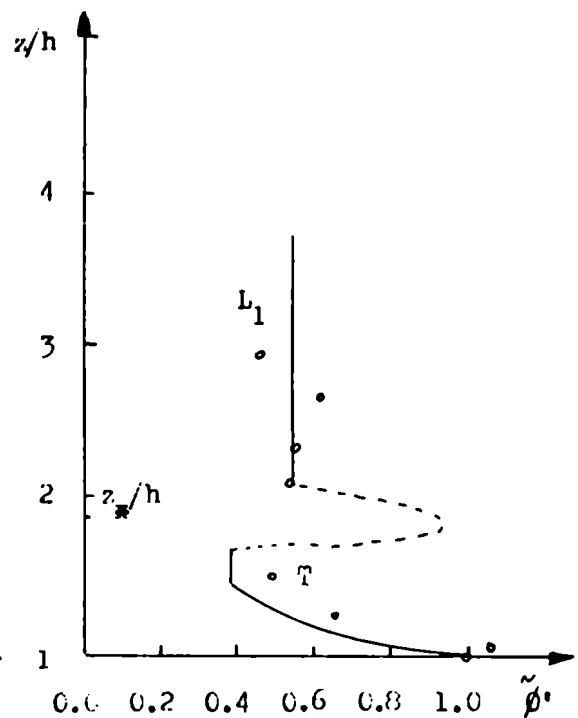
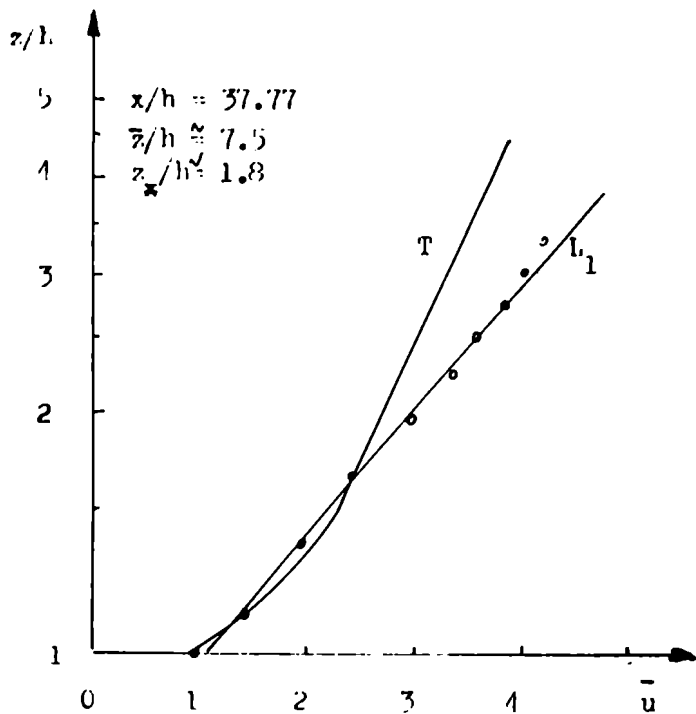
(continúa)

Figura 7-bis: (continuación)



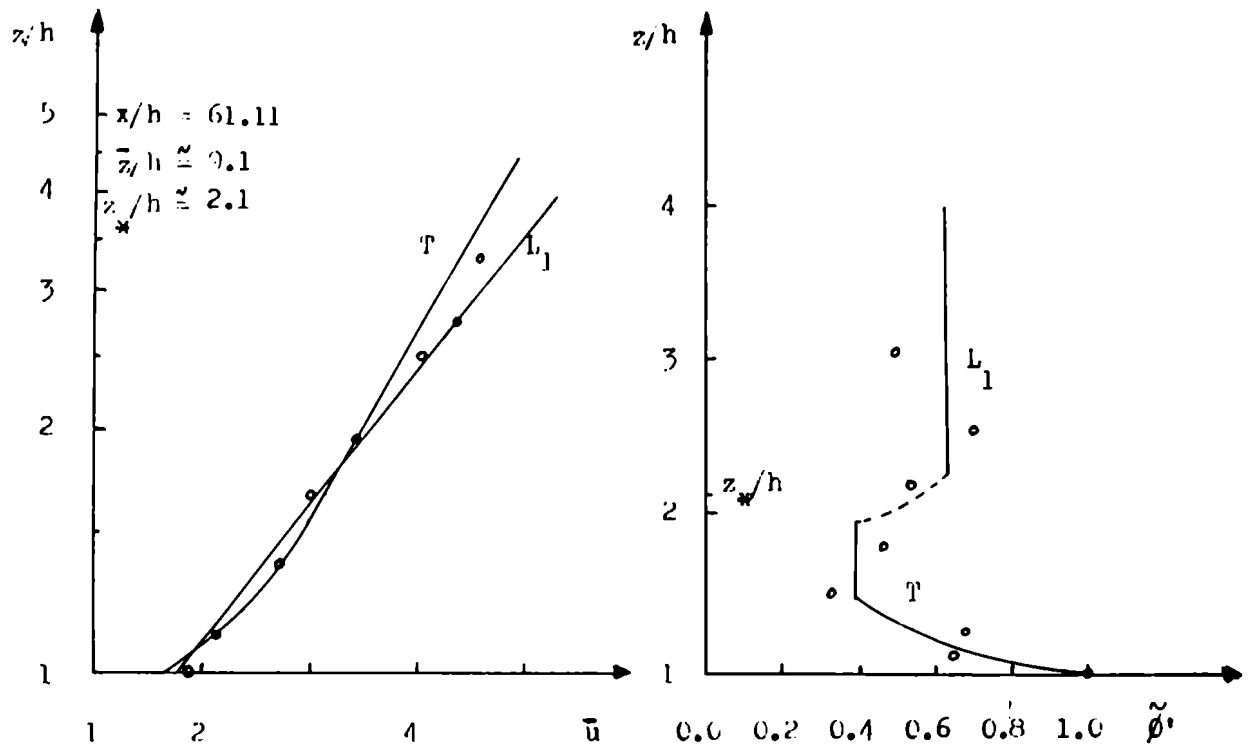
(continúa)

Figura 7-bis) : (continuación)



(continúa)

Figura 7-bis) : (continuación).



En la Figura 7-bis), se indican los espesores de esta capa límite interna, determinados de acuerdo con la siguiente expresión ( Mazzeo, 1978), similar a las obtenidas por Pasquill ( 1970, 1972) y Panofsky (1973) :

$$0.19 \frac{\bar{x}}{z_{o2}} = \frac{\bar{z}}{z_{o2}} \left[ \ln ( \bar{z} / z_{o2} ) - 1 \right]$$

donde  $\bar{x}$  representa la distancia al borde de plantación,  $z_{o2}$  es la longitud de rugosidad a sotavento, y  $\bar{z}$  es la altura de la capa límite interna. Asimismo, mediante los diferentes perfiles de velocidad media del viento se manifiestan las dos subcapas de la capa de transición y la capa de flujos constantes.

Por otra parte, cabe destacar que los valores de  $u_{*0}$  hallados por ambas teorías, original y modificada, son aproximados; y que las expresiones utilizadas son aplicables dentro de zonas diferenciadas.

Sin embargo, en los casos más alejados al borde de plantación, donde no es tan notoria la influencia del cambio de rugosidad, se observa más claramente la capa de superposición entre las capas de transición y de flujos constantes. Además, de la Figura 7-bis) se desprende la variación del espesor de la capa de transición, que no es estudiado en detalle debido a la falta de experiencias adecuadas; pero podría inferirse que la altura de la capa de transición aumenta con el incremento del coeficiente de arrastre en el tope de la cobertura vegetal. Estos perfiles permiten expresar que el modelo, desarrollado a partir de experiencias llevadas a cabo en zonas horizontalmente homogéneas, es aplicable a regiones inhomogéneas, y dentro de la capa límite interna. Asimismo, se desprende que el modelo permite obtener buenos estimadores de la velocidad de fricción de la capa de flujos constantes y de la velocidad media del viento en el tope de la cobertura vegetal.

En la Figura 8 se presentan las velocidades medias del viento normalizadas según:

$$\hat{u}_{(z/h)} = \bar{u}_{(z/h)} / \bar{u}_{(1)}$$

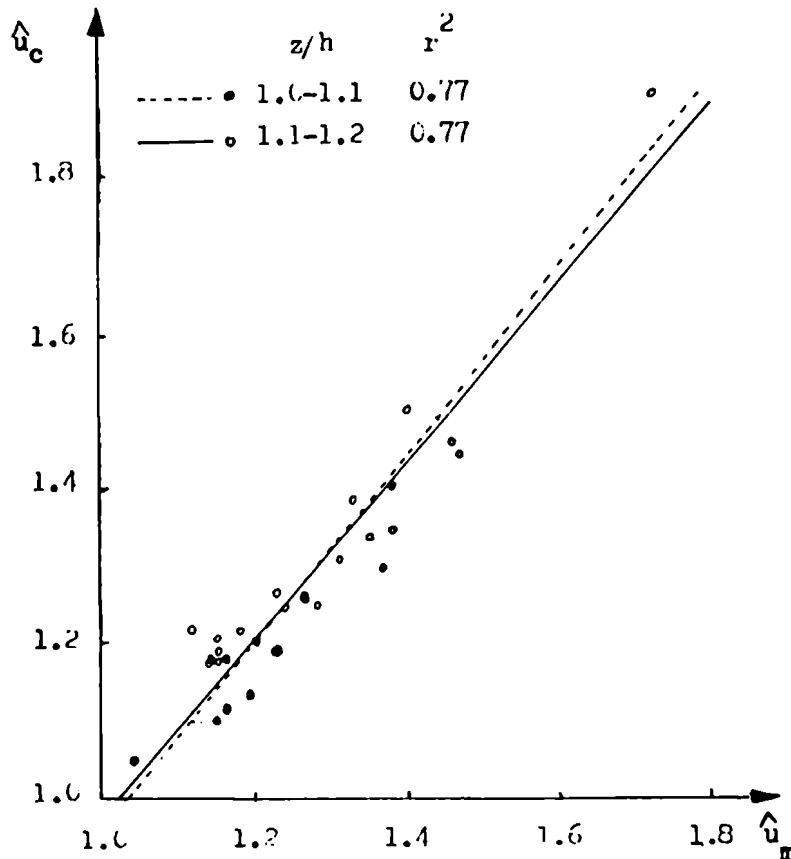
utilizando su valor en el tope de la cobertura vegetal, generadas contrastadas con las observadas, para distintos rangos de altura adimensional, con el objeto de independizar la muestra del nivel y de las condiciones particulares. Para el estudio de la bondad del modelo se determinaron los coeficientes de correlación lineal para cada rango, los que son incluidos en la Figura 8, observándose que más del 78 % de la varianza de la muestra observada es explicado por el modelo, con un leve aumento en los niveles superiores.

TABLA IV

Errores medios relativos porcentuales correspondientes a la verificación del modelo de perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, en condiciones atmosféricas neutras, para distintos intervalos del coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación.

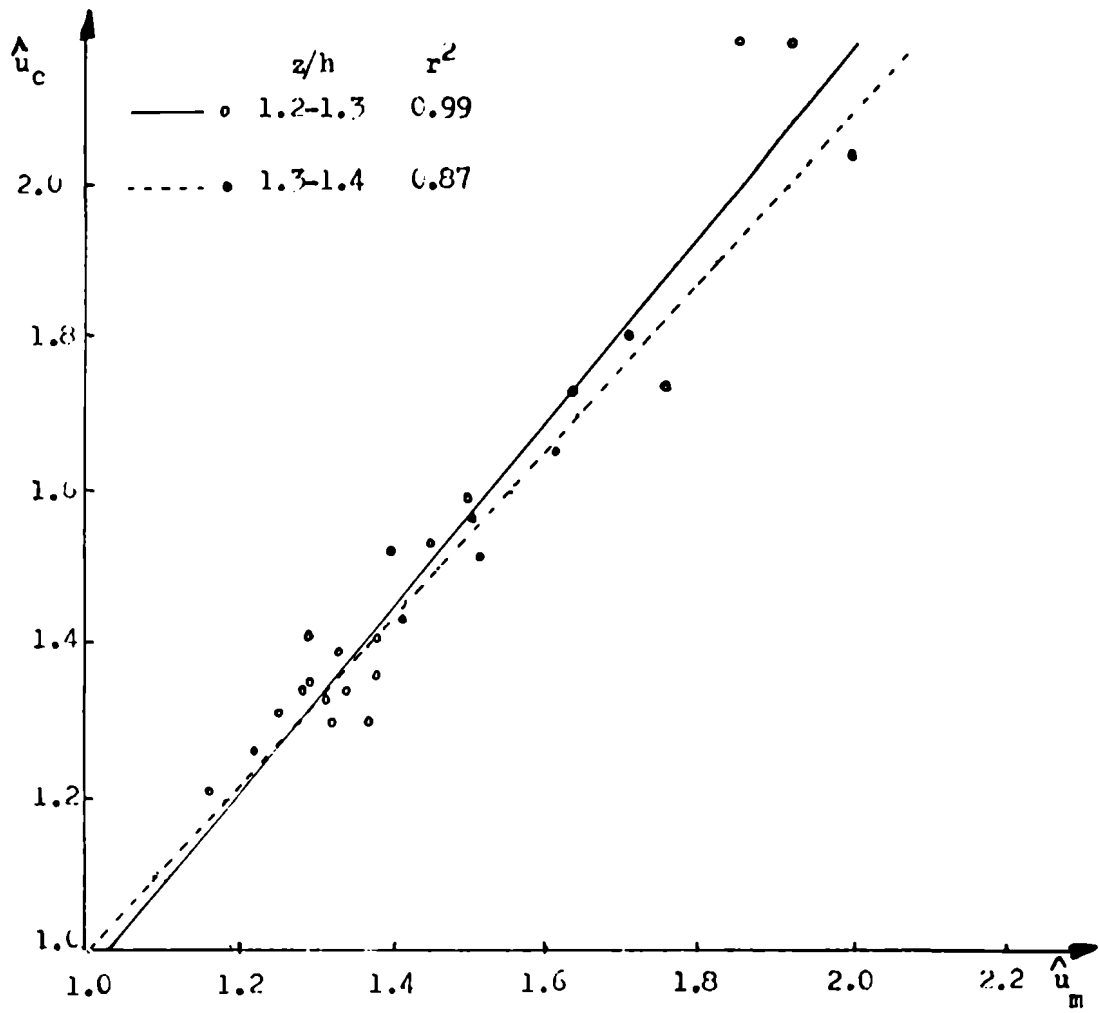
Intervalo de $c_{D(h)}$	$\leq 0.1$	(0.1,1.0]	(1.0,2.0]	$\geq 2.0$	Total
$ \bar{\varepsilon}  (\%)$	3.56	3.83	4.19	6.53	4.51

Figura 8 : Velocidades medias del viento normalizadas por su valor en el tope de la cobertura vegetal ( $\hat{u}_c$ ) calculadas por el modelo, y observadas, ( $\hat{u}_m$ ), para diferentes experiencias de campo y de laboratorio, diferenciadas por rangos de altura adimensional. (Las rectas corresponden a la regresión lineal).



(continúa)

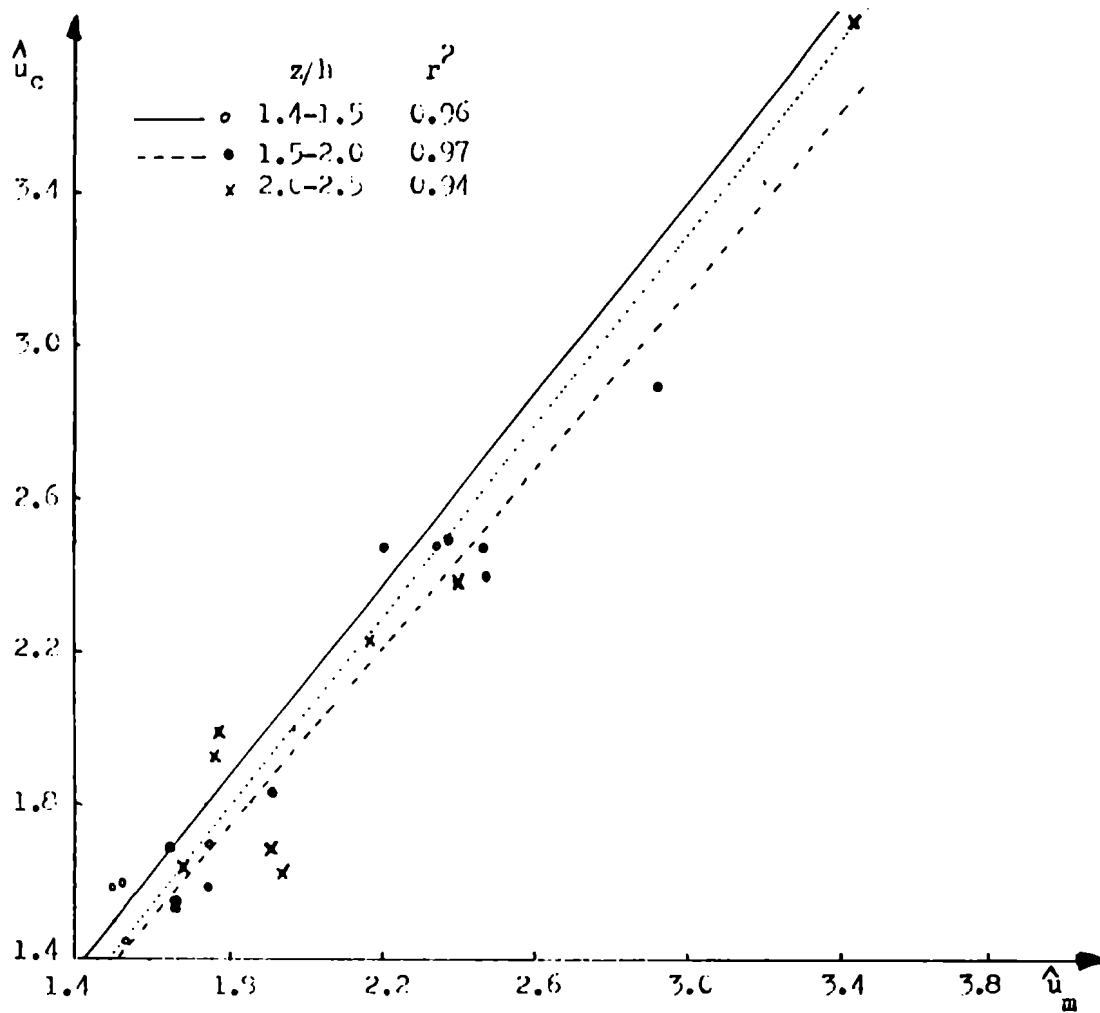
Figura 8 : (continuación)



(continúa)



Figura 8 : (continuación) .



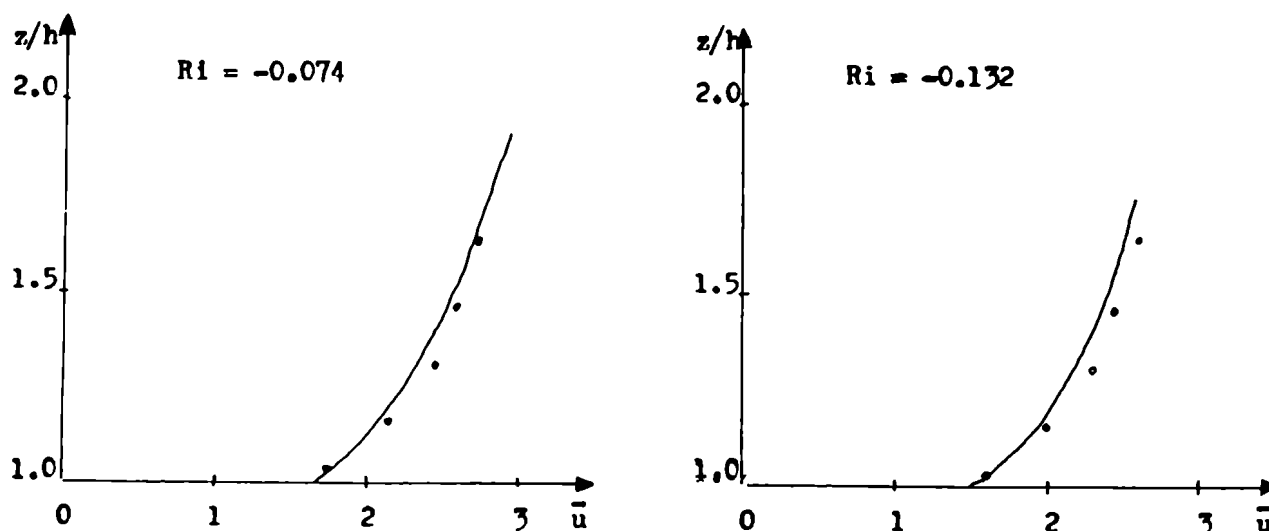
### 3.2.- Atmósfera estratificada inestablemente

#### 3.2.1.- Desarrollo del modelo

Las expresiones obtenidas anteriormente responden a condiciones atmosféricas neutrales. Para estudiar el posible apartamiento del perfil vertical de la velocidad media del viento en condiciones inestables del que corresponde a estratificaciones térmicas neutrales, se realizó una prueba preliminar, aplicando las expresiones (38) y (39), y comparando sus resultados con los datos experimentales obtenidos en un bosque de pinos de 15.5 m de altura media ( Oliver, 1971). En la Figura 9 se observan los perfiles generados para dos casos diferentes, verificándose una buena concordancia con los datos observacionales, siendo el error relativo porcentual medio del 4.5 %, y el error absoluto medio 0.11 m/s . Estos valores se encuentran dentro del orden de los obtenidos para condiciones neutrales.

Estos resultados previos permiten alentar la hipótesis de que no existe un apartamiento del perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, debido a una estratificación térmica inestable. Para comprobar la misma se realiza la aplicación del modelo desarrollado, sin modificaciones, a tres

Figura 9 : Perfiles verticales de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, generados en la prueba preliminar para condiciones atmosféricas inestables. (Los puntos representan los valores observados). ( $\bar{u}$  en m/s) .



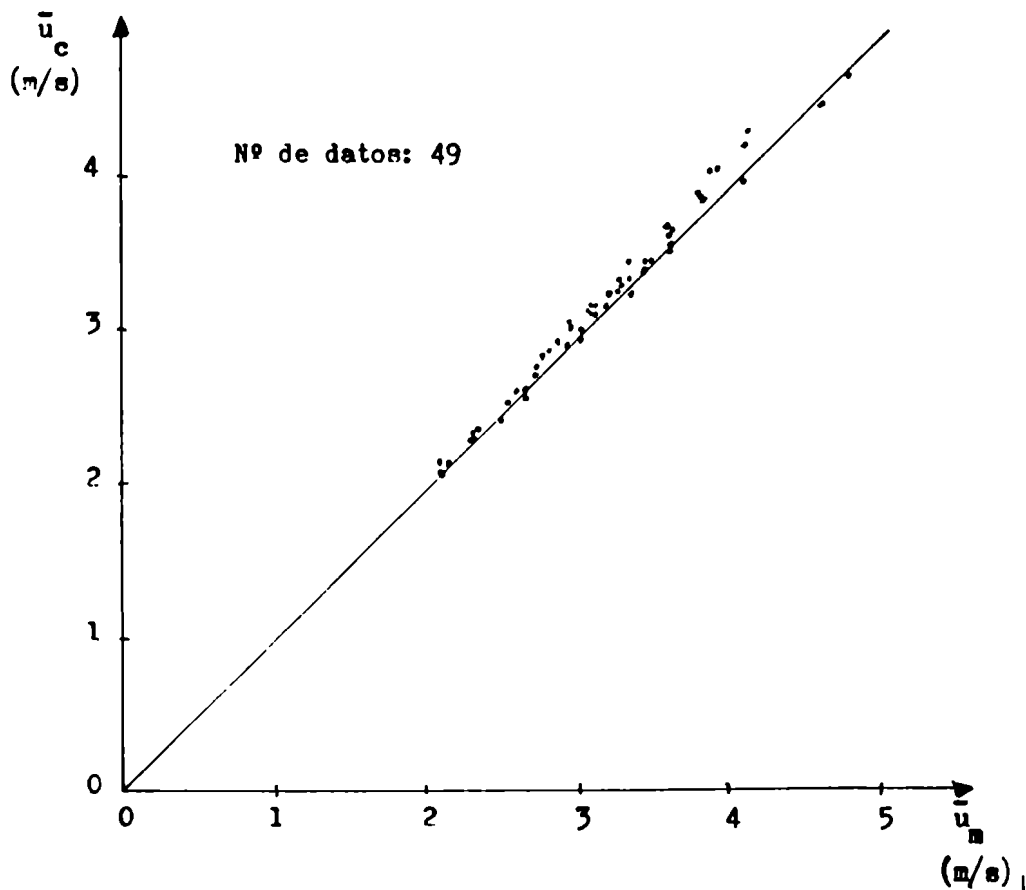
experiencias de campo, bajo condiciones atmosféricas inestables, a saber :

- Alerces,  $h = 10.40$  m, con follaje, ( Allen, 1968);
- Alerces,  $h = 10.40$  m, sin follaje, ( Allen, 1968);
- Mafz, con altura variable entre 0.5 y 0.7 m, ( Penmann y Long, 1959).

Las observaciones, en cada una, están restringidas a la velocidad media del viento a diferentes alturas sobre la vegetación. Debido a esta limitación, la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes se determina, suponiendo la validez de las expresiones (38) y (39), con las velocidades medias observadas a dos niveles, (ANEXO). Los datos observados se encuentran en la TABLA A3-3, Apéndice 3.

En la Figura 10 se presentan los valores generados por el modelo en contraste con los observados, para el total de 49 datos pertenecientes a la experiencia de alerces con follaje, ( 7 experimentos con 7 niveles de medición cada uno), donde se

Figura 10 : Velocidades medias del viento calculadas, correspondientes a la aplicación del modelo propuesto para estratificación térmica inestable a un bosque de alerces con follaje y velocidades observadas.



comprueba una escasa dispersión. El error absoluto medio de la experiencia es 0.05 m/s, mientras que el error relativo porcentual medio es 1.8 % .

En la Figura 11 se observan los mismos parámetros correspondientes a la experiencia con alerces sin follaje. En esta Figura se incluyen 70 datos ( 10 experimentos con 7 niveles de medición cada uno ), comprobándose una pequeña dispersión, con un error absoluto medio de 0.22 m/s, y error relativo porcentual medio de 2.1 % .

Por su parte, la Figura 12 muestra las velocidades medias observadas y calculadas, para la experiencia con maíz para 48 datos ( 24 experimentos con dos niveles de medición cada uno ). En ella, se verifica como en los casos anteriores, una escasa dispersión, con un error absoluto medio de 0.09 m/s, y error relativo porcentual medio de 5.05 % .

Figura 11 : Velocidades medias del viento calculadas, correspondientes a la aplicación del modelo propuesto para estratificación térmica inestable a un bosque de alerces sin follaje y velocidades observadas.

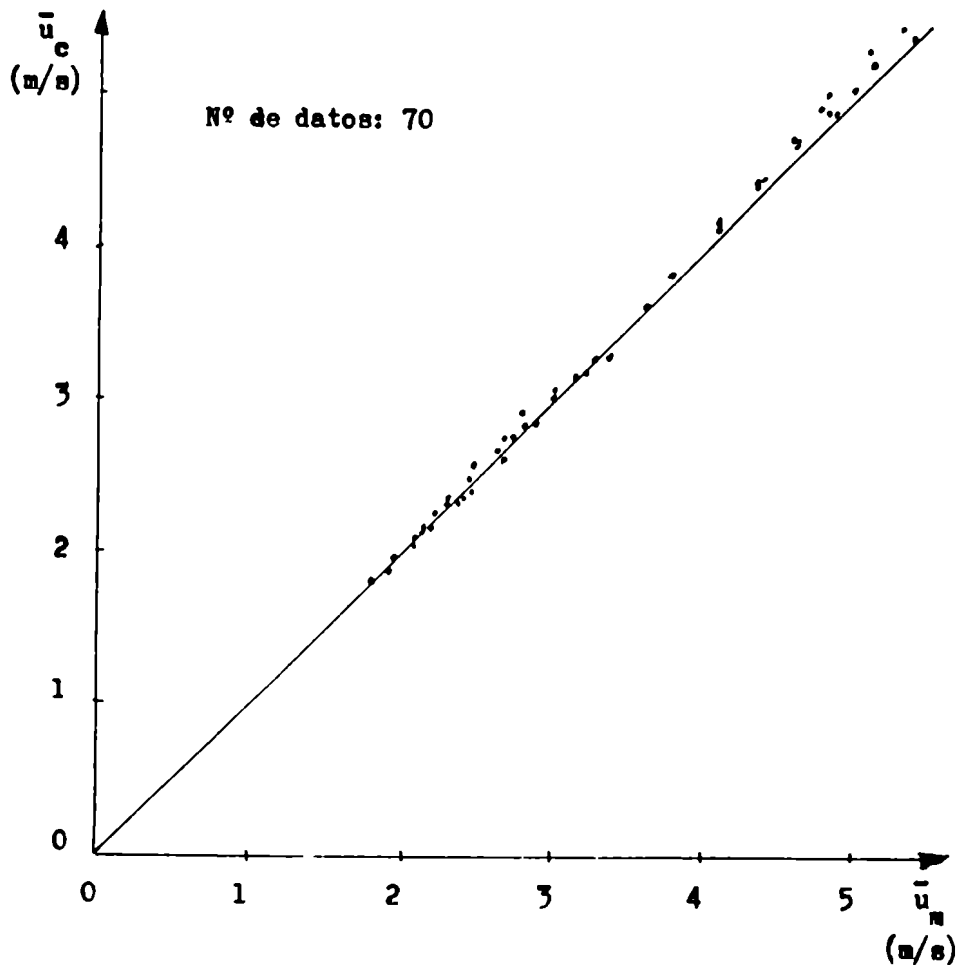
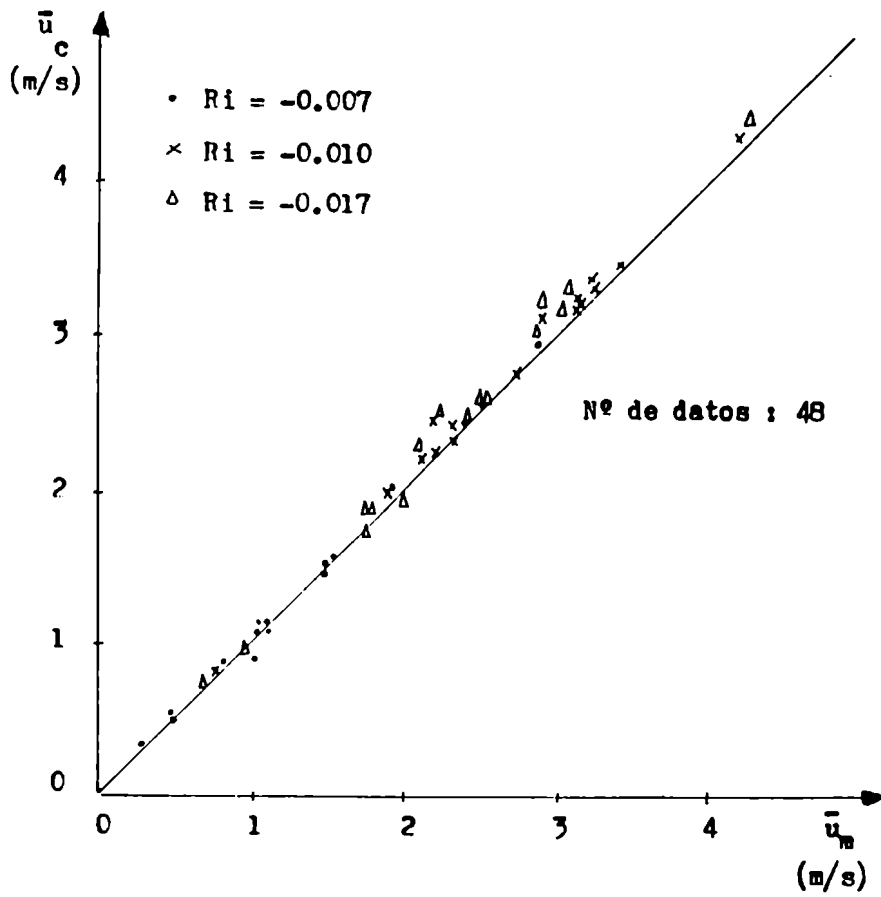


Figura 12 : Velocidades medias del viento calculadas, correspondientes a la aplicación del modelo propuesto para estratificación térmica inestable a un cultivo de maíz, y velocidades observadas.



En la Tabla V se presentan los coeficientes de correlación lineal determinados entre los valores de las muestras observadas y generadas de  $\hat{u}(z/h)$ , para diferentes rangos de altura adimensional. Se observa en general, una disminución de  $r^2$ , con respecto a neutralidad atmosférica, para los niveles inferiores, pero manteniéndose su valor relativo elevado.

TABLA V

Coefficientes de correlación lineal correspondientes a la generación de perfiles verticales de la velocidad media del viento normalizadas con su valor en el tope de la cobertura vegetal, en la capa de transición atmosférica, en condiciones de estratificación térmica inestable.

Intervalo de z/h	(1.0-1.1]	(1.1-1.2]	(1.2-1.3]	(1.3-1.4]	~ 2.1
r <sup>2</sup>	0.684	0.606	0.971	0.950	0.983

3.2.2.- Velocidad de fricción

3.2.2.1.- Modelo

Una característica importante de la capa atmosférica de transición está dada en la variación con la altura de las componentes verticales de los flujos turbulentos, y entre ellos el de la cantidad de movimiento que, puede representarse por la velocidad de fricción. Con el fin de estimar esta variación se propone (de Garín y Mazzeo, 1984) que la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes depende de la velocidad de fricción en un nivel dado dentro de la capa atmosférica de transición, de la altura de este nivel, de la estabilidad atmosférica en el mismo y de la velocidad media del viento en el tope de la vegetación. Esto puede expresarse mediante la siguiente relación funcional :

$$u_{*0} = f( u_{*}(z) , z , L , \bar{u}(h) ) \tag{40}$$

Aplicando el análisis dimensional clásico a la expresión (40), se obtiene :

$$u_{*0} = u_{*}(z) \cdot P( \bar{u}(h)/u_{*}(z) , z/L ) \tag{41}$$

La forma de la función adimensional P debe determinarse utilizando datos observacionales. A tal fin, se utilizaron los datos correspondientes a la Expedición XCCRIN ( Clarke y Brock, 1979), llevada a cabo en una plantación de acacias de

10 m de altura media. La experiencia incluye mediciones de la velocidad media del viento a distintos niveles sobre la vegetación, y de los flujos turbulentos verticales de la cantidad de movimiento y del calor sensible, a  $z = 17.35$  m. Considerando que este nivel se encuentra dentro de la capa atmosférica de transición, ( Garrat, 1973), entre las observaciones se cuenta con la velocidad de fricción en un nivel dentro de dicha capa, pudiendo determinarse la longitud de Monin-Cbuhkov correspondiente a esa altura, (Datos observados, en TABLA A1-2, Apéndice 1). Considerando válidos los resultados de la verificación del modelo para condiciones de inestabilidad atmosférica realizada anteriormente, se determinan los valores de P que mejor se ajusten al perfil generado por el modelo para 190 experimentos observacionales. Estos valores de P se obtienen como el porcentaje de la velocidad de fricción medida que produce menor error relativo medio en el perfil generado por las expresiones (38) y (39), de acuerdo con las siguientes relaciones :

$$\bar{u}(z') = \bar{u}(h) + \frac{u_{*}(z)}{k} \cdot P(z/L, \bar{u}(h)/u_{*}(z)) \cdot \Phi'(1, C_{D(h)}) \cdot \Psi'(z'/h) \quad (42)$$

donde  $z'$  es la coordenada vertical,  $z$  es el nivel de medición de la velocidad de fricción, y  $\Psi'(z'/h)$  es una función que adquiere la siguiente forma funcional :

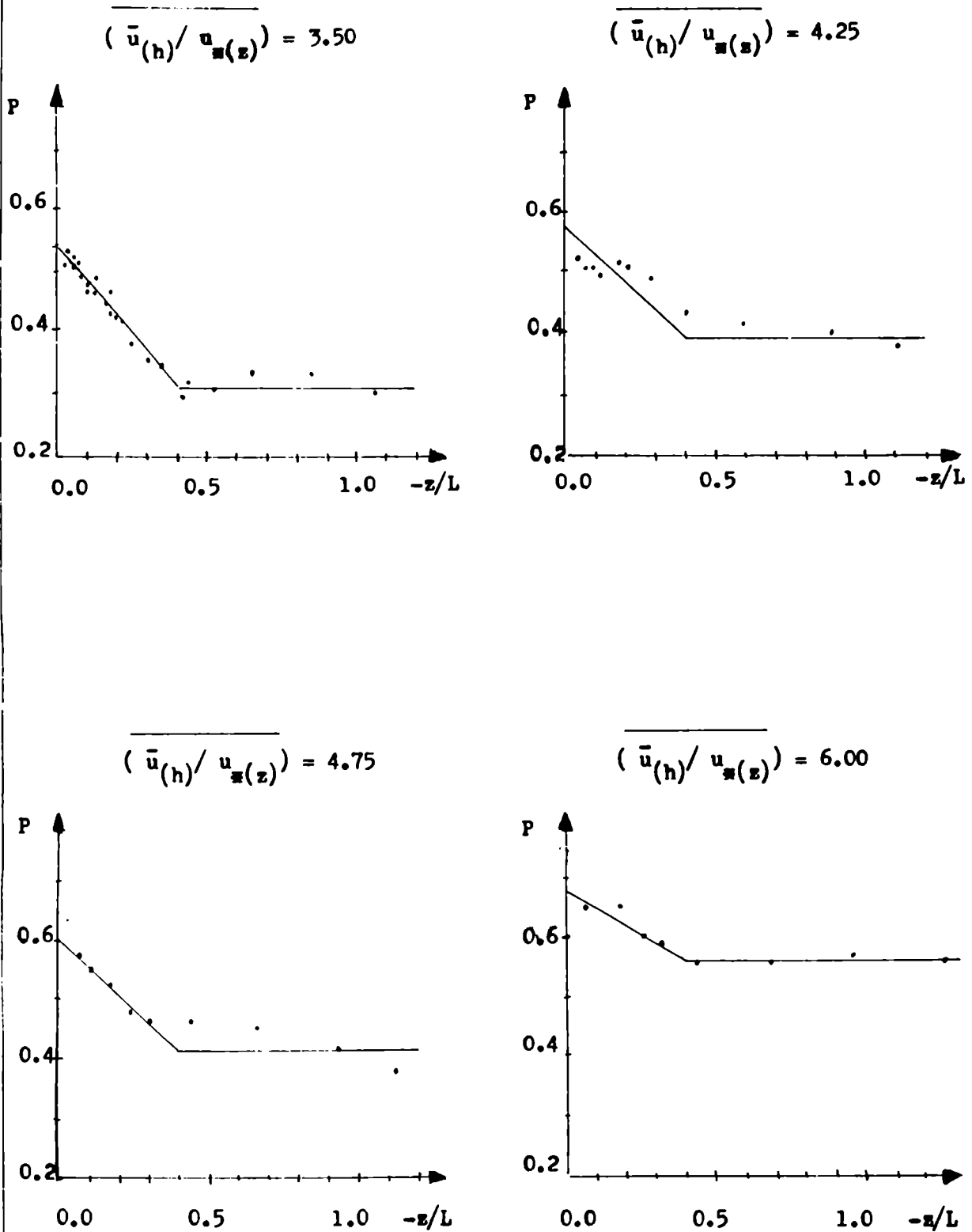
$$\Psi'(z'/h) = \begin{cases} 0.415 \left[ 1 - \left[ \frac{z'}{h} \right]^{-2.41} \right] & \text{si } 1 \leq \frac{z'}{h} \leq 1.5 \\ 0.376 \ln \frac{z'}{h} + 0.106 & \text{si } 1.5 \leq \frac{z'}{h} \leq \frac{z_{*}}{h} \end{cases} \quad (43)$$

Por su parte, la forma funcional del valor máximo del perfil adimensional, es la siguiente :

$$\Phi'(1, C_{D(h)}) = \begin{cases} 1.11 + 0.496 \frac{\bar{u}(h)}{u_{*}(z)} \cdot P^{-1} & \text{si } \frac{\bar{u}(h)}{u_{*}(z)} \cdot P^{-1} \leq 6 \\ 4.086 & \text{si } \frac{\bar{u}(h)}{u_{*}(z)} \cdot P^{-1} \geq 6 \end{cases} \quad (44)$$

Los valores calculados mediante el procedimiento descripto, pueden ser relacionados con  $z/L$ , como se presenta en la Figura 13, para distintos rangos de  $\bar{u}(h)/u_{*}(z)$ .

Figura 13 : Valores empíricos de la función adimensional ( P ) de la variación de la velocidad de fricción, en condiciones de inestabilidad atmosférica, en función de la estabilidad ( z/L ).





En esta Figura se comprueba que la variación de la velocidad de fricción, aumenta con la inestabilidad atmosférica, siendo siempre  $u_{*0} < u_{*}(z)$ . Este hecho coincide con la disminución esperada en  $u_{*}$  debido a la ausencia de una superficie de arrastre en el medio donde se desplaza el fluido y al alejamiento de la misma con la altura, ya que ella constituye una fuente de turbulencia mecánica.

La forma funcional generalizada para esta relación, en cada rango del coeficiente de arrastre está dada por :

$$P(z/L, \bar{u}(h)/u_{*}(z)) = \begin{cases} A \frac{z}{L} + B & \text{si } -0.4 \leq \frac{z}{L} < 0 \\ -0.4 A + B & \text{si } -0.4 \geq \frac{z}{L} \end{cases} \quad (45)$$

La determinación de los parámetros A y B, para cada rango, mediante ajuste por el método de cuadrados mínimos, generaliza las expresiones (45). La variación de estos parámetros en función de  $\bar{u}(h)/u_{*}(z)$ , se presenta en la Figura 14. Las expresiones que describen esta relación son las siguientes :

$$A = 0.059 \frac{\bar{u}(h)}{u_{*}(z)} + 0.33 \quad (46)$$

y

$$B = -0.11 \frac{\bar{u}(h)}{u_{*}(z)} + 0.954 \quad (47)$$

Con la determinación de A y B se obtiene la forma funcional de la variación de la velocidad de fricción en la capa atmosférica de transición en función de la estabilidad de la atmósfera y del coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación, referido a un nivel dentro de la capa.

### 3.2.2.2.- Aplicación

Las expresiones (33), (39), (45), (46) y (47) son aplicadas para la generación de 56 perfiles de velocidad media del viento, no incluidos en la determinación de la metodología descrita, de la Expedición KCORIN, siendo los valores observados y generados, reproducidos en la TABLA A3-4, Apéndice 3.

Figura 14 : Parámetros A y B en función de  $\bar{u}(h)/u_{\pi}(z)$  .

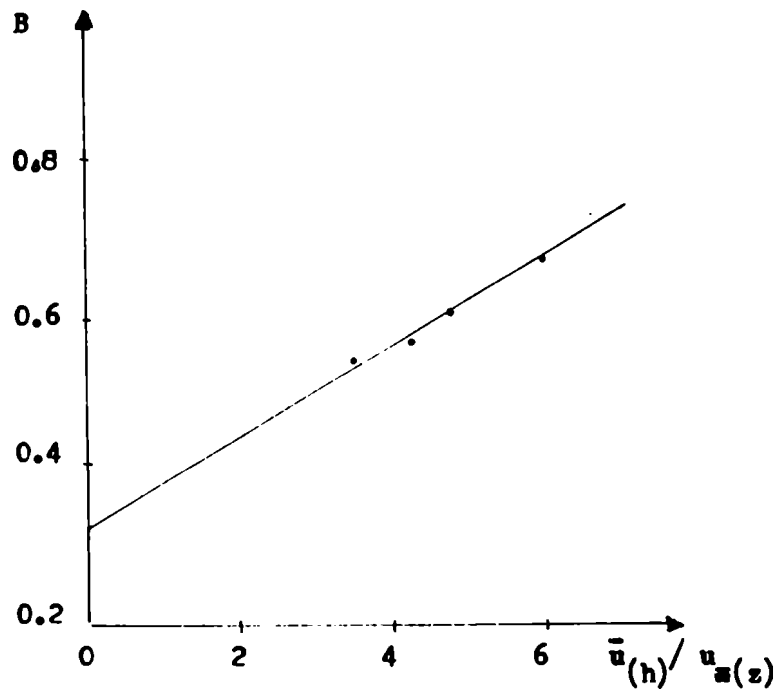
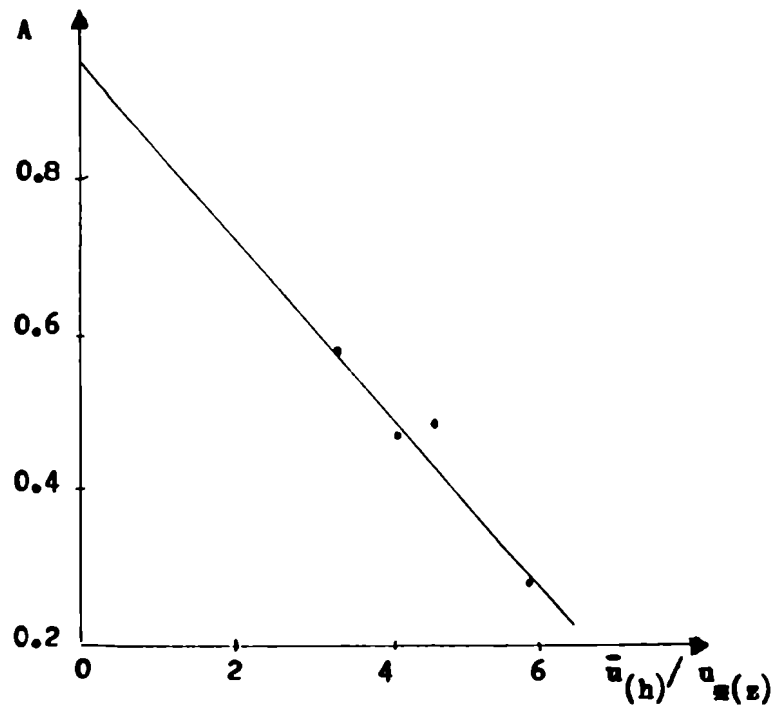
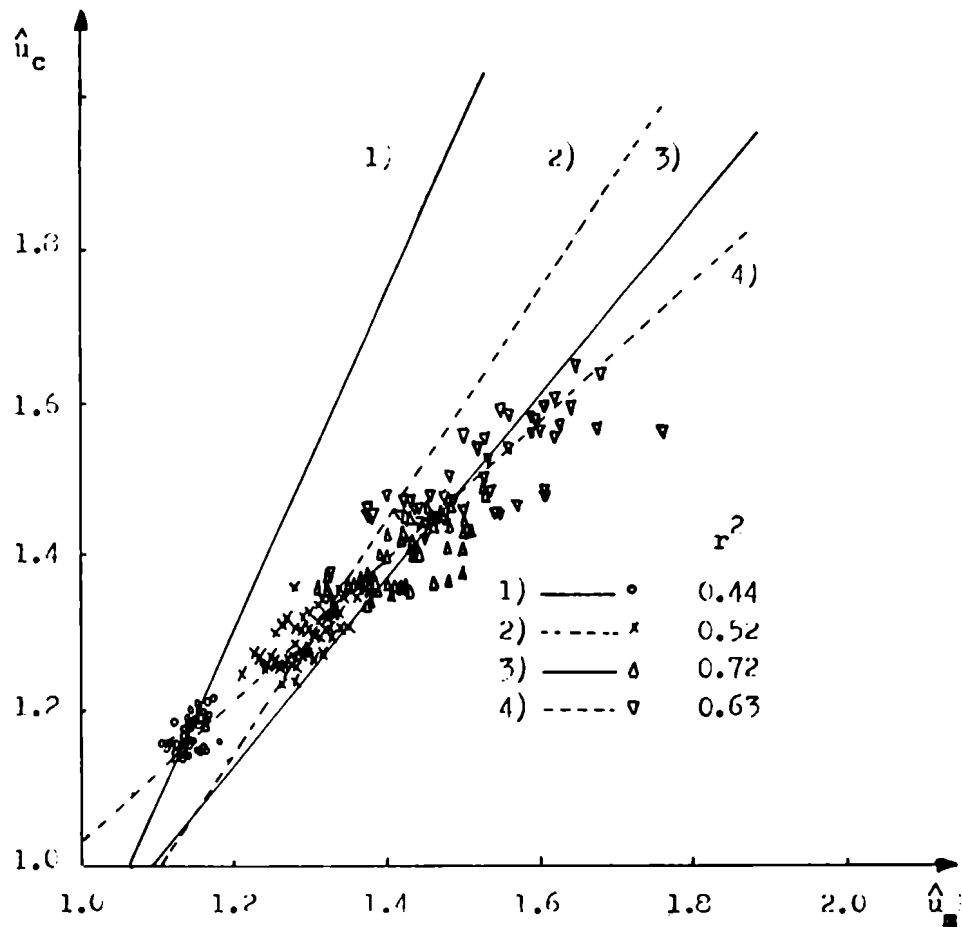


Figura 15 : Comparación entre las velocidades medias normalizadas por su valor en el tope de la cobertura vegetal calculadas ( $\hat{u}_c$ ), y las observadas ( $\hat{u}_m$ ), para diferentes alturas. (  $\circ$   $z/h = 1.231$ ,  $\times$   $z/h = 1.576$ ,  $\Delta$   $z/h = 2.024$  y  $\nabla$   $z/h = 2.834$  ). Las rectas corresponden a la regresión lineal.



En la figura 15 se presentan las velocidades medias del viento normalizadas con su valor en el tope de la cobertura vegetal, generadas contrastadas con las observadas en la experiencia, para diferentes alturas, verificándose una escasa dispersión.

En la Tabla VI se muestran los errores para cada uno de los 4 niveles de observación, comprobándose que son un poco mayores para los niveles superior e inferior, que para los intermedios. También, se observa que, en esos niveles, el modelo tiende a sobreestimar, mientras que en los intermedios subestima levemente.

TABLA VI

Errores correspondientes a la aplicación del modelo propuesto para la variación de la velocidad de fricción en condiciones atmosféricas inestables, en la capa de transición, para diferentes niveles.

$z/h$	1.231	1.576	2.084	2.834
$\overline{\Delta}$ (m/s)	0.080	-0.003	-0.040	0.002
$ \overline{\Delta} $ (m/s)	0.080	0.060	0.070	0.090
$\overline{\mathcal{E}}$ (%)	2.9	-0.02	-1.4	0.03
$ \overline{\mathcal{E}} $ (%)	2.9	1.7	2.3	3.0

La Tabla VII presenta los errores relativos porcentuales medios, discriminados por intervalos de estabilidad atmosférica. Se puede encontrar que, no existe una marcada variación en el error relativo porcentual para distintos rangos de inestabilidad atmosférica, comprobándose un leve aumento para los casos de mayor inestabilidad. Por su parte, la Tabla VIII muestra la distribución de errores medios relativos porcentuales para distintos rangos de  $\bar{u}_{(h)}/u_{*}(z)$ , de donde se infiere un aumento gradual muy pequeño con el incremento de este parámetro.

TABLA VII

Errores medios relativos porcentuales resultantes de la aplicación del modelo de variación de la velocidad de fricción en la capa de transición, para estratificación térmica inestable, para diferentes rangos de estabilidad de la atmósfera.

Intervalo de estabilidad atmosférica, (z/L).	$ \overline{\mathcal{E}} $ (%)
$\leq -1.0$	3.2
$\{-1.0, -0.8\}$	2.5
$\{-0.8, -0.6\}$	2.4
$\{-0.6, -0.4\}$	2.5
$\{-0.4, -0.2\}$	2.0
$\{-0.2, 0.0\}$	2.7

TABLA VIII

Errores medios relativos porcentuales resultantes de la aplicación del modelo de variación de la velocidad de fricción en la capa de transición, en condiciones atmosféricas inestables, para diferentes intervalos de  $\bar{u}(h)/u_{*}(z')$ .

Intervalo de $\bar{u}(h)/u_{*}(z')$	(3,4]	(4,5]	(5,6]	$\geq 6$
$ \bar{\epsilon} $ (%)	2.1	2.4	2.8	2.9

Para completar el análisis de los resultados se determinaron los coeficientes de correlación lineal entre los valores de las muestras observadas y generadas de  $\hat{u}(z/h)$ , los que se encuentran en la Figura 15, para diferentes alturas relativas. Se observa que los coeficientes de correlación lineal disminuyen significativamente con respecto a los del modelo original, aunque sin embargo las desviaciones medias correspondientes son del mismo orden.

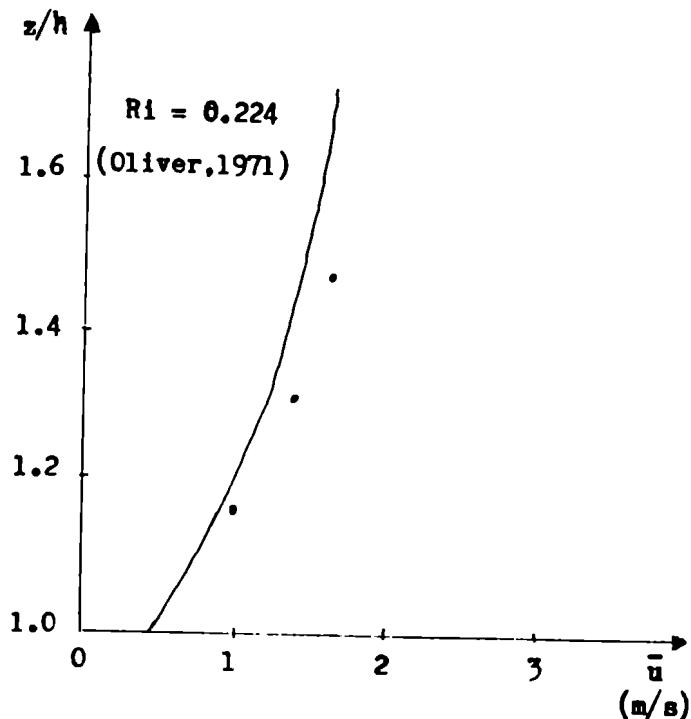
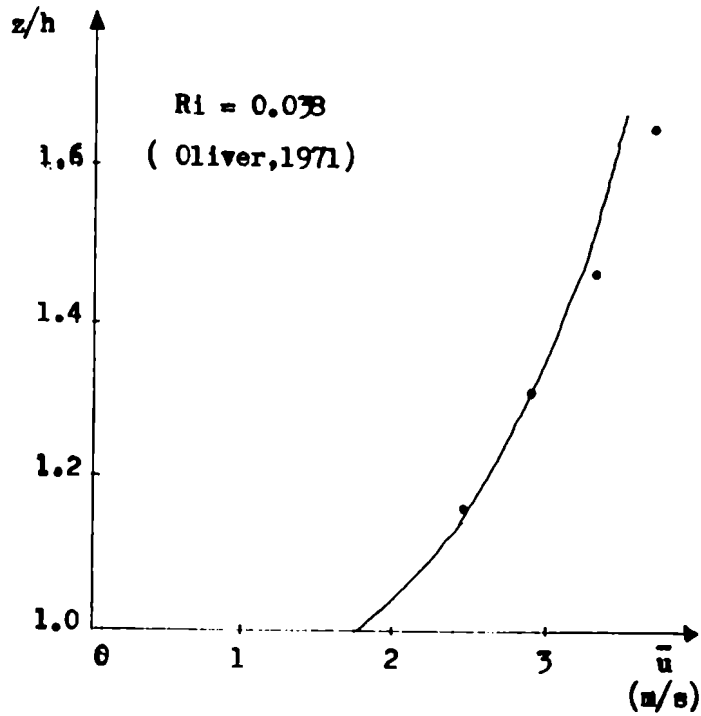
### 3.3.- Atmósfera estratificada establemente

#### 3.3.1.- Desarrollo del modelo

La expresión (33) propone que la variación vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, generada sobre superficies aerodinámicamente rugosas, depende de la estabilidad atmosférica, expresada mediante el argumento de semejanza  $h/L_0$ . Al igual que en los casos de inestabilidad atmosférica, se realizó una prueba preliminar, con el objeto de estudiar la desviación del comportamiento del perfil en una estratificación térmica estable, del obtenido para condiciones atmosféricas neutras. Esta prueba se efectuó con los datos observacionales correspondientes a una experiencia realizada en un bosque de pinos, de altura media  $h = 15.5$  m, (Cliver, 1971). La aplicación del modelo desarrollado para condiciones neutras, a esta experiencia conduce a errores comprendidos entre 7 y 19%, lo que en comparación con los resultados obtenidos para las otras

estratificaciones térmicas sugiere que no se comporta adecuadamente. En la Figura 16 se presentan los perfiles del viento generados y los valores observados de la velocidad media del viento, comprobándose un apartamiento mayor cuando  $z/h$  es más grande.

Figura 16 : Perfiles verticales de la velocidad media del viento, correspondientes a la prueba preliminar para condiciones atmosféricas estables, sobre un bosque de pinos. ( Los puntos representan las velocidades observadas).



De lo expuesto, se considera necesario examinar la forma funcional del perfil adimensional  $\phi'$ , para condiciones atmosféricas estables.

Con el objeto de determinar empíricamente la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición en una estratificación térmica estable, se utilizan los datos observacionales de dos experiencias de campo, las que se detallan en la Tabla IX. Las mismas cuentan sólo con mediciones de la velocidad media del viento a distintas alturas dentro de la capa atmosférica de transición, las que se presentan en la TABLA A1-3, Apéndice 1.

Debido al desconocimiento de la velocidad de fricción, la determinación del valor empírico del perfil adimensional se realiza mediante la siguiente expresión :

$$u_{*0} \cdot \phi' (z'/h, C_{D(h)}) = z' \cdot k \cdot \left. \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right|_{z'} \quad (48)$$

El gradiente vertical de la velocidad media del viento se estima en forma similar al de los casos de estratificación térmica neutral, (ANEXO).

Por otra parte, en la Figura 17 se observan los siete perfiles estimados por la expresión (48), de donde se extrapola el valor en el tope de la vegetación. De acuerdo con este valor extrapolado se normalizan los perfiles obtenidos por la relación (48), encontrándose la siguiente expresión para el perfil adimensional de la velocidad media del viento normalizado por su valor máximo, en la capa de transición de una atmósfera estable:

$$\frac{u_{*0} \cdot \phi' (z'/h, C_{D(h)})}{u_{*0} \cdot \phi' (1, C_{D(h)})} = \frac{\phi' (z'/h, C_{D(h)})}{\phi' (1, C_{D(h)})} \quad (49)$$

TABLA IX

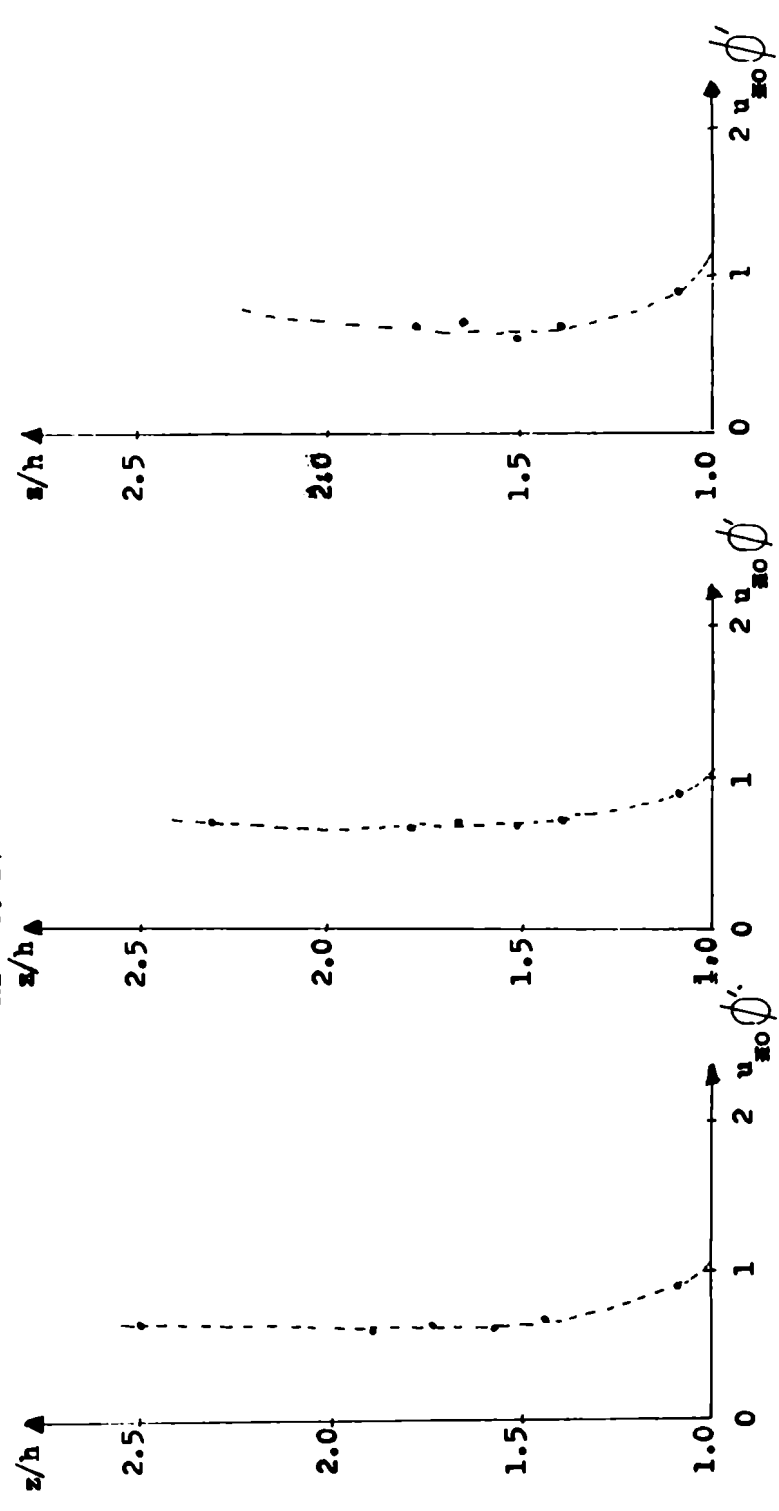
Especificaciones de las experiencias utilizadas en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, con estratificación térmica estable.

Tipo de vegetación	Nº de experimentos	h (m)	Referencia
Pinos	2	15.5	Oliver, 1971.
Maíz	5	0.55-0.78	Fenman y Long, 1959.

Figura 17 : Perfiles verticales de  $(u_{*0} \cdot \phi' (z/h, C_D(h)))$  determinados empíricamente.

Mafz, (Penman y Long, 1959)

RI = 0.014

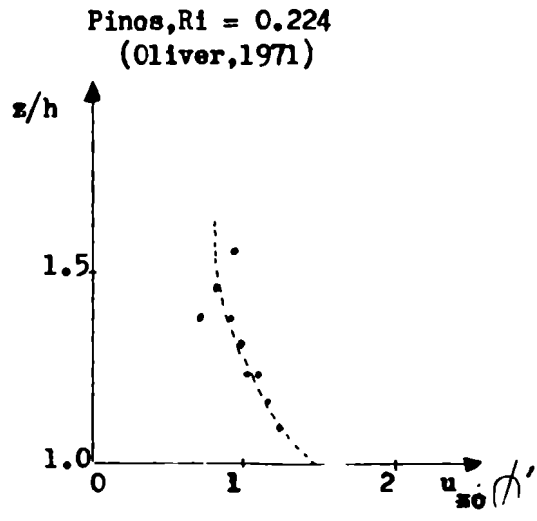
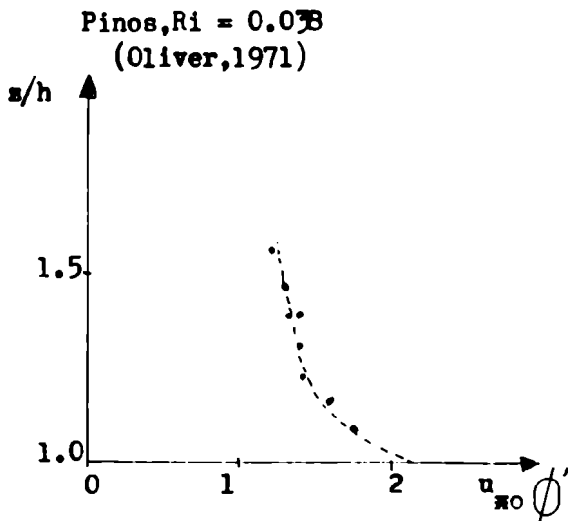
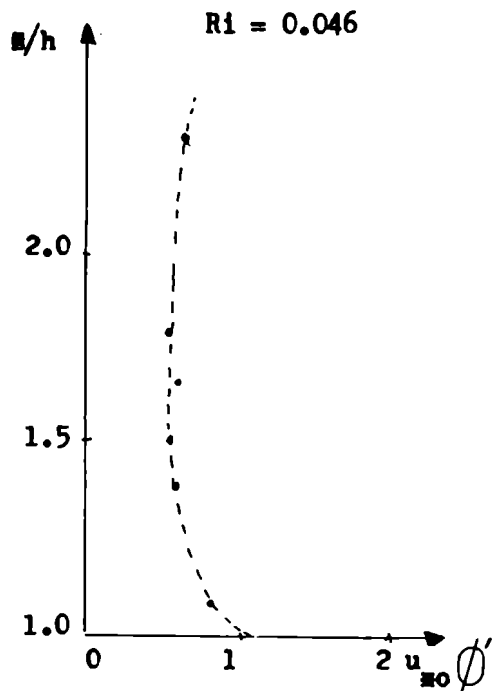
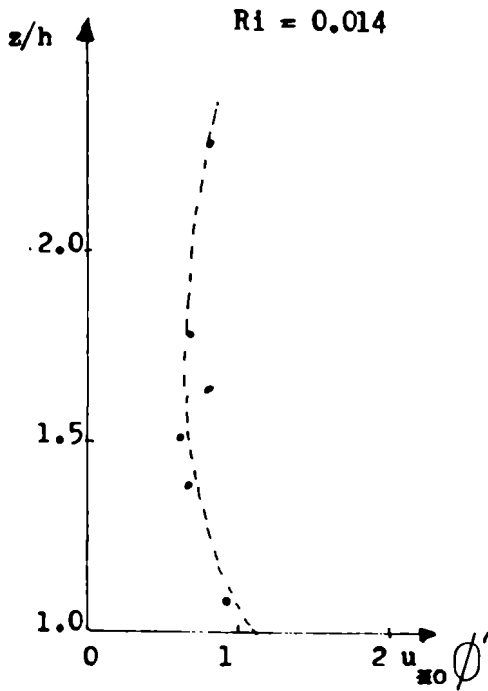


(continúa)



Figura 17 : (continuación) .

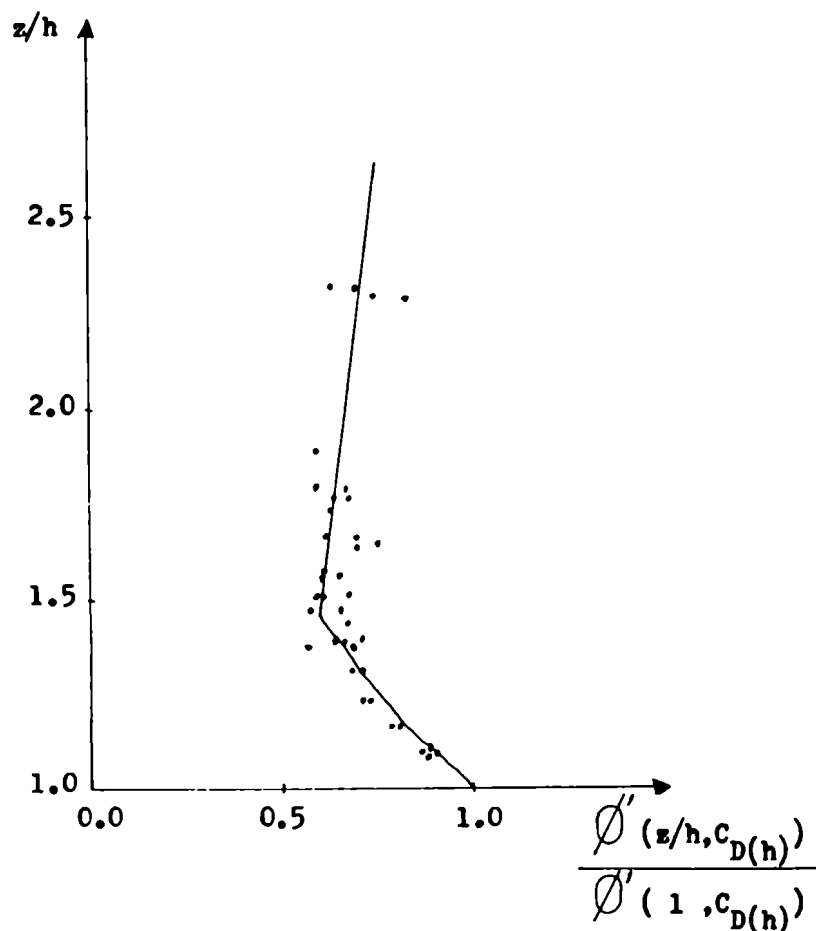
Mafz, (Penman y Long, 1959)



En la Figura 18 se muestran los datos empíricos correspondientes a la expresión (49), para los siete experimentos utilizados, donde se observa una región inferior con una disminución potencial del perfil normalizado, mientras que por encima se verifica un aumento lineal del mismo. La relación funcional del perfil adimensional normalizado, con la altura adimensionalizada, determinada por el método de ajuste por cuadrados mínimos, es la siguiente :

$$\phi'_{(z/h, C_{D(h)})} = \begin{cases} \phi'_{(1, C_{D(h)})} \cdot \left[ \frac{z}{h} \right]^{-1.27} & \text{si } 1 \leq \frac{z}{h} \leq 1.47 \\ \phi'_{(1, C_{D(h)})} \cdot (0.132 \frac{z}{h} + 0.417) & \text{si } 1.47 \leq \frac{z}{h} \leq \frac{z}{h} \end{cases} \quad (50)$$

Figura 18 : Perfil adimensional de la velocidad media del viento, con estratificación térmica estable, en función de la altura adimensional, normalizado por su valor máximo. ( Los puntos representan los valores empíricos)



La integración de la expresión (33), incluyendo la (50), da por resultado la siguiente expresión para obtener el perfil vertical de la velocidad media del viento :

$$\bar{u}(z) = \begin{cases} \bar{u}(h) + \frac{u_{*0}}{k} \cdot \frac{\phi'(1, C_D(h))}{1.27} \left[ 1 - \left( \frac{z}{h} \right)^{-1.27} \right] & \text{si } 1 \leq \frac{z}{h} \leq 1.47 \\ \bar{u}(h) + \frac{u_{*0}}{k} \cdot \phi'(1, C_D(h)) \left[ 0.417 \ln \frac{z}{h} + 0.132 \frac{z}{h} + 0.05 \right] & \text{si } 1.47 \leq \frac{z}{h} \end{cases}$$

Considerando válida la relación (33) que establece la relación del valor máximo del perfil adimensional con el coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación, es posible generar el perfil vertical de la velocidad media del viento, en condiciones de estratificación térmica estable, conociendo solamente la velocidad media del viento en el tope de la vegetación y la tensión de corte en la capa de flujos constantes.

### 3.3.2.- Verificación

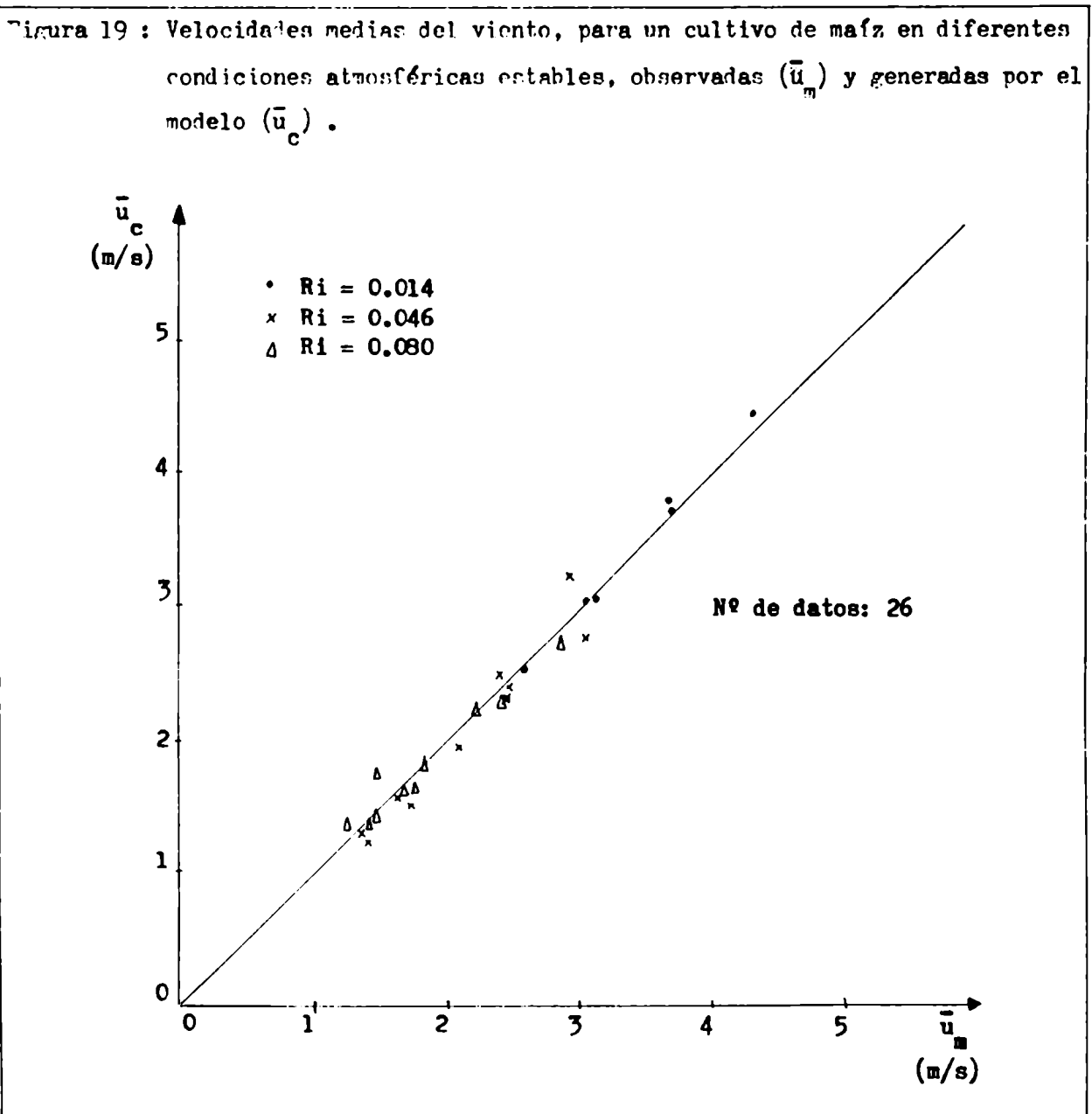
Con el objeto de analizar el comportamiento del modelo conformado por las expresiones (33) y (50), se efectúa su aplicación a algunas experiencias de campo detalladas en la Tabla X. ( Datos observacionales en TABLA A3-5, apéndice 3).

TABLA X			
Especificaciones de las experiencias utilizadas en la verificación de modelo de perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, en condiciones atmosféricas estables.			
Tipo de Vegetación	Nº de experimentos	h (m)	Referencia
Paíz	13	0.55-0.78	Penman y Long, 1959.
Acacias	228	10.00	Clarke y Brook, 1979.

En la experiencia realizada en un cultivo de maíz, se efectuaron mediciones de la velocidad media del viento a cuatro niveles, incluido el tope de la vegetación, para diferentes períodos del día. De acuerdo con Penmann y Long (1959) se caracteriza cada experimento de acuerdo con la hora del día por un número de Richardson ( $Ri$ ), parametrizando de esta manera la estabilidad atmosférica.

Debido a que no se cuenta con observaciones de la velocidad de fricción, el perfil es generado con el conocimiento de la velocidad media del viento en  $z = h$  y la correspondiente a otro nivel, determinando así la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes, con las expresiones (33) y (50), aplicadas dicho nivel, (ANEXO).

En la Figura 19 se encuentran graficadas los valores calculados de la velocidad media del viento, contrastados con los observados, para los otros dos niveles de



medición, discriminados por los valores característicos de Ri para cada experimento. En ella se observa el buen ajuste del modelo propuesto aplicado a condiciones reales.

La Tabla XI incluye los errores medios absoluto y relativo porcentual para la experiencia, encontrándose que el modelo conduce a una leve subestimación de la velocidad media del viento, siendo el error relativo porcentual medio del 5 % , que puede considerarse una aproximación aceptable.

En la Tabla XII se presentan los errores discriminados por diferentes números de Richardson, comprobándose que los mismos aumentan no monótonamente con la estabilidad atmosférica, y que cuando se incrementa Ri el modelo tiende a subestimar los valores de la velocidad media del viento.

Por su parte, la Tabla XIII muestra los errores para diferentes rangos del coeficiente de arrastre en tope de la cobertura vegetal, siendo posible observar que el

TABLA XI			
Errores absoluto medio y relativo porcentual medio para los perfiles generados de la experiencia en maíz.			
$\bar{\Delta}$ (m/s)	$ \bar{\Delta} $ (m/s)	$\bar{\varepsilon}$ (%)	$ \bar{\varepsilon} $ (%)
-0.02	0.10	-1.3	5.0

TABLA XII			
Errores absoluto medio y relativo porcentual medio para los perfiles generados de la experiencia de maíz, discriminados por el número de Richardson.			
Ri	0.014	0.046	0.080
$\bar{\Delta}$ (m/s)	0.04	-0.07	-0.01
$ \bar{\Delta} $ (m/s)	0.06	0.15	0.09
$\bar{\varepsilon}$ (%)	1.0	-3.8	-0.1
$ \bar{\varepsilon} $ (%)	1.5	6.9	5.3
Nº de datos generados	6	10	10

TABLA XIII

Errores absoluto y relativo porcentual medios en los perfiles de velocidad media del viento, generados para la experiencia en maíz, discriminados por intervalos de coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación.

Intervalo de $C_{D(h)}$	[ 0.00,0.02 ]	( 0.02,0.07 ]	$\geq 0.07$
Nº de experimentos	4	7	2
$\overline{\Delta}$ (m/s)	-0.04	-0.07	0.20
$ \overline{\Delta} $ (m/s)	0.08	0.10	0.20
$\overline{\varepsilon}$ (%)	-2.9	-3.6	10.1
$ \overline{\varepsilon} $ (%)	3.8	4.3	10.1

error en valor absoluto es mucho mayor cuando  $C_{D(h)} \geq 0.07$ , y que el modelo sobreestima las velocidades en estos casos, mientras que en los demás las subestima. Debido a que los experimentos con  $C_{D(h)} \geq 0.07$  son sólo dos esta no puede ser totalmente confirmado.

Por otra parte, en la Expedición KOCRIN ( Clarke y Brook, 1979) se realizaron observaciones de la velocidad media del viento a cinco niveles, entre ellos el tope del bosque de acacias. En la verificación se utilizaron 228 experimentos, de acuerdo con los mismos lineamientos de aplicación de la experiencia sobre el cultivo de maíz, ya que tampoco se cuenta con mediciones de la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes.

En la Figura 20 se presentan las velocidades medias del viento generadas por el modelo comparadas con las observadas, para tres de los niveles de medición. Esta Figura sugiere que el modelo reproduce aceptablemente los perfiles observados, produciendo una sobreestimación en el nivel inferior, mientras que subestima la velocidad media del viento en los otros dos. Este hecho es corroborado por los valores de la Tabla XIV, la que incluye los errores absoluto y relativo porcentual medios para cada nivel y los totales. En ella, se observa que el error relativo porcentual medio en valor absoluto es del 7.35 %, y que éste aumenta con la altu-

Figura 2C : Velocidades medias del viento, para un bosque de acacias en condiciones atmosféricas estables, observadas y generadas por el modelo.

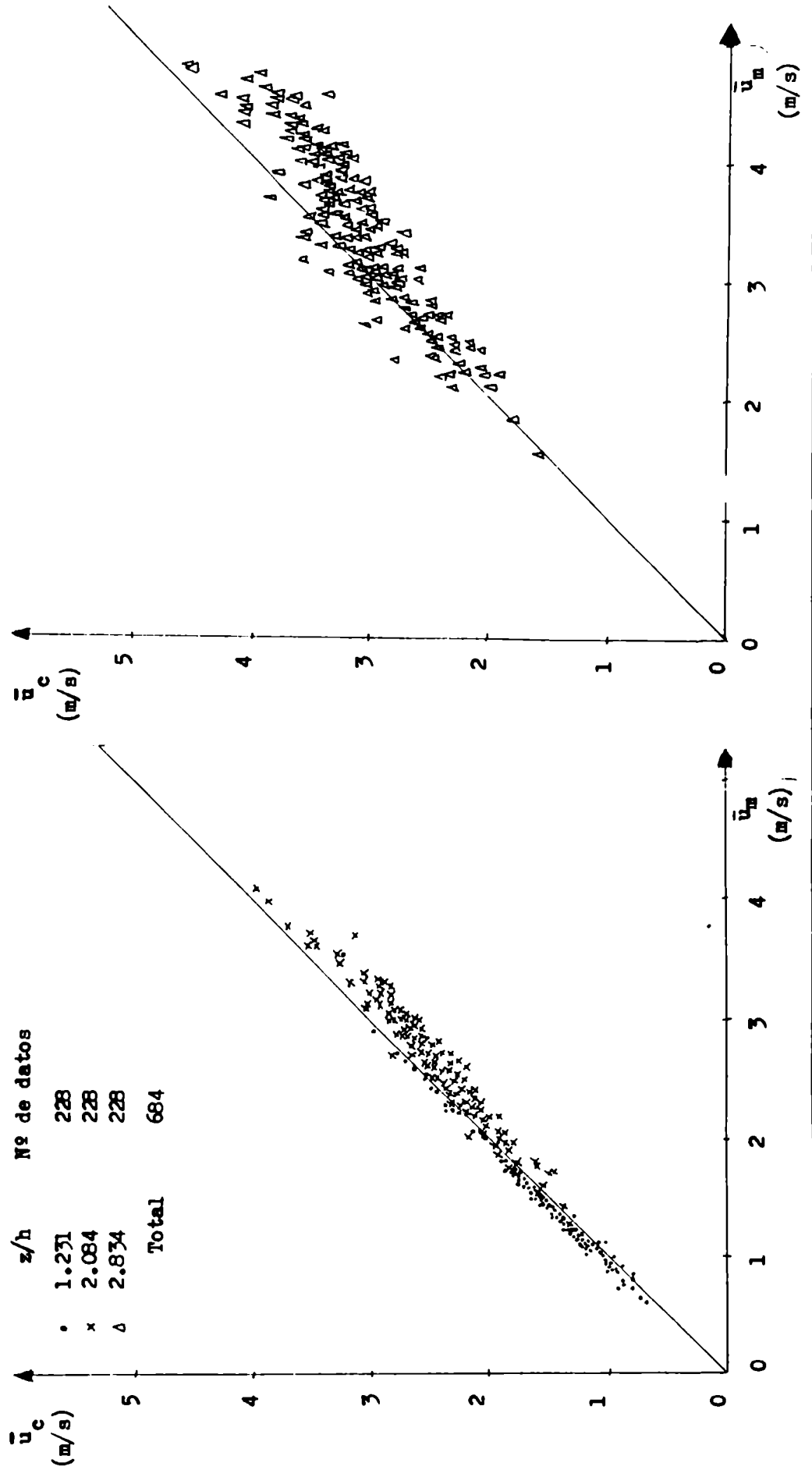


TABLA XIV

Errores absoluto y relativo porcentual medios, totales y discriminados por altura, para la aplicación del modelo de perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición con estratificación térmica estable, a un bosque de acacias.

$z/h$	1.231	2.084	2.834	Total
$\bar{\Delta}$ (m/s)	0.09	-0.19	-0.31	-0.13
$ \bar{\Delta} $ (m/s)	0.10	0.20	0.35	0.22
$\bar{\varepsilon}$ (%)	7.23	-6.79	-8.13	-2.56
$ \bar{\varepsilon} $ (%)	7.45	7.24	9.84	7.35

ra. Este hecho puede estar justificado al considerar que el nivel superior no siempre está incluido dentro de la capa atmosférica de transición, ( Garrat, 1978). La Tabla XV presenta los errores medios absoluto y relativo porcentual para diferentes intervalos del coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación. En ella se observa, al igual que en el caso de la experiencia sobre maíz, un aumento del error con el incremento del coeficiente de arrastre, dentro de los primeros intervalos. Sin embargo, en esta verificación con los datos observacionales de la Expedición KOCRIJN, se comprueba que este aumento sólo se manifiesta cuando

TABLA XV

Errores absoluto y relativo porcentual medios, diferenciados por intervalos de coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación, correspondientes a la aplicación del modelo de perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición estable, a un bosque de acacias.

Intervalo de $C_D(h)$	Nº de experimentos	$\bar{\Delta}$ (m/s)	$ \bar{\Delta} $ (m/s)	$\bar{\varepsilon}$ (%)	$ \bar{\varepsilon} $ (%)
[0.00,0.05]	17	-0.116	0.116	-2.47	4.96
(0.05,0.10]	9	-0.244	0.297	-6.26	9.41
(0.10,0.50]	81	-0.169	0.276	-3.80	9.09
(0.50,1.00]	56	-0.097	0.189	-1.66	7.93
(1.00,2.50]	48	-0.093	0.187	-1.07	7.91
> 2.50	17	-0.109	0.164	-1.94	7.99



$0.05 \leq C_{D(h)} \leq 0.50$ , ya que para valores mayores los errores disminuyen, manteniéndose prácticamente constantes. De todos modos, también se observa que los menores errores se encuentran cuando  $0.05 \geq C_{D(h)}$ . Por otra parte, el coeficiente de correlación lineal de  $\hat{u}(z/h)$ , para diferentes rangos de altura son :

$z/h$	1.231	2.0-2.1	2.800
$r^2$	0.976	0.971	0.954

pudiéndose inferir que más del 95% de la varianza de la muestra observada es explicado por el modelo propuesto.

### 3.3.3.- Velocidad de fricción

#### 3.3.3.1.- Desarrollo del modelo

Como se mencionó en el punto 3.2.2., una de las características de la capa atmosférica de transición, está dada por la variación con la altura de la componente vertical de los flujos turbulentos. Debido a ello se propone el estudio de la variación vertical de la velocidad de fricción, que representa el flujo turbulento vertical de la cantidad de movimiento, a través de esta región de la atmósfera.

La expresión inicial para dicho estudio es la siguiente :

$$u_{*0} = f(u_{*}(z), L, z, h, \bar{u}(h), \nu) \quad (52)$$

donde se considera como argumento la viscosidad cinemática del aire, ya que se supone que en los casos estables, sobre todo en aquéllos con bajas velocidades medias del viento, será necesario tomar en cuenta la viscosidad del medio, mientras que los otros argumentos incluidos son los mismos que los de la relación (40), válida para condiciones atmosféricas inestables.

Aplicando el análisis dimensional clásico a la expresión (52), se obtiene la siguiente relación :

$$u_{*0} = u_{*}(z) \cdot P' \left( \frac{z/h, z/L, \bar{u}(h)/u_{*}(z)}{u_{*}(z)}, \frac{z/\nu}{u_{*}(z)} \right) \quad (53)$$

El método para determinar la forma funcional de  $P'$  es empírico, y similar al descrito en el punto 3.2.2.1., para estratificación térmica inestable. Para ello se utilizan 28 experimentos de la Expedición KOORIN, en los que se cuenta con cinco niveles de medición del viento, incluido  $z/h = 1$ , y mediciones de los flujos tur-

bulentos verticales de la cantidad de movimiento y de la temperatura, a  $z/h = 1.735$ . Asimismo, debe mencionarse que el argumento  $z/h$  no se incluye en el análisis, ya que este valor es único para todos los experimentos. Por otra parte, debe destacarse que el nivel superior sólo se incluye en el estudio cuando  $z/L \leq 0.082$ , de acuerdo con Carrat (1978). ( Datos observacionales en TABLA A1-4, apéndice 1).

La Figura 21 muestra los valores de  $P'$  en función de cada uno de los argumentos de semejanza de la expresión (53), en la cual es posible observar que sólo existe una clara dependencia con  $Re_f = u_{*}(z) \cdot z / \nu$ . La relación con los otros parámetros muestra una gran dispersión.

En la Figura 21 se comprueba que la velocidad de fricción disminuye potencialmente con el parámetro que podría representar un número de Reynolds friccional ( $Re_f$ ), para los valores menores de éste, mientras que para los mayores permanece constante. Por el método de ajuste por cuadrados mínimos, se determinan las siguientes relaciones :

$$P' ( u_{*}(z) \cdot z / \nu ) = \begin{cases} 9.5 \times 10^7 Re_f^{-1.43} & \text{si } Re_f \leq 6.42 \times 10^5 \\ 0.470 & \text{si } Re_f \geq 6.42 \times 10^5 \end{cases} \quad (54)$$

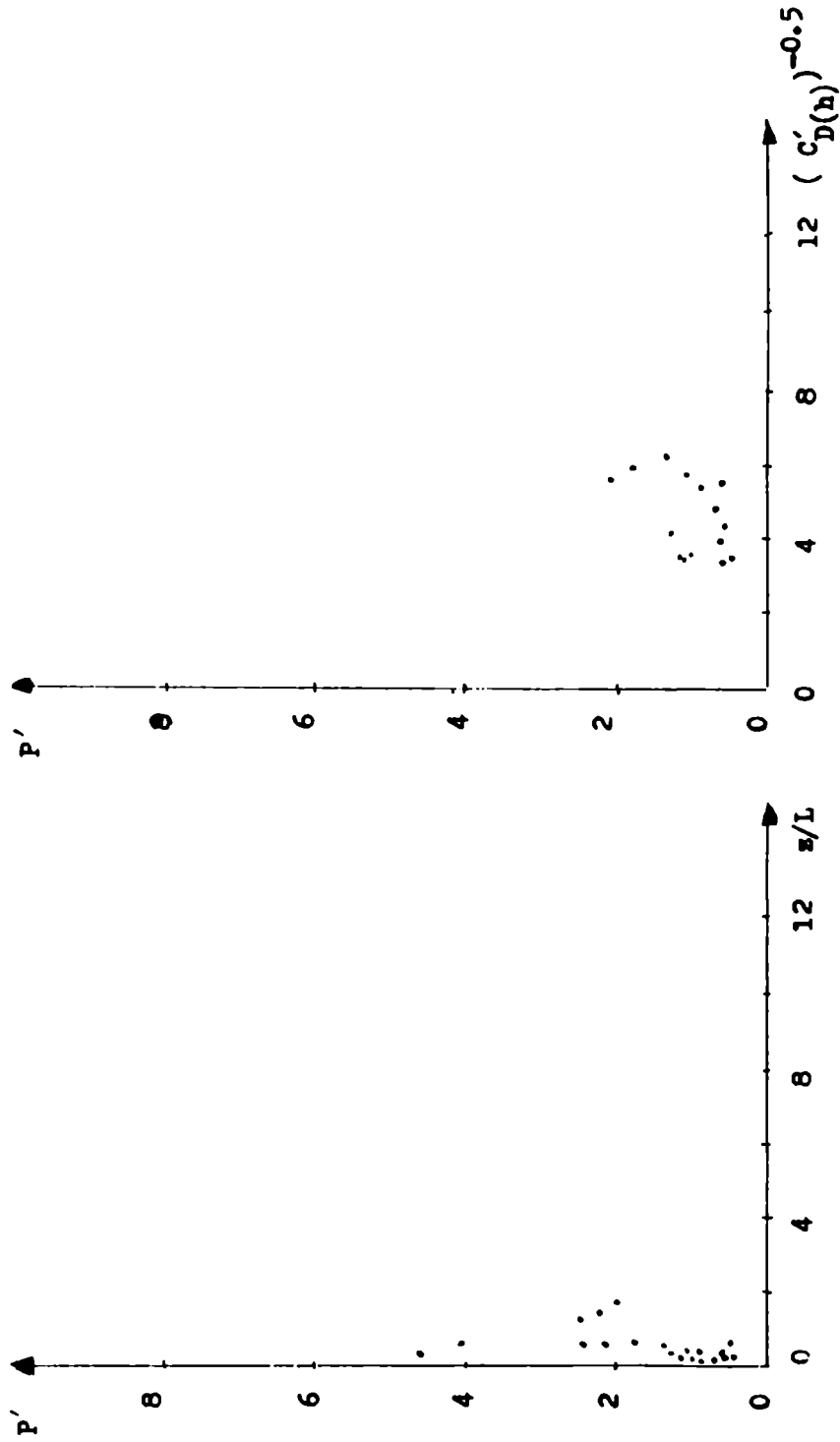
La expresión (54) permite conocer la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes conociendo la velocidad de fricción en un nivel dado de la capa atmosférica de transición.

### 3.3.3.2.- Verificación

Con el objeto de verificar las expresiones destinadas a obtener la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes en una atmósfera con estratificación térmica estable, ( expresiones (53) y (54) ), se las aplica a la generación de 30 perfiles verticales de la velocidad media del viento observados durante la Expedición KOORIN, no utilizados en la determinación de las mismas. Los valores observacionales se presentan en la TABLA A3-6 del Apéndice 3.

En la Figura 22 están graficadas las velocidades generadas aplicando las expresiones (53), (51), (53) y (54), conjuntamente con las observadas. Se encuentra en ella que existe un buen ajuste, con errores medios absolutos de 0.13 m/s y relativo porcentual de 4.42 % para el total de las 101 velocidades medias del viento calculadas.

Figura 21 : Función adimensional ( $P'$ ) de la variación de la velocidad de fricción en la capa atmosférica de transición, en condiciones atmosféricas estables, relacionada con los argumentos de semejanza :  $z/L$  ,  $C_D'(h) = (u_*'(z)/\bar{u}(h))^2$  y  $Re_f$  .



(continúa)

Figura 21 : (continuación) •

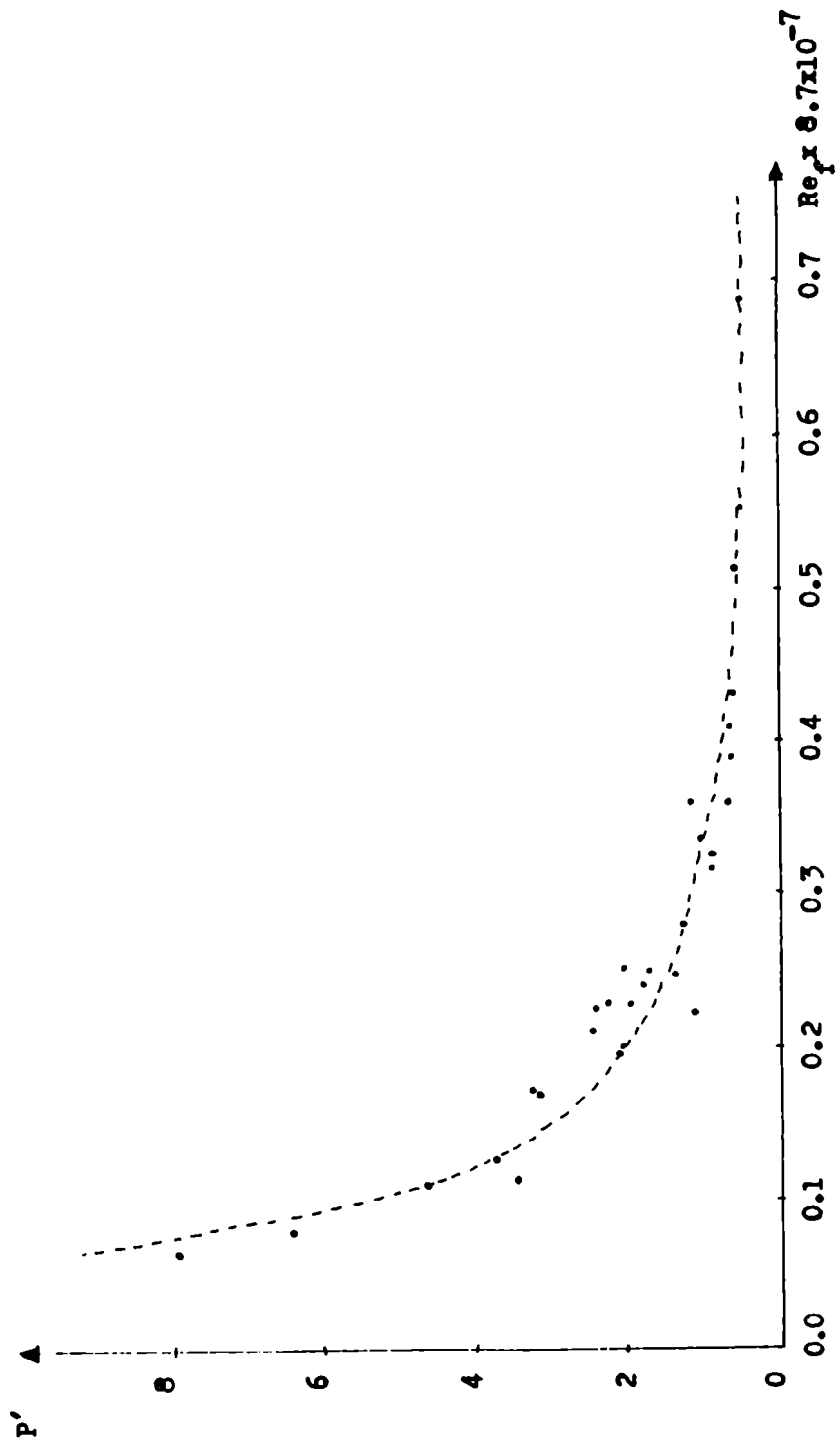
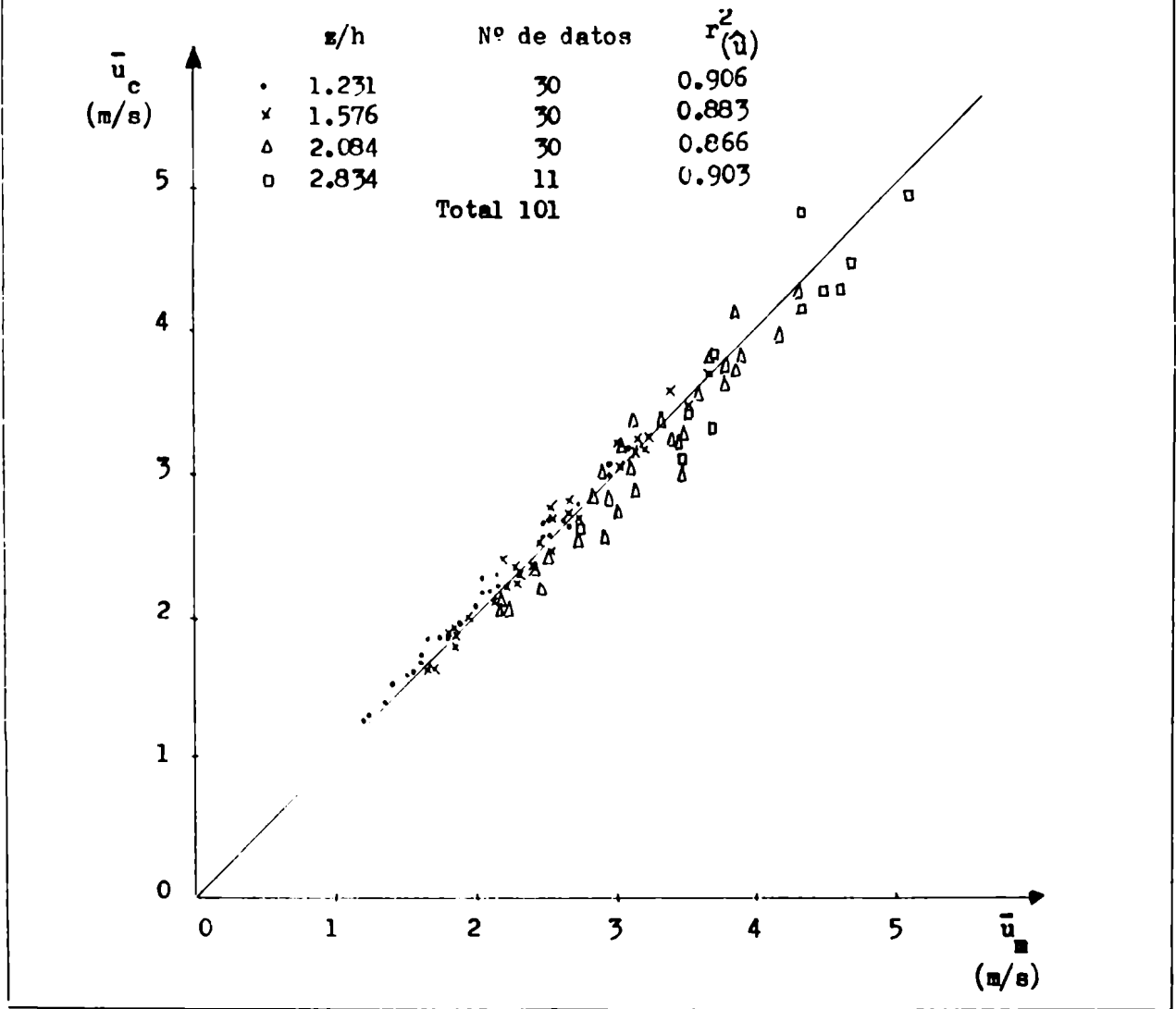


Figura 22 : Velocidades medias del viento, en la capa atmosférica de transición estratificada establemente, observadas ( $\bar{u}_m$ ) y generadas por el modelo ( $\bar{u}_c$ ), considerando la variación de la velocidad de fricción.



Asimismo, se verifica una leve sobreestimación para los niveles inferiores, mientras que para los superiores el modelo tiende a subestimar la velocidad. Este hecho se comprueba numéricamente en la Tabla XVI, observándose también que los errores aumentan con la altura, excepto en el nivel  $z/h = 1.576$ . Cabe mencionar que el dato de este nivel fue el utilizado para la estimación de la velocidad de fricción en la aplicación del punto 3.3.3. .

Comparando los resultados de esta verificación con los obtenidos sin la aplicación de la expresión (54) se infiere una disminución en el error del 3%. Sin embargo se observa que los coeficientes de correlación lineal entre  $\hat{u}(z/h)$  generadas y observadas, que se presentan en la Figura 22, sufren una leve disminución.

Por otra parte, en la Tabla XVII se muestran los errores medios absoluto y relativo porcentual discriminados por intervalos de estabilidad atmosférica.

TABLA XVI

Errores absoluto y relativo porcentual medios, diferenciados por altura, correspondientes a la aplicación de la variación de la velocidad de fricción en la capa atmosférica de transición estable, a un bosque de acacias.

z/h	1.231	1.567	2.084	2.834	Total
$\overline{\Delta}$ (m/s)	0.09	0.03	-0.10	-0.14	-0.01
$ \overline{\Delta} $ (m/s)	0.09	0.07	0.17	0.25	0.13
$\overline{\varepsilon}$ (%)	4.73	0.91	-3.09	-3.65	0.36
$ \overline{\varepsilon} $ (%)	4.73	2.81	5.01	6.35	4.42
Nº de velocidades generadas.	30	30	30	11	101

que se produce una subestimación de las velocidades para los casos de  $z'/L \leq 0.1$  y  $z'/L \geq 1$ , siendo  $z'$  el nivel de medición de los flujos turbulentos verticales dentro de la capa de transición, mientras que para los otros rangos se produce una sobreestimación. Asimismo, es evidente el aumento del error con el incremento de la estabilidad atmosférica.

En la Tabla XVIII se presentan los errores que se producen en la generación de los perfiles verticales de velocidad media del viento, diferenciados por intervalos del número de Reynolds friccional ( $Re_f$ ). En esta Tabla, se observa que el mode-

TABLA XVII

Errores absoluto y relativo porcentual medios, para diferentes rangos de estabilidad atmosférica, ( $z/L$ ), pertenecientes a la aplicación de las expresiones de la variación de la velocidad de fricción en la capa atmosférica de transición, con estratificación térmica estable.

z/L	$\overline{\Delta}$ (m/s)	$ \overline{\Delta} $ (m/s)	$\overline{\varepsilon}$ (%)	$ \overline{\varepsilon} $ (%)	Nº de experimentos
$\leq 0.100$	-0.02	0.13	-0.26	4.04	11
(0.100, 0.500]	0.00	0.10	0.50	3.85	12
(0.500, 1.000]	0.04	0.16	2.38	6.15	3
$> 1.000$	-0.05	0.18	-0.38	7.09	4

TABLA XVIII

Errores absoluto y relativo porcentual medios, discriminados por intervalos de  $Re_f$ , correspondientes a la verificación de la variación de la velocidad de fricción en la capa atmosférica de transición con estratificación térmica estable.

$Re_f \times 10^{-5}$	$\bar{\Delta}$ (m/s)	$ \bar{\Delta} $ (m/s)	$\bar{\varepsilon}$ (%)	$ \bar{\varepsilon} $ (%)	Nº de ex- perimentos
$\leq 2.3$	-0.05	0.13	-0.75	5.87	7
(2.3,5.7]	0.01	0.14	1.08	4.42	19
$> 5.7$	-0.06	0.09	-1.09	2.31	4

lo sobreestima en el rango de  $2.3 \times 10^5 < Re_f$  y  $5.7 \times 10^5 \gg Re_f$ , mientras que subestima las velocidades para los demás  $Re_f$ . La consideración de los valores absolutos de los errores conduce a verificar una disminución de los mismos con el aumento de  $Re_f$ .

### 3.4.- Discusión

El perfil vertical de la velocidad media del viento en una capa atmosférica de transición estratificada neutralmente, responde, según el modelo propuesto, a la altura de la vegetación y a su estructura. La velocidad media del viento está marcadamente atenuada por la acción de la superficie de arrastre que conforma la vegetación, que está representada en el valor máximo del perfil adimensional, y por lo tanto el gradiente vertical de la velocidad media del viento determinado en el tope de la cobertura vegetal. Examinando la expresión (33), se observa que esta variación máxima depende del coeficiente de arrastre a ese nivel, mostrando que para los valores mayores de este parámetro la variación será menor. Esto significa que cuando existe un mayor grado de fricción se produce mayor turbulencia mecánica en el aire, y por lo tanto existe una tendencia a la homogeneización vertical de la atmósfera, produciéndose una disminución en el gradiente de la velocidad.

El coeficiente de arrastre de la atmósfera en el tope de la vegetación está vinculado con la densidad de la plantación adyacente, ya que una cobertura vegetal más densa producirá una mayor atenuación de la velocidad media del viento en su tope, con-

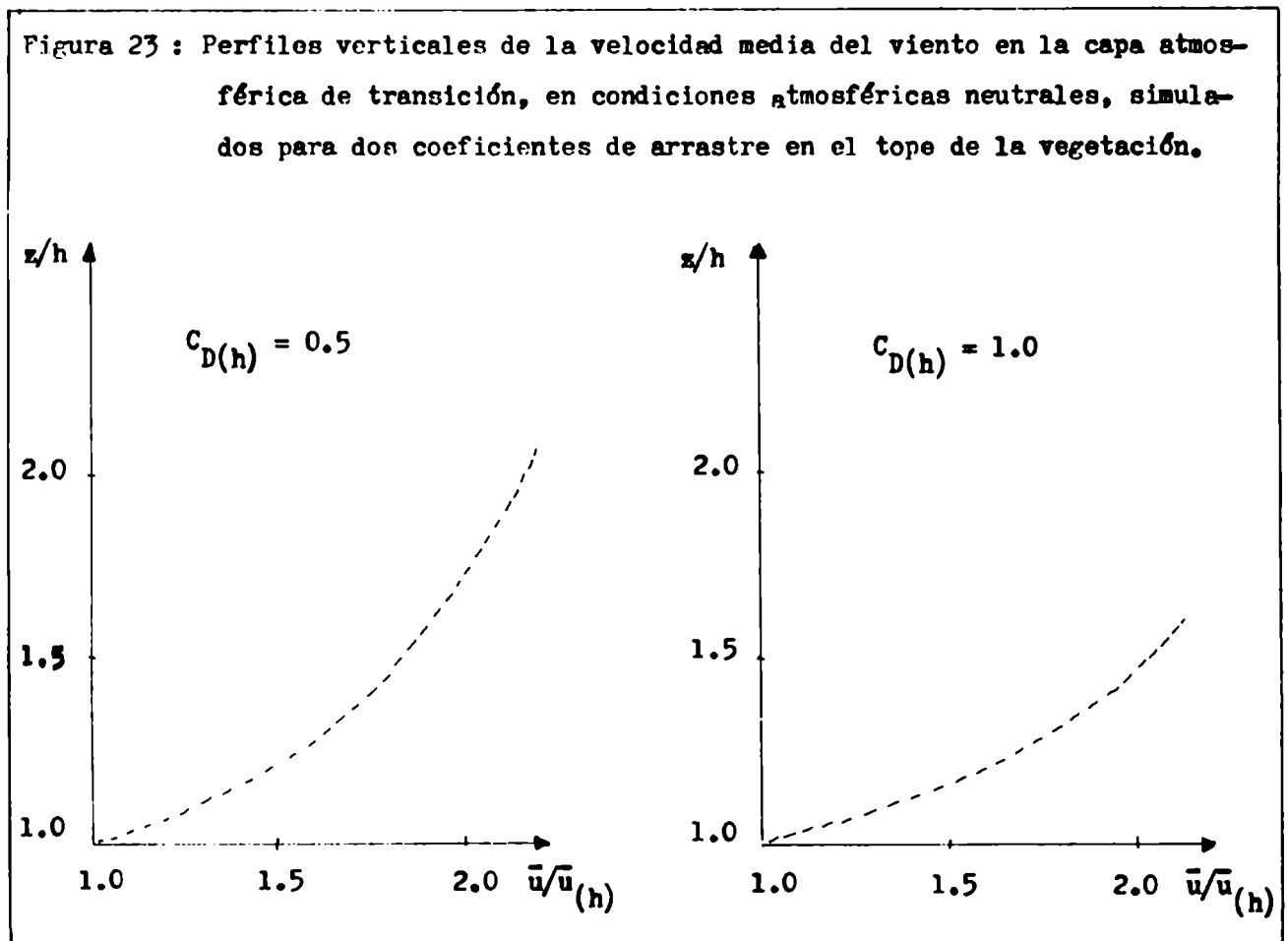
duciendo de esta manera a un aumento del coeficiente de arrastre atmosférico en dicho nivel.

Por encima de la cobertura vegetal, la variación vertical de la velocidad, que es regulada por el flujo turbulento de la cantidad de movimiento, disminuye abruptamente, siendo mayor al aumentar la velocidad de fricción.

En la parte superior de la capa atmosférica de transición la disminución del gradiente vertical de la velocidad se hace más suave, siendo inversamente proporcional a la altura, respondiendo el perfil vertical de la velocidad media del viento a una ley logarítmica.

En la Figura 23 se presentan dos ejemplos de perfiles verticales de la velocidad media del viento, simulados para coeficientes de arrastre de 1 y 0.5, que justifiquen lo expuesto anteriormente.

El significado que se desprende de las expresiones que integran el modelo, (coincidente con el comportamiento del perfil vertical de la velocidad media del viento esperado en una capa atmosférica de transición), conjuntamente con los resultados obtenidos en la comparación del modelo con las experiencias de campo y de laboratorio, permite establecer que el modelo representa bastante bien la estructura verti-





cal de la velocidad media del viento en la capa.

También, corresponde señalar que, a pesar del aumento del error producido por el modelo con el incremento del coeficiente de arrastre, la aplicación de las expresiones describe con buena aproximación la velocidad media del viento para distintos tipos de vegetación, con variadas densidades de plantación y a diferentes distancias del límite de la cobertura vegetal.

Por otra parte, cabe destacar que la aplicación del modelo en la generación de un perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, con una estratificación térmica neutral, posee la simplicidad de utilizar sólo dos datos representativos de la atmósfera ( $\bar{u}_{(h)}$  y  $u_{zo}$ , o dos velocidades medias del viento a diferentes niveles dentro de la capa), y como parámetro representativo de la vegetación, su altura media.

En una capa de transición, desarrollada en una atmósfera estratificada inestablemente, las expresiones destinadas al cálculo del perfil vertical de la velocidad media del viento no posee un marcado apartamiento del correspondiente a condiciones neutrales. En su aplicación a experiencias de campo y sus resultados, se comprueba que el modelo es adaptable sin modificaciones a una atmósfera inestable. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el perfil generado utilizando dos niveles de medición de la velocidad media del viento, con las expresiones (38) y (39), sobreestima levemente los observados.

Este comportamiento del modelo puede deberse a que la variación vertical de la velocidad media del viento en condiciones atmosféricas inestables es más suave que para las neutrales. Esto puede explicarse si se considera que la estratificación térmica inestable produce un mayor transporte turbulento vertical, el que tiende a homogeneizar verticalmente la atmósfera, conduciendo a velocidades menores que las esperadas para una estratificación térmica neutral.

Por otra parte, es de destacar que los errores producidos en la aplicación del modelo desarrollado para una atmósfera con estratificación térmica inestable son del mismo orden de los obtenidos en condiciones térmicas neutrales.

Asimismo, en estratificaciones térmicas inestables, las expresiones halladas para la variación vertical de la velocidad de fricción en la capa atmosférica de transición, muestran su dependencia de la estabilidad atmosférica dentro de la capa y del coeficiente de arrastre del tope de la cobertura referido a un nivel dentro de la capa atmosférica de transición. También, se observa que la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes siempre es menor que la correspondiente a la región de transición, siendo mayor la disminución cuando aumenta el grado de inestabilidad. Este hecho responde a la disminución resultante de la ausencia de una superficie de

arrastre en el medio donde se desplaza el fluido y al alejamiento de la misma con la altura, ya que ésta es una fuente de turbulencia mecánica.

Por otra parte, examinando las expresiones (45), (46) y (47) se comprueba que la variación vertical de la velocidad de fricción en condiciones atmosféricas inestables, entre un nivel dentro de la capa atmosférica de transición y la capa de flujos constantes será menor cuando el coeficiente de arrastre correspondiente al tope de la vegetación referido a aquel nivel, sea mayor, ya que a un grado friccional mayor le corresponde una tendencia a homogeneizar verticalmente la atmósfera.

La aplicación de las expresiones destinadas a encontrar la variación de la velocidad de fricción muestra que el modelo desarrollado para obtener el perfil vertical de la velocidad del viento en la capa atmosférica de transición se adapta bien a las condiciones reales. Por otra parte, se encuentra que ese modelo puede ser utilizado, con la observación del viento en un nivel y la de las tensiones de corte dentro de la capa atmosférica de transición, sin que se modifique mayormente el error del perfil generado. Sin embargo, se debe mencionar que dicho error aumenta levemente con el incremento de la inestabilidad atmosférica.

La descripción del comportamiento del perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición con estratificación térmica estable, dado por las expresiones (48) y (50), muestra que la variación vertical de la velocidad por encima de la vegetación disminuye marcadamente, pero no tanto como para condiciones atmosféricas neutrales e inestables. Esto se explica por el transporte turbulento vertical hacia abajo producido por la estructura térmica estable, que no tiende a la homogeneización de la atmósfera. En la región superior de la capa, la variación vertical de la velocidad comienza a aumentar con la altura, debido a un efecto similar, mientras que en condiciones neutrales e inestables permanece constante.

La dependencia con el coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación es la misma que para las otras condiciones de estratificación térmica, ya que ella depende principalmente de la superficie de arrastre lindante.

Las aplicaciones realizadas, utilizando el modelo desarrollado para estratificaciones térmicas estables, a experiencias de campo muestran un buen ajuste a las condiciones reales, a pesar de que los errores son mayores que en los casos neutrales e inestables.

Es posible observar que los errores generados en la aplicación son de subestimación en general, ya que como se encuentra en la Tabla XII en los casos más cerca-

nos a la neutralidad atmosférica el modelo sobreestima las velocidades. Por otra parte, se manifiesta un aumento en los errores con el incremento de la estabilidad de la atmósfera. Asimismo, se verifica un crecimiento para valores mayores del coeficiente de arrastre, sobreestimando las velocidades. También, debe resaltarse que, la subestimación de las velocidades es mayor a niveles superiores. Esto podría explicarse por la posibilidad de que ellos no pertenezcan a la capa atmosférica de transición cuando la estabilidad atmosférica aumenta, ya que en estos casos se espera que el espesor de la capa disminuya debido al menor transporte vertical turbulento hacia alturas mayores.

El modelo desarrollado para la descripción de la variación vertical de la velocidad de fricción entre un nivel dentro de la capa atmosférica de transición y la de flujos constantes, parametriza a la misma a través del número de Reynolds friccional en dicho nivel. La velocidad de fricción correspondiente a la capa de flujos reajustados en condiciones de estabilidad atmosférica podrá ser mayor o menor que la correspondiente a la capa de transición, de acuerdo con el grado de eficiencia turbulenta de la atmósfera.

Examinando la expresión (54) se verifica que para una menor eficiencia turbulenta ( $Re_f$  menores), la velocidad de fricción aumenta con la altura, mientras que es menor cuando  $Re_f$  es mayor. Estas últimas condiciones se asemejan a los casos de inestabilidad atmosférica ya que la turbulencia mecánica inhibe la viscosidad del medio.

La aplicación del modelo destinado a encontrar la velocidad de fricción, en la generación de perfiles de la velocidad media del viento, muestra una buena aproximación al comportamiento real de la velocidad en una atmósfera con estratificación térmica estable. Es preciso destacar la disminución de los errores en las velocidades generadas considerando la variación de la velocidad de fricción, con respecto a los obtenidos por el modelo utilizando dos mediciones de la velocidad media a diferentes niveles. De todos modos, nuevamente se manifiesta el aumento del error con el incremento de la estabilidad atmosférica y de la altura de generación. Para las mayores estabilidades, el modelo subestima levemente las velocidades, mientras que en los niveles superiores la subestimación es más grande.

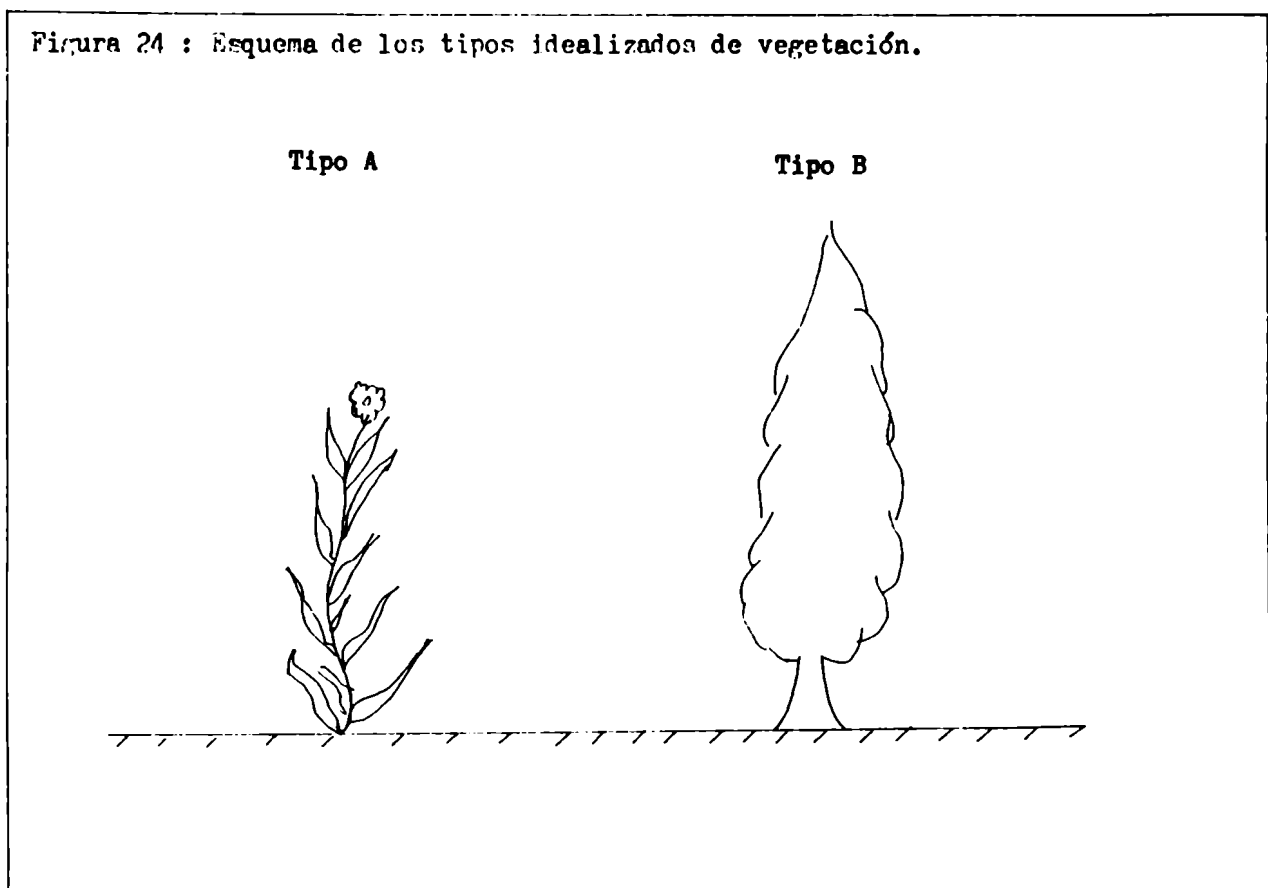
El modelo desarrollado, para las diferentes condiciones de estabilidad atmosférica, permite generar el perfil vertical de la velocidad media del viento, conociendo solamente la velocidad media en el tope de la cobertura vegetal y la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes, o en su defecto la velocidad media del viento en dos niveles dentro de la capa atmosférica de transición, y la altura media de la vegetación. Sin embargo, es necesario destacar que para los casos con es-

Lastratificación térmica estable el modelo genera menores errores si es aplicado con la medición de las tensiones de corte, ya sea en la capa de flujos constantes o en la de transición.

Los errores del modelo desarrollado no superan en promedio el 10 % de la velocidad media del viento real, lo que conjuntamente con los altos coeficientes de correlación lineal obtenidos, sugiere una muy buena aproximación del perfil vertical descrito por las expresiones halladas al existente en una atmósfera real.

#### 4.- VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN LA CAPA ATMOSFERICA INTERNA

De acuerdo con lo expuesto en el punto 2.2.1., se denomina capa atmosférica interna a la porción de aire inmersa entre la vegetación. En ella, el comportamiento de la velocidad media del viento estará influenciado marcadamente por la estructura de la vegetación. Por lo que el modelo que se propone en esta parte del presente estudio idealiza dos tipos de ella. Estos dos tipos de vegetación son los siguientes : TIPO A que presenta plantas con área foliar en toda su estructura vertical, desde muy cerca de su base; y TIPO B que está conformado por plantas con una importante zona inferior sin hojas. En la Figura 24 se muestran esquematizados los dos tipos de coberturas ideales.



La aplicación de la hipótesis de la semejanza para obtener la variación vertical de la velocidad media del viento, dentro de la capa atmosférica interna para todo tipo de cobertura vegetal, puede ser expresada por la siguiente relación, ( de Garrín y Mazzeo, 1985) :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = f(\bar{u}(h), u_{*0}, z, \zeta, \zeta_H) \quad (55)$$

donde  $\zeta$  es el índice de área de arrastre para el nivel  $z$ , y  $\zeta_H$  es el índice de área de arrastre de la vegetación, definidos respectivamente mediante las siguientes formas :

$$\zeta = \int_0^z a(z) \partial z \quad \zeta_H = \int_0^h a(z) \partial z \quad (56)$$

siendo  $a(z)$  la densidad de área de arrastre en el nivel  $z$ , la que está dada por el área de la superficie vegetal normal al flujo por unidad de volumen a esa altura.

Aplicando el análisis dimensional clásico a la expresión (55), se obtiene la siguiente relación :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \frac{u_{*0}}{k \cdot z} \phi_{I(C_{D(h)}, \zeta / \zeta_H)} \quad (57)$$

donde  $\phi_I$  es el perfil adimensional de la velocidad media del viento para la capa atmosférica interna.

La integración de la expresión (57) permite obtener el perfil vertical de la velocidad media del viento, dado por la siguiente relación :

$$\bar{u}(z) = \bar{u}(h) - \frac{u_{*0}}{k} \int_z^h \frac{1}{z} \phi_{I(C_{D(h)}, \zeta / \zeta_H)} \partial z \quad (58)$$

De la relación (58) se desprende la necesidad de determinar la forma funcional

4.1.- Forma funcional de  $\phi_I$

La forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento debe determinarse mediante datos experimentales. A tal fin, en este estudio se utilizan datos observacionales de cultivos artificiales y reales, tanto de TIPO A como del B, los que se detallan en la Tabla XIX. Los valores observacionales se encuentran en la TABLA A1-5 del Apéndice 1.

Cada experiencia está integrada por mediciones de la velocidad media del viento a varios niveles en las capas atmosféricas de transición e interna, así como por la distribución vertical de la densidad de Área de arrastre. En ninguno de los experimentos se realizaron mediciones de las tensiones de corte en la capa de flujo

Tabla XIX

Especificaciones de las experiencias utilizadas en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional,  $(\phi_I)$ , de la velocidad media del viento en la capa atmosférica interna.

Descripción	Tipo	Nº de experimentos	h (cm)	$z_H$	Referencia
Cultivo artificial, Varillas.	A	1	7.0	0.29	Seginer y Mulhearn, 1978.
Cultivo artificial, Varillas.	A	1	7.0	0.58	Seginer y Mulhearn, 1978.
Cultivo artificial, Varillas.	A	2	14.3	1.43	Thom, 1971.
Cultivo artificial, Varillas.	A	2	19.0	1.58	Seginer y otros, 1976.
Tripo.	A	1	140.0	3.82	Kondo y Akashi, 1976.
Cultivo artificial, Arboles.	B	4	18.0	0.68	Sadeh y otros, 1970.
Cultivo artificial, Arboles.	B	3	18.0	1.07	Meroney, 1968.
Alerces.	B	4	1040.0	13.87	Allen, 1968.

reajustados, por lo que a partir de los datos correspondientes a la capa de transición, utilizando las expresiones del perfil vertical de la velocidad media en dicha capa, se determinan los valores de  $u_{*0}$  y  $\bar{u}(h)$  ( si ésta no es observada ), mediante la solución de un sistema de ecuaciones, (ANEXO). Una vez hallados estos dos parámetros característicos de cada experiencia, se obtienen los argumentos de semejanza de la expresión (57),  $C_{D(h)}$  y  $(\bar{z} / \bar{z}_H)$ .

Los valores empíricos del perfil adimensional se estiman mediante el método utilizado para la determinación de los perfiles adimensionales correspondientes a la capa de transición, calculando la cortante vertical de la velocidad media del viento por diferencias finitas, (ANEXO).

Si se comparan las expresiones (39) y (57), se comprueba que el valor de  $\phi_I$  en el tope de la vegetación, o sea cuando  $z/h = 1$  y  $\bar{z} / \bar{z}_H = 1$ , debe coincidir con  $\phi'_I(1, C_{D(h)})$ , por lo tanto, considerando lo expuesto se establece la siguiente relación :

$$\phi_I(1, C_{D(h)}) = \begin{cases} 1.11 + 0.496 C_{D(h)}^{-0.5} & \text{si } C_{D(h)} \geq 0.028 \\ 4.086 & \text{si } C_{D(h)} \leq 0.028 \end{cases} \quad (59)$$

De acuerdo con la expresión (59), es posible normalizar los valores empíricos del perfil adimensional  $\phi_I$ , obtenidos previamente.

En la Figura 25 se encuentran graficados los perfiles adimensionales normalizados en función del índice de área de arrastre normalizado, para los 18 experimentos utilizados. La Figura permite comprobar que todos los perfiles disminuyen abruptamente en forma potencial en los niveles más altos, mientras que más abajo se presenta una variación lineal más suave, aumentando en los niveles inferiores más marcadamente.

La comparación de los perfiles correspondientes a los diferentes tipos de vegetación, muestra que en los casos de TIPO B, el perfil adquiere valores negativos, lo que explica la presencia en este tipo de plantas, de un máximo y de un mínimo de la velocidad, en la zona interna de baja densidad de superficie de arrastre, al formarse un " entubamiento " del aire en esa región de la capa.

De los gráficos incluidos en la Figura 25 se pueden obtener las siguientes expresiones generalizadas, para el perfil adimensional normalizado:

Figura 25 : Perfiles adimensionales normalizados, de la velocidad media del viento en la capa atmosférica interna, para diferentes experimentos, en función del índice de área de arrastre normalizado. ( Los puntos representan los valores empíricos ) .

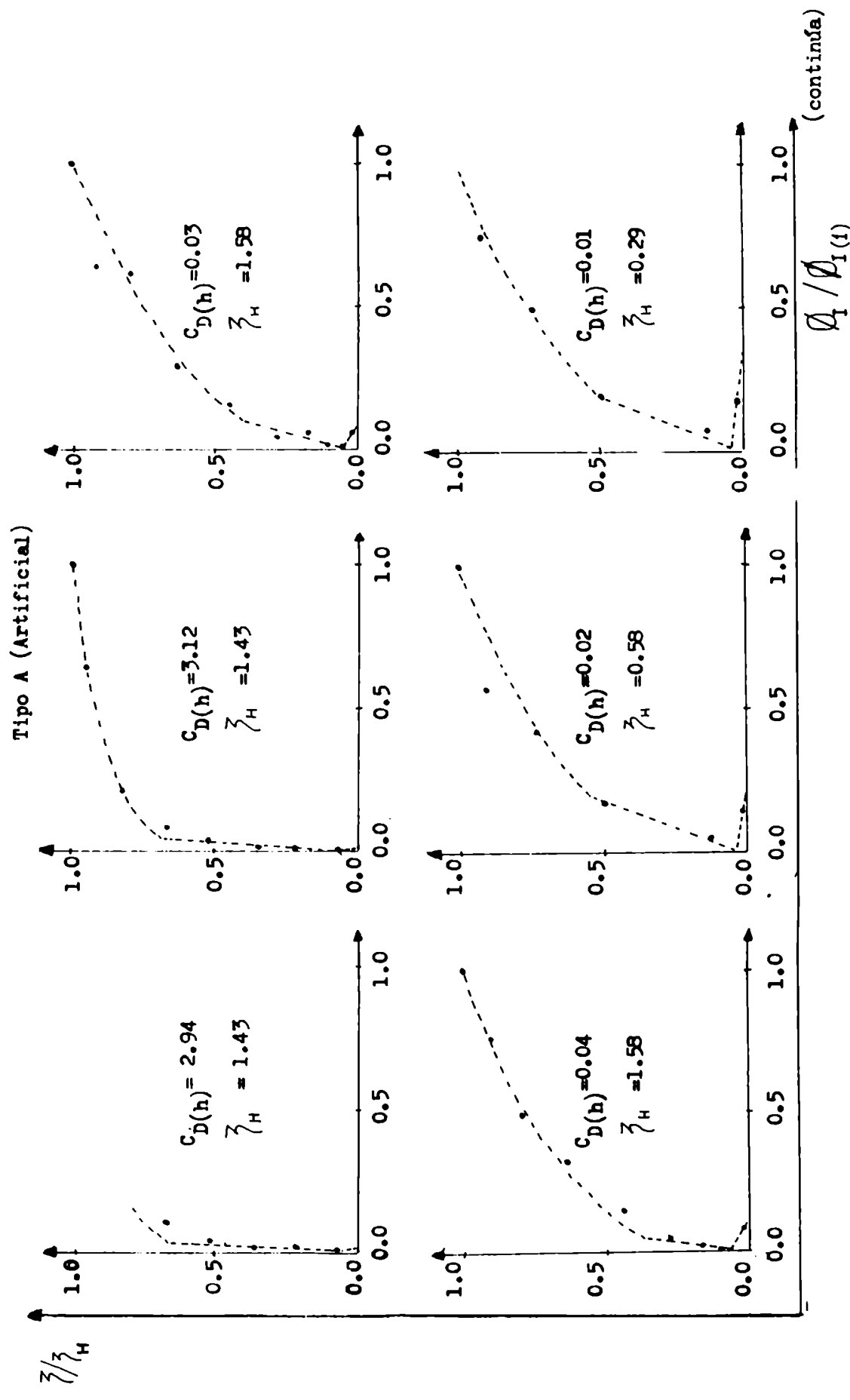




Figura 25 : (continuación) .

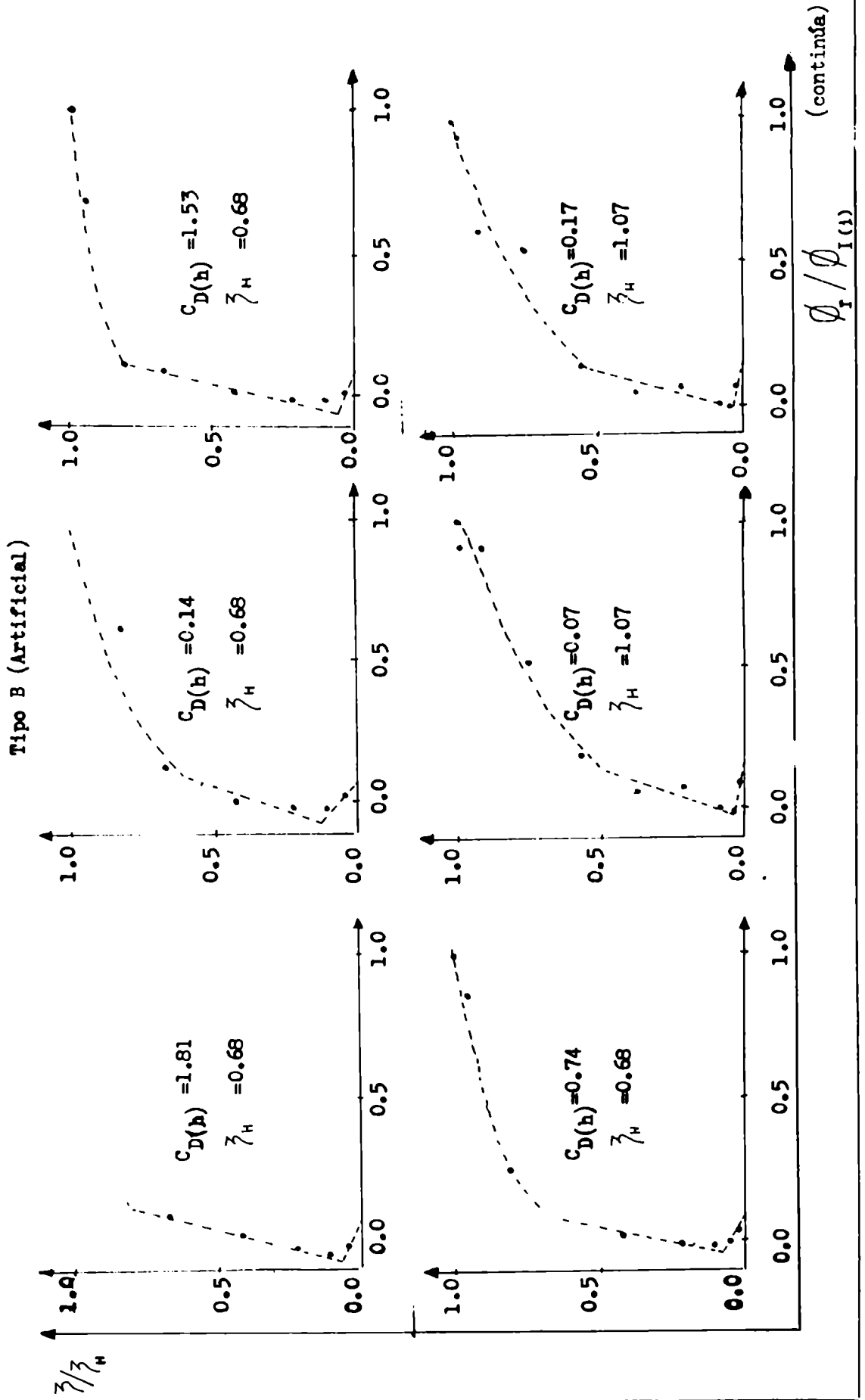
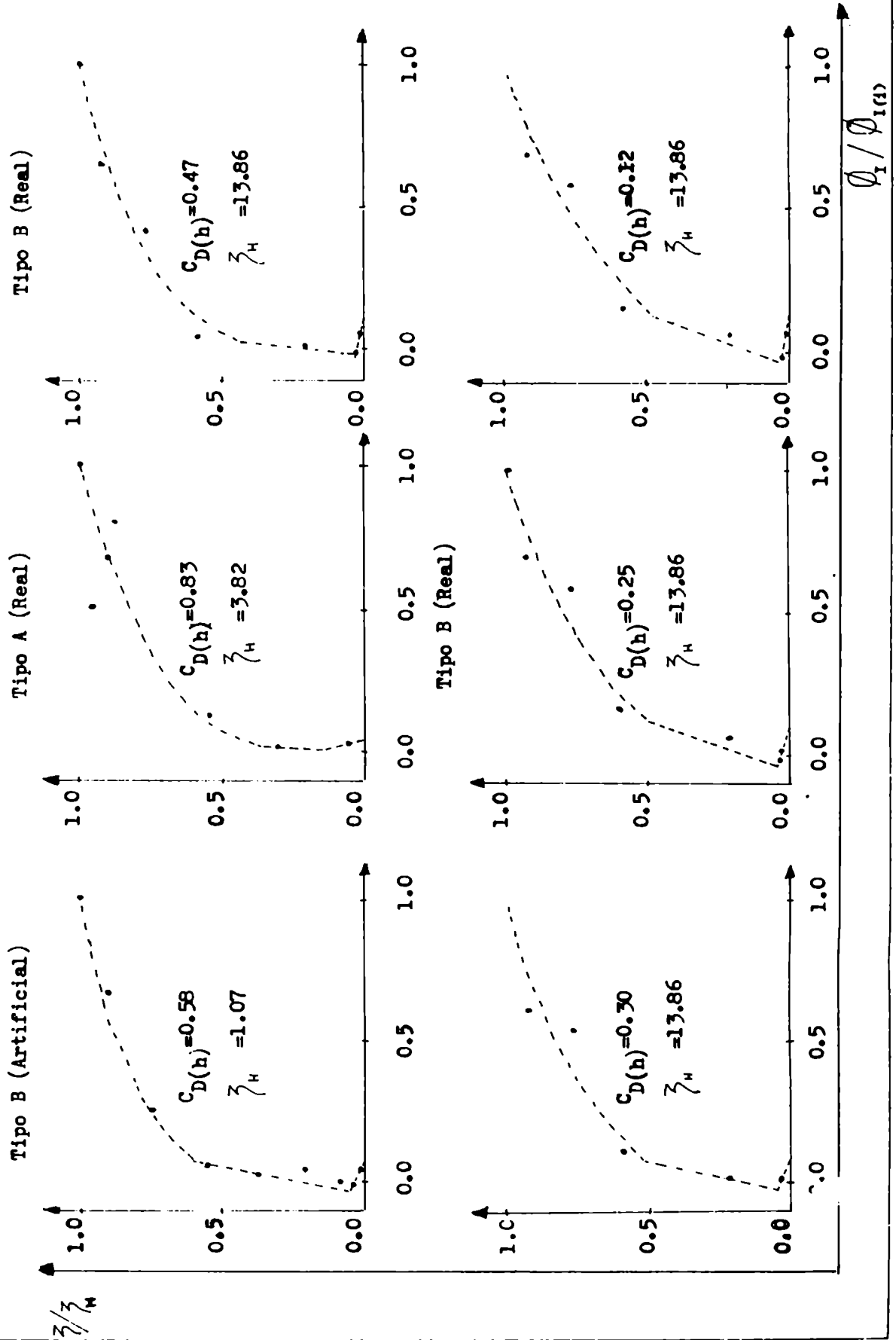


Figura 25 : (continuación).



- TIPO A :

$$\frac{\phi_{I(c_{D(h)}, \bar{z} / \bar{z}_H)}}{\phi_{I(c_{D(h)}, 1)}} = \begin{cases} \left[ \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} \right]^{b_A} & \text{si } c_A \leq \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} \leq 1 \\ d_A \cdot \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} & \text{si } p_A \leq \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} \leq c_A \\ -n_A \cdot \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} + t_A & \text{si } 0 < \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} \leq p_A \end{cases} \quad (60)$$

- TIPO B :

$$\frac{\phi_{I(c_{D(h)}, \bar{z} / \bar{z}_H)}}{\phi_{I(c_{D(h)}, 1)}} = \begin{cases} \left[ \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} \right]^{b_B} & \text{si } c_B \leq \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} \leq 1 \\ d_B \cdot \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} - m_B & \text{si } p_B \leq \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} \leq c_B \\ -n_B \cdot \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} + t_B & \text{si } 0 < \frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} \leq p_B \end{cases} \quad (61)$$

Los exponentes, las pendientes, las ordenadas al origen y los niveles de subdivisión, determinados para cada experimento mediante el método de ajuste por cuadrados mínimos, varían con el coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación, y sus valores se encuentran graficados en la Figura 26. En esta Figura se observa que existe una clara dependencia, la que puede expresarse por el siguiente grupo de relaciones, determinadas por el método de ajuste por cuadrados mínimos :

- TIPO A :

$$b_A = \begin{cases} 4.26 c_{D(h)}^{0.58} & \text{si } c_{D(h)} \geq 0.549 \\ 3.06 - 0.076 c_{D(h)}^{-0.5} & \text{si } c_{D(h)} \leq 0.549 \end{cases}$$

$$d_A = \exp (-3.02 + 0.247 C_{D(h)}^{-0.5})$$

$$c_A = (d_A)^{1 / (b_A - 1)}$$

$$n_A = \begin{cases} 0.126 C_{D(h)}^{-0.82} & \text{si } C_{D(h)} \geq 0.028 \\ -14.93 + 2.89 C_{D(h)}^{-0.5} & \text{si } C_{D(h)} \leq 0.028 \end{cases} \quad (62)$$

$$t_A = \exp (0.414 C_{D(h)}^{-0.5} - 4.5)$$

$$p_A = \frac{t_A}{n_A + d_A}$$

- TIPO B :

$$b_B = \begin{cases} 8.05 \cdot C_{D(h)}^{0.89} & \text{si } C_{D(h)} \geq 0.476 \\ 5.17 \cdot C_{D(h)}^{0.24} & \text{si } C_{D(h)} \leq 0.476 \end{cases}$$

$$d_B = \exp (0.218 C_{D(h)}^{-0.5} - 1.79)$$

$$c_B = \begin{cases} \exp (-0.495 C_{D(h)}^{-0.5} + 0.193) & \text{si } C_{D(h)} \geq 0.260 \\ \exp (-0.481 C_{D(h)}^{-0.5} - 0.620) & \text{si } C_{D(h)} \leq 0.260 \end{cases} \quad (63)$$

$$m_B = d_B \cdot c_B - (c_B)^{b_B}$$

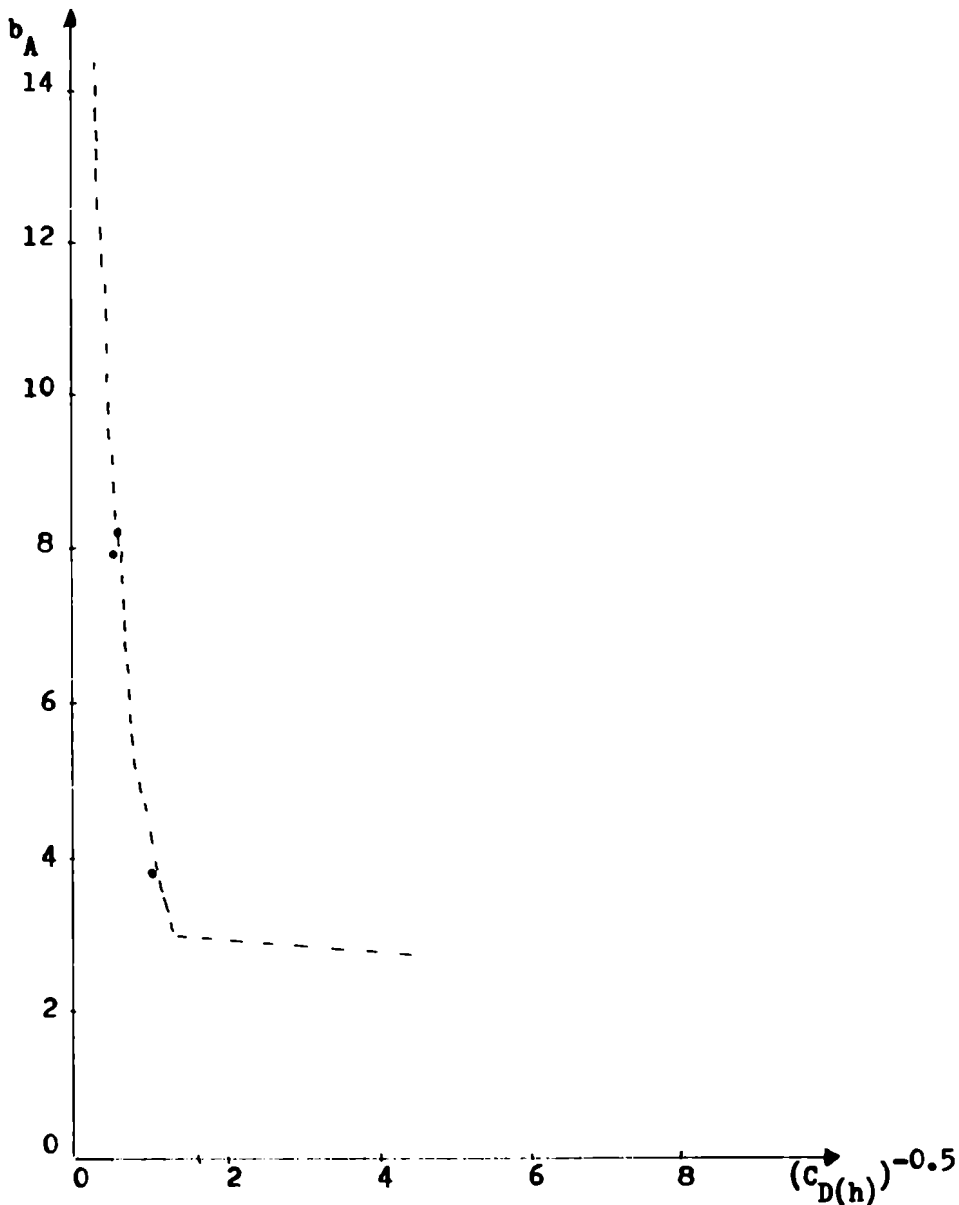
$$n_B = \exp (0.235 C_{D(h)}^{-0.5} + 0.309)$$

$$t_B = \exp (0.224 c_{D(h)}^{-0.5} - 2.910 )$$

(63)

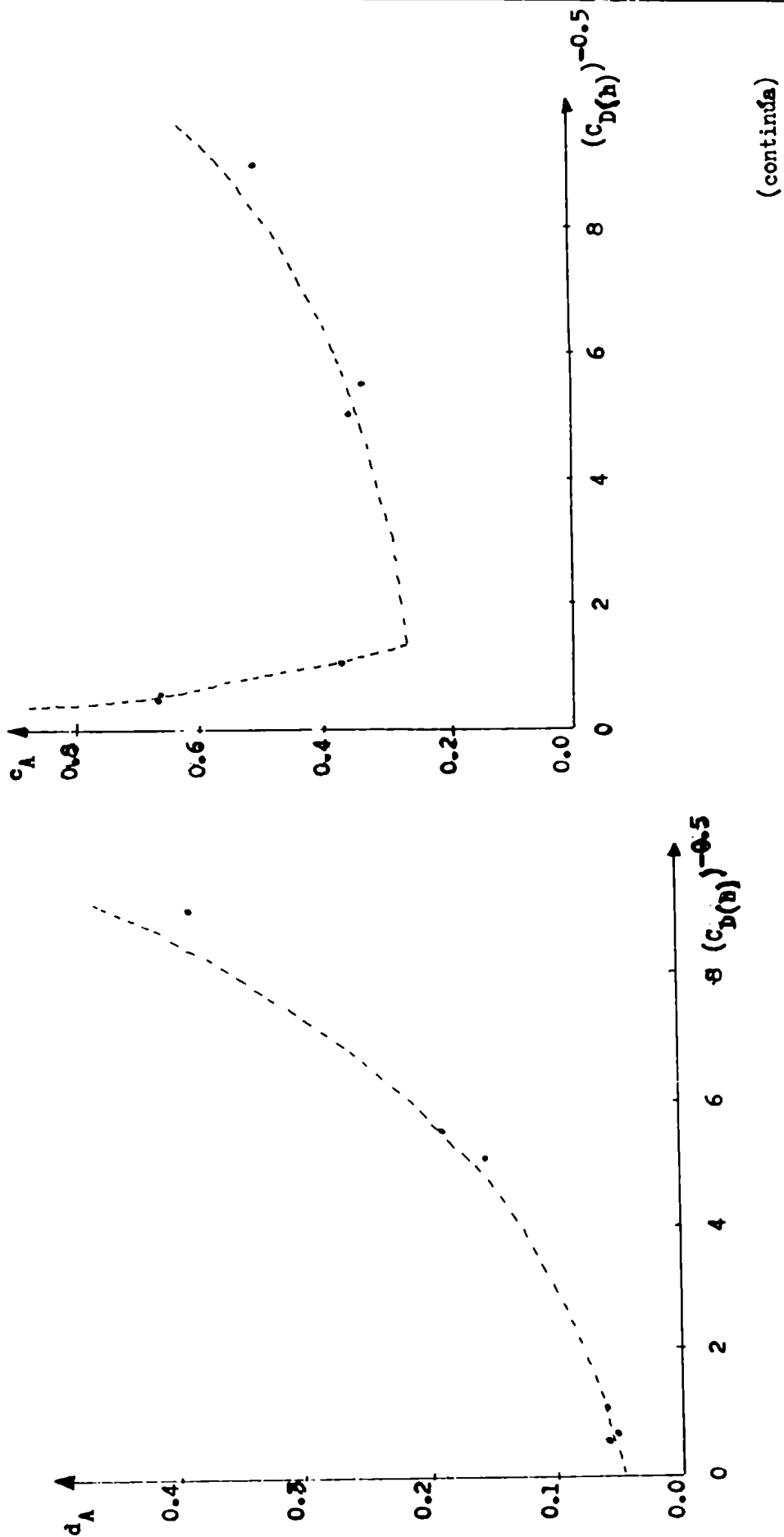
$$p_B = \frac{m_B + t_B}{n_B + d_B}$$

Figura 26 : Parámetros del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica interna, en función del coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación. ( Los puntos representan los valores empíricos ) .



(continúa)

Figura 26 : (continuación) .



(continúa)

Figura 26 : (continuación) •

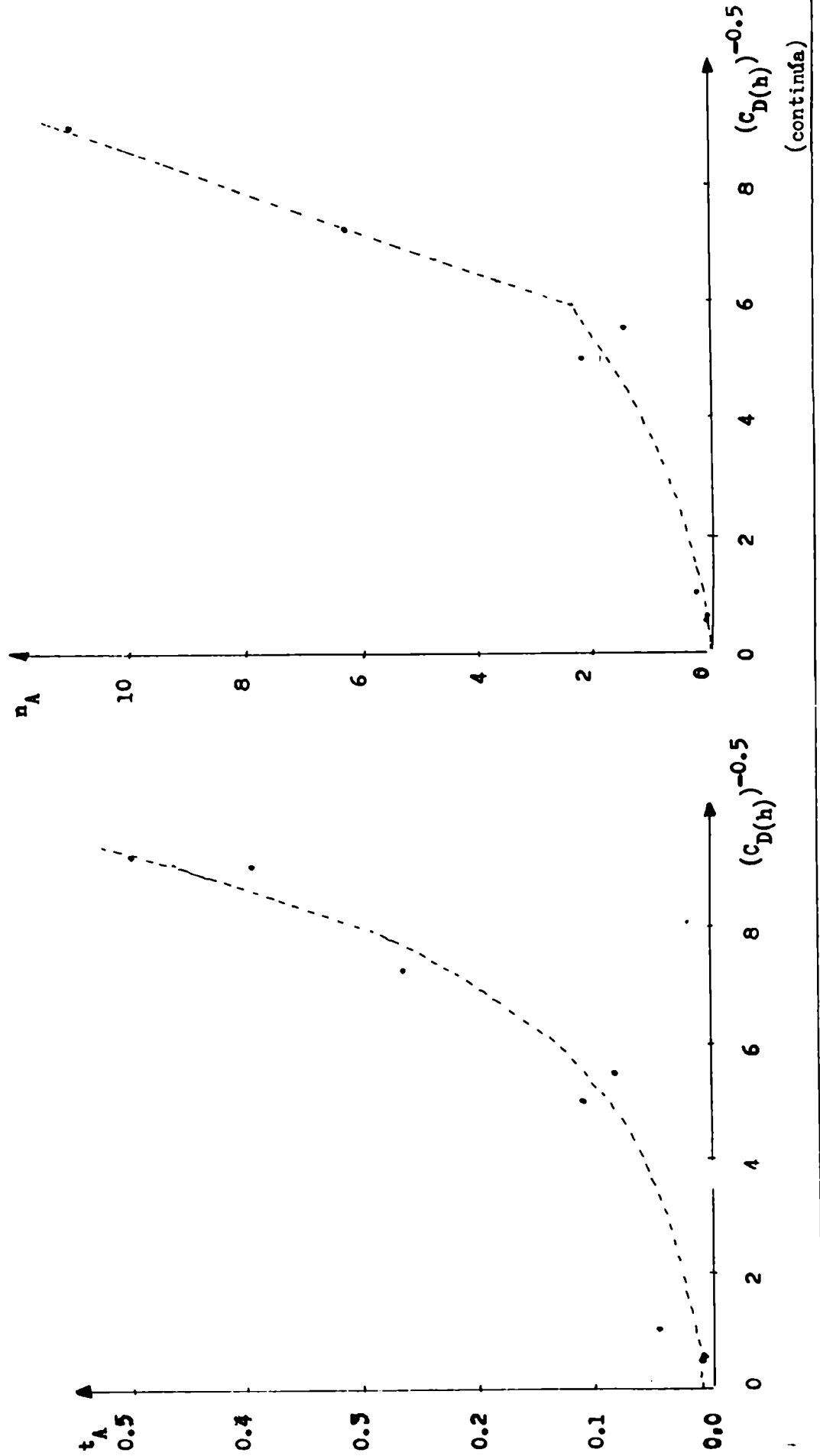
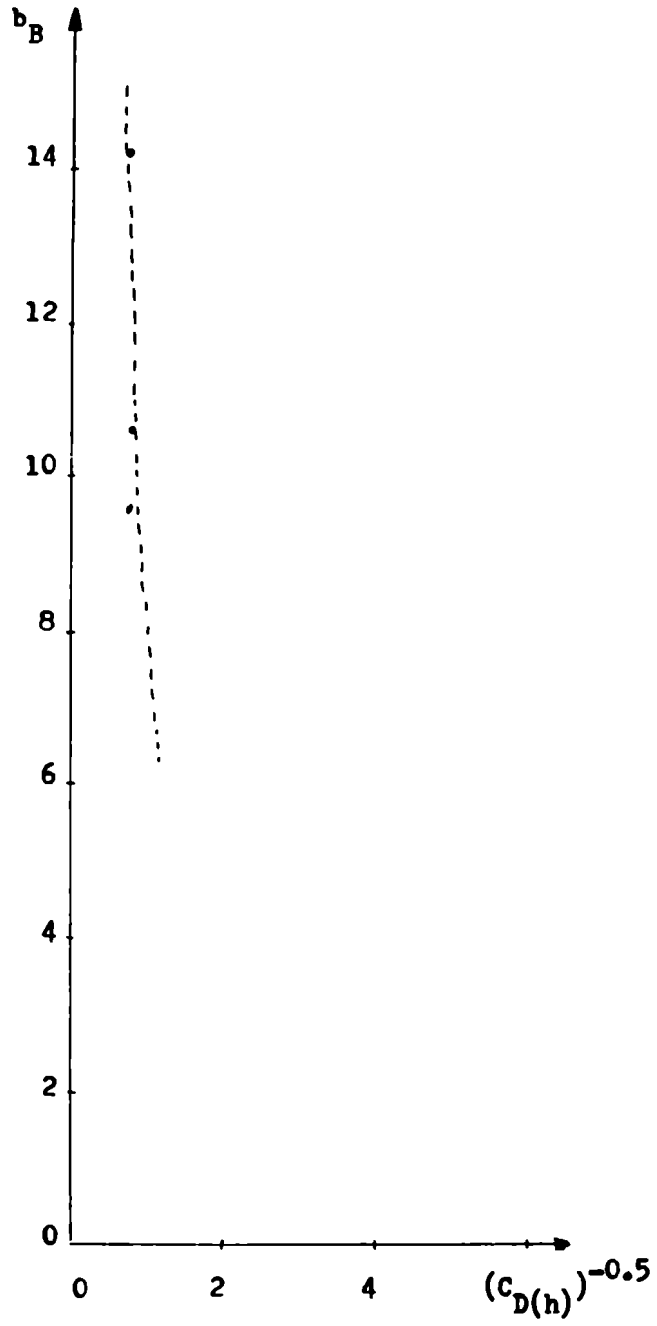


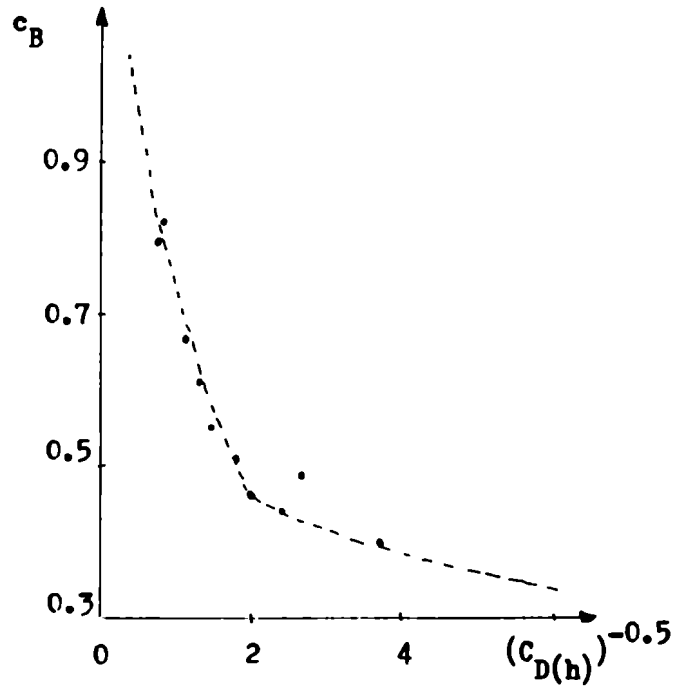
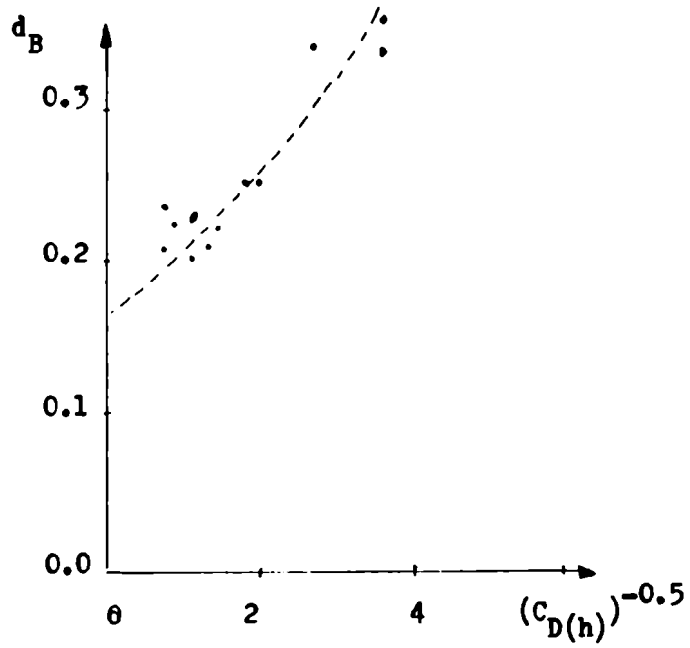
Figura 26 : (continuación) .



(continúa)

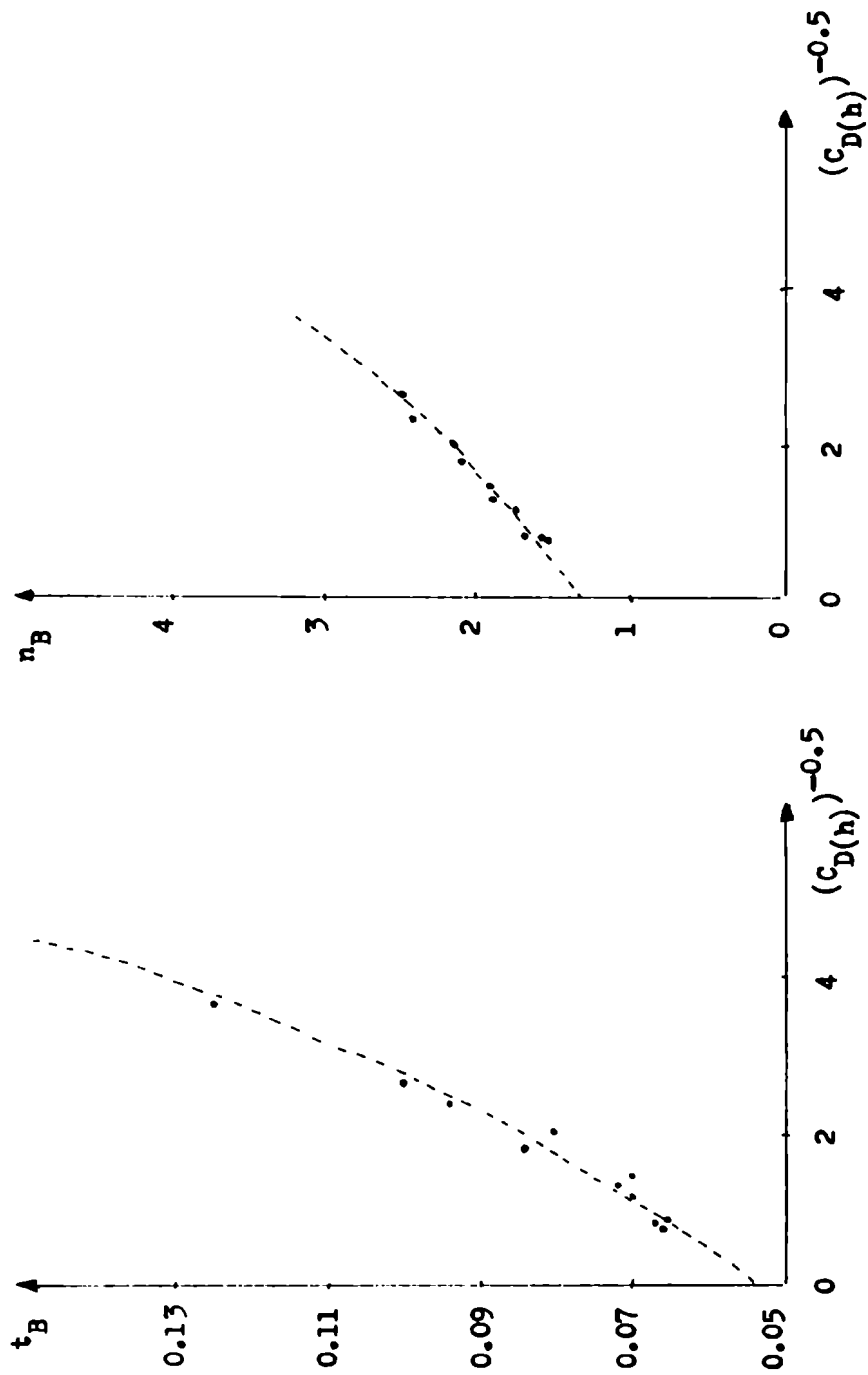


Figura 26 : (continuación) .



(continúa)

Figura 26 : (continuación) •



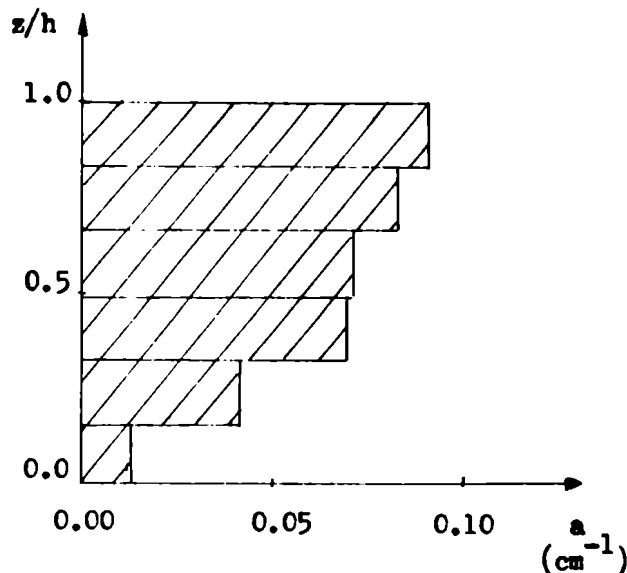
Con este grupo de expresiones, y conociendo  $C_{D(h)}$  y la distribución vertical de la densidad de área de arrastre de la vegetación, es posible generar el perfil vertical de la velocidad media del viento, mediante la utilización de la expresión (58). Debido a que la distribución vertical de la densidad de área de arrastre se determina en forma discreta, la integral de la relación (58), puede ser resuelta por el método de integración trapezoidal.

#### 4.2.- Aplicación del modelo a datos experimentales

##### 4.2.1.- Tipo de vegetación A

El modelo Tipo A es aplicado a una zona cultivada con habas, (Thom, 1971), de altura media  $h = 118$  cm y  $\sum_{H} = 7.374$ . En la Figura 27 se muestra la distribución vertical de la densidad de área de arrastre del cultivo de habas. Esta experiencia está integrada por cuatro experimentos diferentes, con mediciones de velocidad media del viento en las capas de transición e interna, en TABLA A3-7, Apéndice 3. El coeficiente de arrastre correspondiente al tope de la vegetación, es determinado a través de la velocidad media medida a dos niveles en la capa de transición. Por medio de las expresiones (58), (59), (60) y (62) se generan los perfiles de la velocidad media del viento para cada experimento.

Figura 27 : Distribución vertical de la densidad de área de arrastre de un cultivo de habas. ( Thom, 1971) .



En la Tabla XX se presentan los valores de los diferentes parámetros, para cada perfil, y los errores medios absoluto y relativo porcentual. En la Figura 28 se encuentran graficados los cuatro perfiles generados, y las velocidades medias del viento observadas. Esta Figura demuestra la buena descripción cualitativa del modelo, y los errores de la Tabla XX implican una buena concordancia cuantitativa con los valores observacionales. Sobre un total de 20 datos generados se encuentra un error absoluto medio de 0.026 m/s.

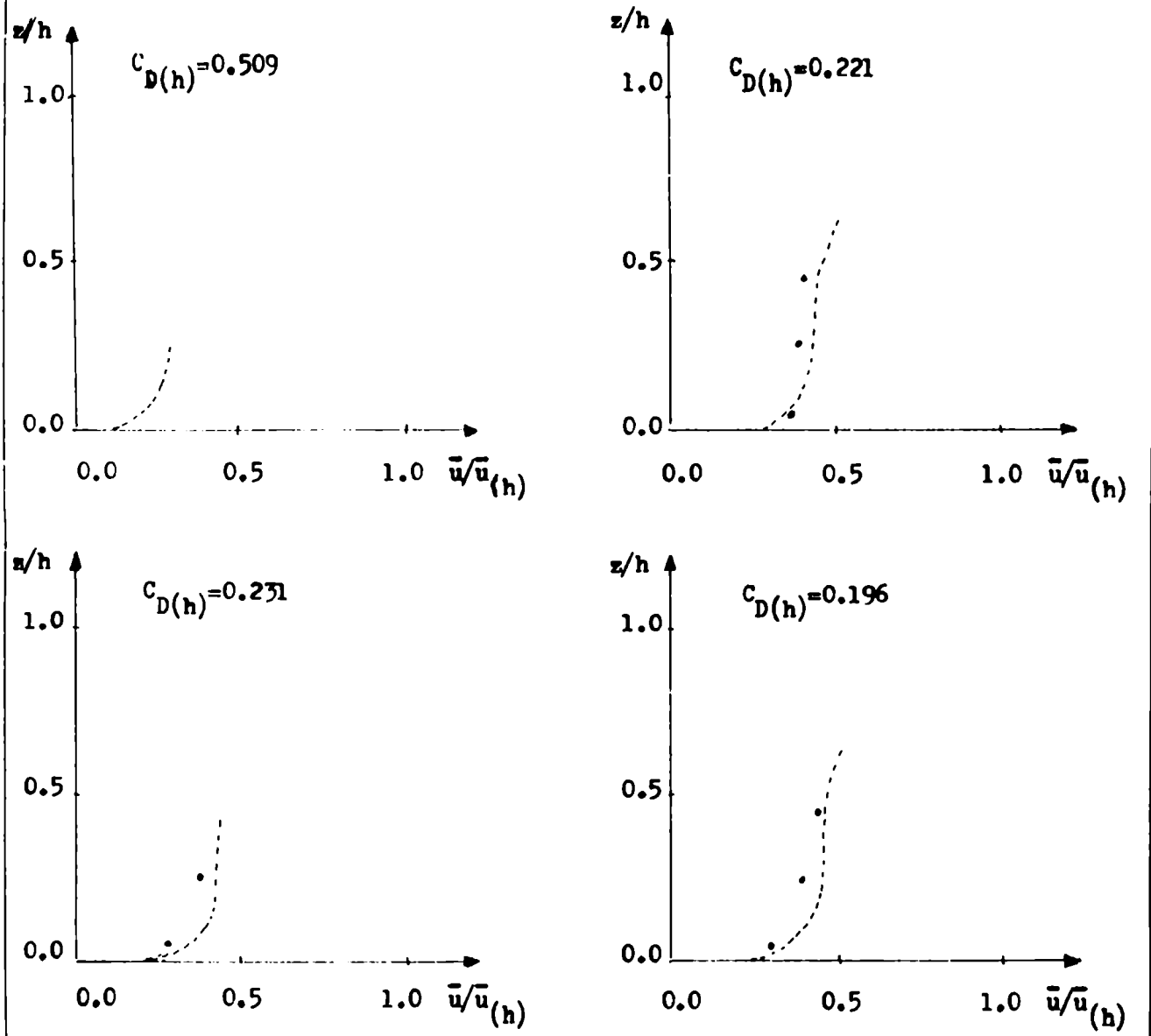
Las velocidades medias dentro de la capa interna en la experiencia fueron medidas con anemómetros de hilo caliente, por lo que los errores de medición son del orden de 0.005 m/s, ( Prandtl, 1934), lo que demuestra que el error derivado de la apli-

TABLA XX

Especificaciones y parámetros de los experimentos utilizados en la aplicación del modelo tipo A, realizados en un cultivo de habas.

Caso Parámetro	C	D	E	F	Medio Total
$\bar{u}(h)$ , (m/s)	0.523	0.600	0.917	1.110	
$u_{\pi 0}$ , (m/s)	0.373	0.281	0.441	0.492	
$C_D(h)$	0.509	0.221	0.231	0.196	
$b_A$	2.95	2.90	2.90	2.89	
$d_A$	0.069	0.082	0.082	0.086	
$c_A$	0.253	0.269	0.267	0.272	
$n_A$	0.219	0.434	0.418	0.480	
$t_A$	0.019	0.027	0.026	0.028	
$p_A$	0.066	0.052	0.053	0.050	
$ \overline{\Delta} $ , (m/s)	0.014	0.013	0.024	0.052	0.026
$\overline{\Delta}$ , (m/s)	-0.001	0.008	0.019	0.013	0.010
$ \overline{\mathcal{E}} $ , (%)	7.9	5.2	7.6	11.8	8.1
$\overline{\mathcal{E}}$ , (%)	1.0	3.6	6.8	6.2	3.9

Figura 28 : Perfiles verticales de la velocidad media del viento generados por el modelo, para la capa atmosférica interna, sobre un cultivo de habas. ( Los puntos representan las velocidades medias observadas ) .



cación del modelo es aceptable.

#### 4.2.2.- Tipo de vegetación B

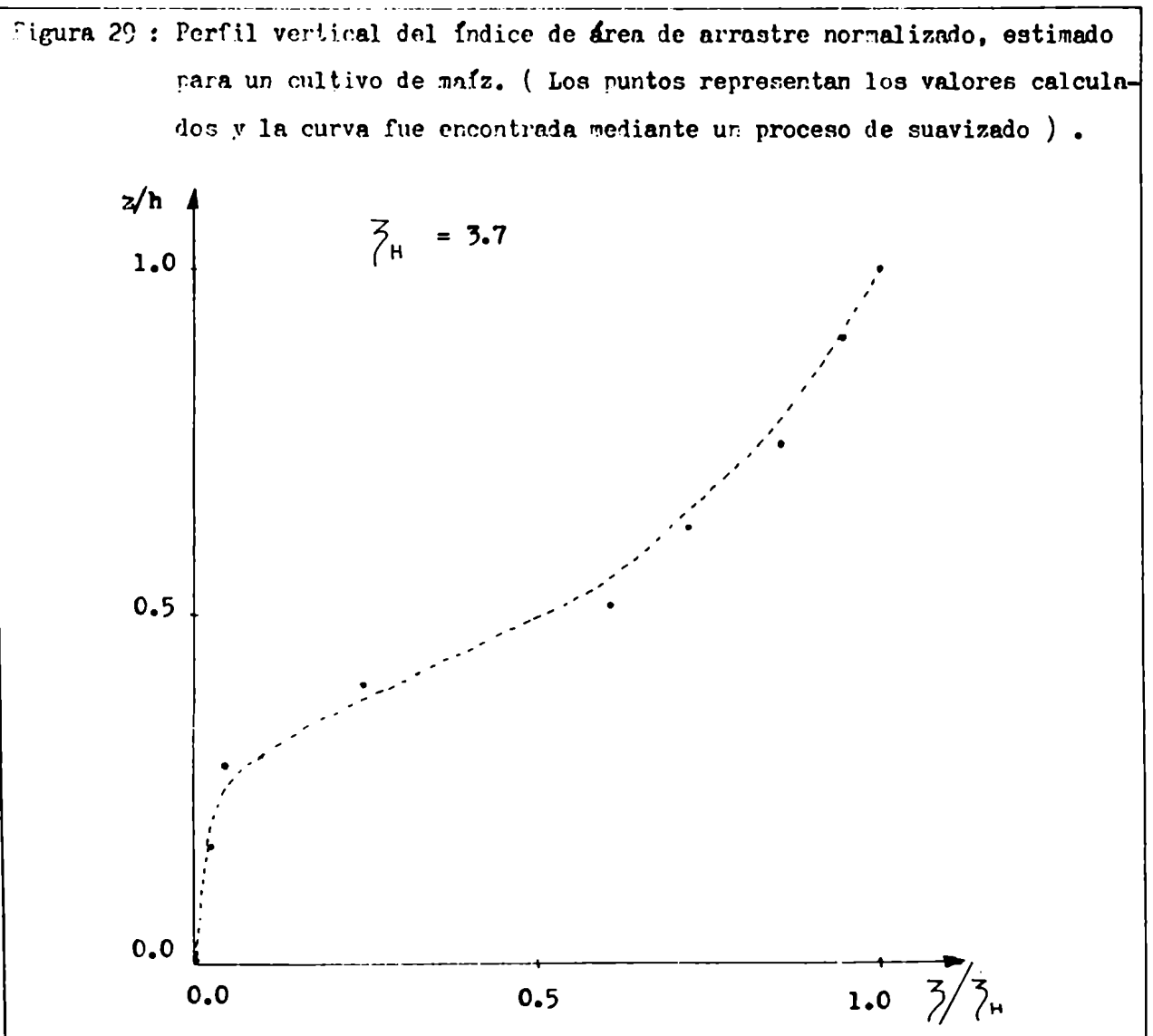
##### 4.2.2.1.- Maíz

El modelo Tipo B es aplicado a un cultivo de maíz, ( Desjardins y otros, 1978) de altura media 260 cm y  $\bar{z}_H = 3.7$  .La experiencia consta de cinco experimentos diferentes, con mediciones de la velocidad media del viento en las capas atmosféricas de transición e interna, cuyos datos observacionales se presentan en la TABLA A3-7 del Apéndice 3 . La velocidad de fricción es estimada por medio de dos

niveles de medición en la capa de transición y sus respectivas velocidades medias. En esta experiencia no existe información sobre la distribución vertical de la densidad de área de arrastre. Debido a esto, se utiliza uno de los experimentos con el objeto de estimar la distribución de  $\bar{z} / \bar{z}_H$ , suponiendo la validez de las expresiones del modelo. El coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación, para este experimento es 0.044. En la Figura 29 se presentan graficados los valores del índice de superficie de arrastre normalizado, obtenidos por la siguiente relación :

$$\frac{\bar{z}}{\bar{z}_H} = \text{Inv} \left( \phi_{I(C_{D(h)}, z/h)} / \phi_{I(C_{D(h)}, 1)} \right) \quad (64)$$

habiéndose determinado el argumento por medio de la expresión (59) y calculando



la constante por diferencias finitas (AMEXC). Los parámetros del perfil adimensional se estiman por medio de las relaciones (63). La función indicada como " Inv " es la función inversa del argumento correspondiente. La curva representada en la Figura 29 es la resultante de un proceso de suavizado de los valores obtenidos. Considerando válida dicha curva se procede a la generación de los perfiles de la velocidad media del viento correspondientes a los otros cuatro experimentos. En la Tabla XXI se sintetizan estos casos, los que se encuentran graficados en la Figura 30. Esta Figura permite observar el buenajuste cualitativo del modelo con los perfiles observados, excepto en el Caso D, en el cual la forma del perfil es bien representada pero resulta menos atenuada de lo esperado. De todos modos, el error medio absoluto sobre 28 datos generados es de 0.09 m/s , si se considera este último caso, disminuyendo a 0.04 m/s si no se lo toma en cuenta.

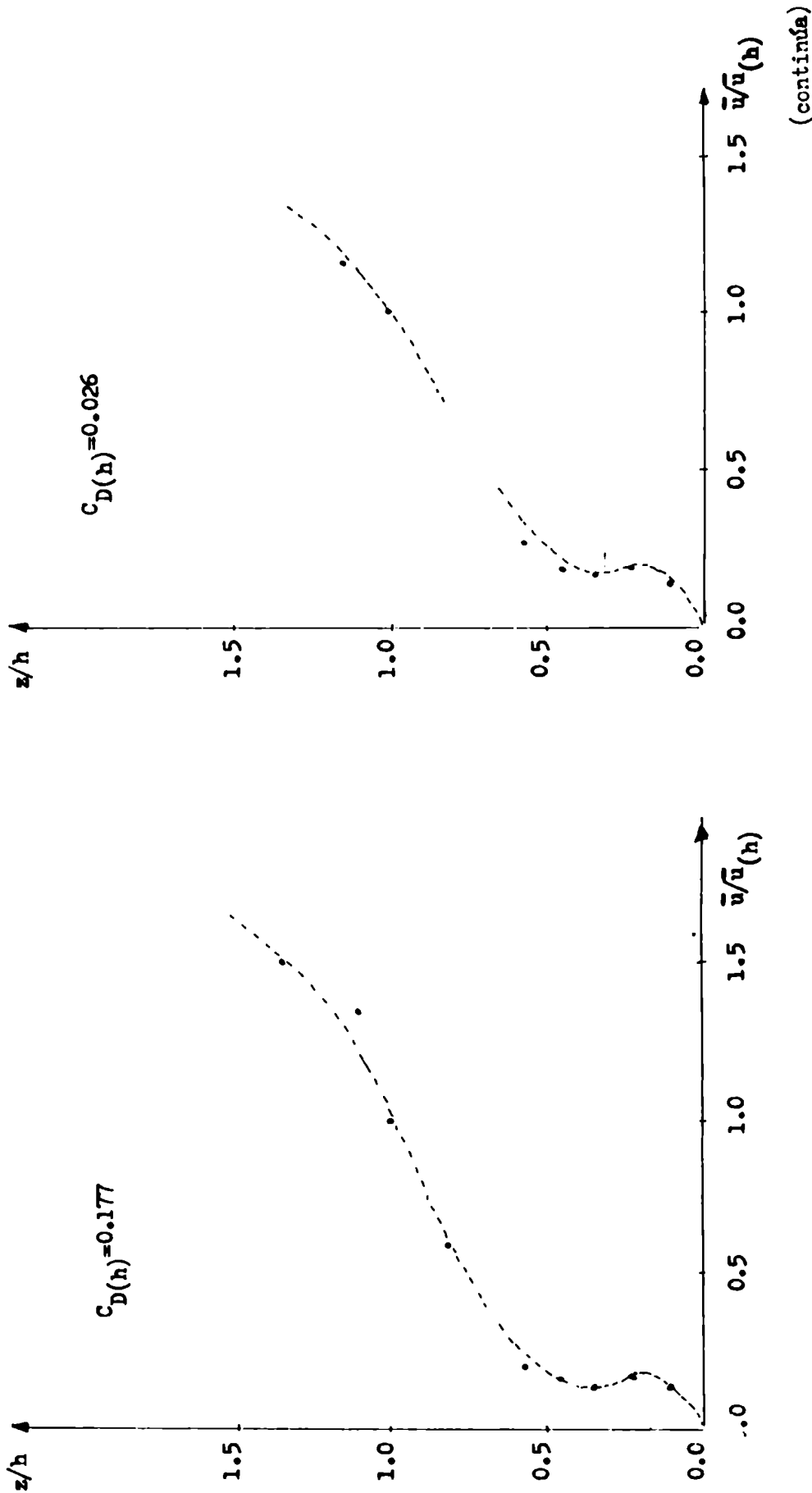
TABLA XXI

Especificaciones y parámetros de los experimentos utilizados en la aplicación del modelo tipo B, realizados en un cultivo de maíz.

Caso	B	C	D	E	Medio Total
Parámetro					
$\bar{u}(h)$ , (m/s)	2.32	1.97	2.04	2.22	
$u_{\pi 0}$ , (m/s)	0.977	0.319	0.278	0.393	
$C_{D(h)}$	0.177	0.026	0.018	0.031	
$b_B$	3.16	1.83	1.66	1.93	
$c_B$	0.444	0.356	0.296	0.340	
$d_B$	0.28	0.64	0.83	0.57	
$m_B$	0.048	0.080	0.113	0.070	
$n_B$	2.33	5.80	7.67	5.15	
$t_B$	0.093	0.217	0.283	0.139	
$p_B$	0.053	0.045	0.047	0.046	
$ \bar{\Delta} $ , (m/s)	0.023	0.054	0.240	0.041	0.039 (*)
$\bar{\Delta}$ , (m/s)	0.023	0.054	0.240	0.005	0.027 (*)
$ \bar{\varepsilon} $ , (%)	5.0	13.5	72.0	8.3	8.9 (*)
$\bar{\varepsilon}$ , (%)	5.0	13.5	72.0	-2.9	5.2 (*)

(\*) Valores que no incluyen el experimento D.

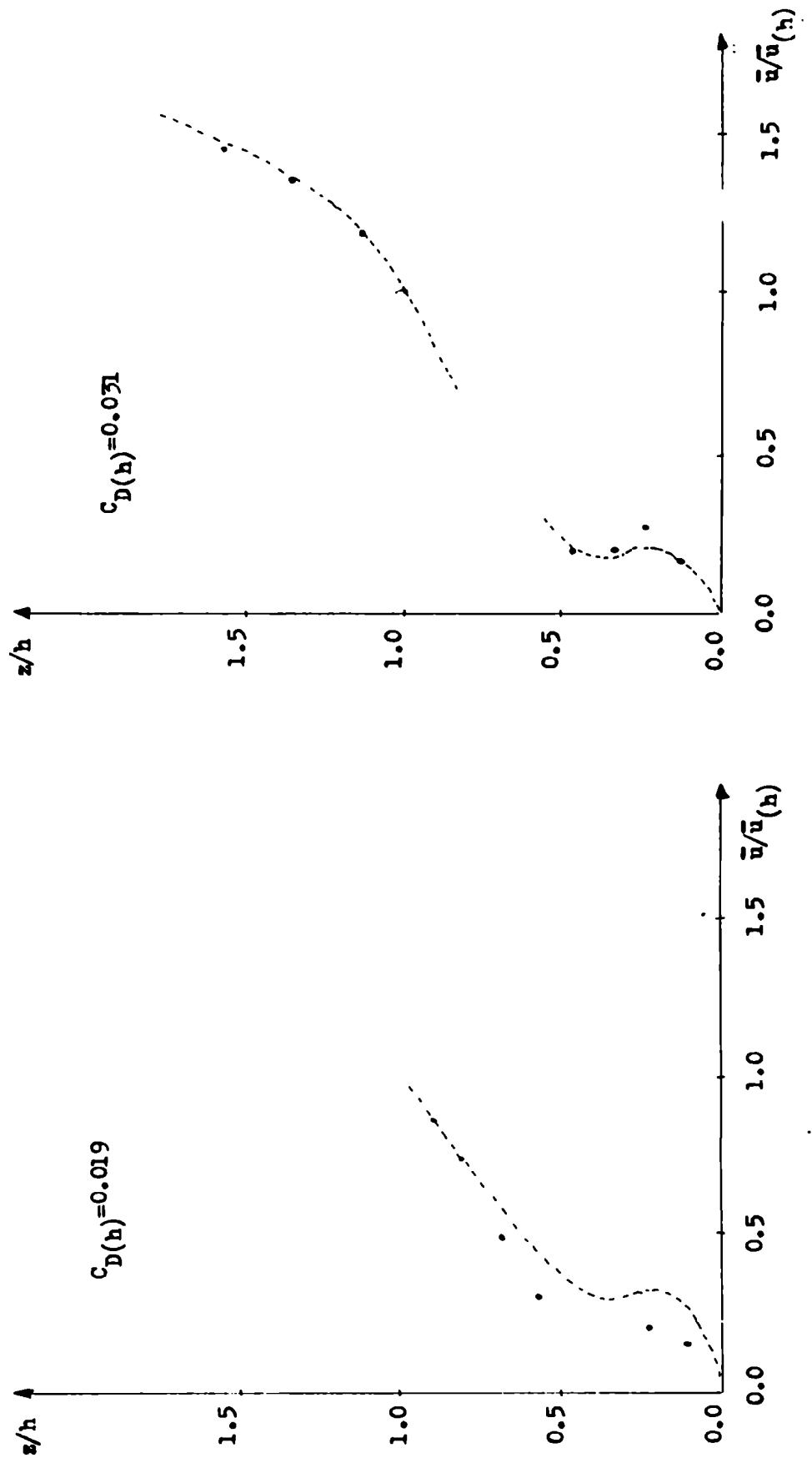
Figura 20 : Perfiles verticales de la velocidad media del viento, en las capas atmosféricas de transición e interna, generados por el modelo, para un cultivo de maíz. ( Los puntos representan los valores observados ) .



(continúa)



Figura 30 : (continuación) .



El coeficiente de correlación lineal, ( incluido el Caso D), entre las velocidades medias del viento observadas y generadas es  $r = 0.912$  , lo que implica que el modelo explica un 83.0 % de la variación de la velocidad media real.

Por otra parte, cabe destacar que las velocidades de la experiencia fueron medidas con anemómetros de termocupla, siendo su error de medición del mismo orden del de hilo caliente, de donde se infiere la bondad cuantitativa del modelo.

#### 4.2.2.2.- Cultivo artificial

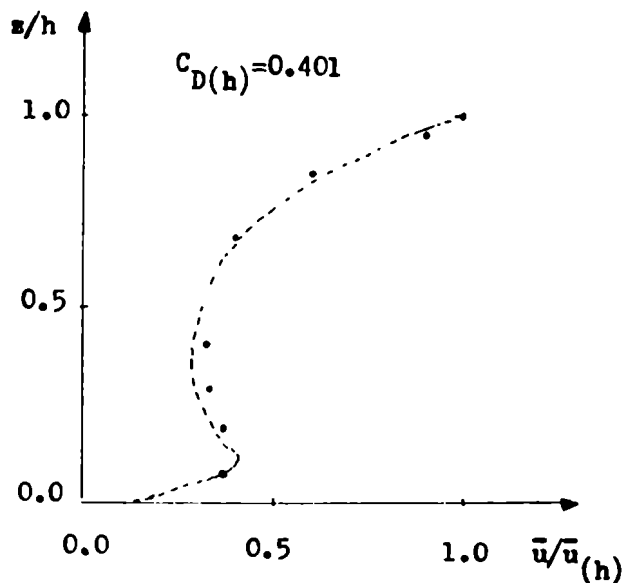
Otra verificación del modelo se realiza aplicándolo a una experiencia en la que se utilizan árboles artificiales en un túnel de viento, con una altura media de 18 cm e índice de área de arrastre de la vegetación igual a 1.072, ( Meroney, 1968) . Esta experiencia cuenta con observaciones de la velocidad media del viento, realizadas con anemómetros de hilo caliente, en las capas atmosféricas de transición e interna. A partir de dos velocidades medidas en la capa de transición se determinaron la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes y la velocidad media del viento en el tope de la cobertura vegetal. La distribución vertical de la densidad de área de arrastre se estimó a partir de la descripción de los árboles y de la densidad de plantación. ( Datos observacionales en TABLA A3-7, Apéndice 3). La parametrización de esta experiencia se detalla en la Tabla XXII, y en la Figura 31 se presenta el perfil generado por el modelo conjuntamente con los datos observacionales. De esta Figura, se extrae nuevamente, la buena aproximación cualitativa del modelo, mientras que los errores incluidos en la Tabla XXII muestran un

TABLA XXII

Especificaciones y parámetros de la experiencia artificial utilizada en la aplicación del modelo tipo B.

Parámetro		Parámetro	
$\bar{u}(h)$ , (m/s)	1.57	$t_B$	0.078
$u_{*0}$ , (m/s)	0.992	$p_B$	0.059
$b_B$	3.98	$ \bar{\Delta} $ , (m/s)	0.058
$d_B$	0.236	$\bar{\Delta}$ , (m/s)	-0.008
$c_B$	0.507	$ \bar{\epsilon} $ , (%)	7.1
$m_B$	0.052	$\bar{\epsilon}$ , (%)	-0.8
$n_B$	1.97		

Figura 31 : Perfil vertical de la velocidad media del viento, en la capa atmosférica interna, generado por el modelo para un cultivo artificial. ( Los puntos representan las velocidades observadas) .



ajuste cuantitativo aceptable, siendo su valor medio de 0.048 m/s . Este error es mayor que los del instrumental, pero no debe olvidarse que se trata de instrumentos de gran sensibilidad.

#### 4.2.3.- Estudio de la bondad del modelo

Para el análisis de la bondad del modelo de la capa atmosférica interna, se determinaron los coeficientes de correlación lineal, por rangos de altura, entre las velocidades medias del viento normalizadas con su valor en el tope de la cobertura vegetal, generadas y calculadas, siendo los siguientes :

Intervalo de z/h	(0.0-0.2]	(0.2-0.4]	(0.4-0.6]	(0.6-1.0)
$r^2$	0.771 (0.919)	0.744 (0.942)	0.631 (0.857)	0.953 (0.984)

Los valores entre paréntesis son calculados sin el Caso D de maíz. De acuerdo con los coeficientes de correlación lineal hallados se puede inferir que un porcentaje, relativamente alto, de la varianza observada es explicada por el modelo.

#### 4.3.- Discusión

Como se manifestó anteriormente, la representación cuali-cuantitativa del modelo se aproxima a las condiciones reales. Este hecho se encuentra implícito en las ecuaciones que integran el modelo, el cual propone a través de la relación (59), que en el borde superior la cortante de la velocidad media del viento es función del coeficiente de arrastre. Este coeficiente es un índice de turbulencia mecánica del flujo y la relación entre ambos es inversamente proporcional. Por ello, la cortante será mayor, como se expuso en el punto 3.4. , cuanto menor sea el grado friccional del flujo. Esto podría explicarse debido a que la turbulencia mecánica tiende a homogeneizar el campo de viento. En la capa atmosférica interna, en sus niveles superiores se puede verificar que, para un mismo tipo de vegetación, ( A ó B ), con una distribución de densidad de área de arrastre semejante, el viento se atenúa más, a través de los parámetros  $b_A$  ó  $b_B$  , en los casos en que el coeficiente de arrastre en el tope de la vegetación sea mayor. Esto ocurre debido a que la turbulencia tiende a uniformar la velocidad media del viento, la que se anula en la superficie, mientras que en aquellos casos que podrían denominarse " más viscosos " , el fluido se resiste a la deformación obteniéndose de esta manera un marcado gradiente en el borde inferior, lo que está representado por los parámetros  $n_A$  ,  $n_B$  ,  $t_A$  y  $t_B$  . Por su parte, el efecto de una plantación más o menos densa está representado en el coeficiente de arrastre, afectando el valor de la cortante en el borde superior, ya que una mayor densidad de área de arrastre conduce a un efecto similar al de una " pared " y por lo tanto de menor coeficiente de arrastre, pudiéndose considerar una capa adyacente " viscosa " .

Por otra parte, para el tipo de vegetación B se describe la presencia de un " jet " interna, debido al efecto de " entubamiento " del aire. Este es más pronunciado en los casos de mayor coeficiente de arrastre, ya que en los más " viscosos " la resistencia del fluido a la deformación permite que la velocidad máxima se atenúe, e incluso que no se presente el " jet " .

El modelo de perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica interna que se ha desarrollado posee una amplia generalización, y permite su aplicación con el sólo conocimiento de dos parámetros meteorológicos, (  $\bar{u}_{(h)}$  ,  $u_{\text{po}}$  ), y dos representativos de la estructura vegetal, (  $h$  y  $a_{(z)}$  ), asegurando un adecuado ajuste cuali-cuantitativo a los procesos físicos reales.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos en la verificación del modelo, permiten afirmar que, el mismo se adapta a la estimación de la distribución vertical de la densidad de área de arrastre, así como a la determinación de algunos de los parámetros meteorológicos incluidos en sus expresiones, con aceptable aproximación.

## 5.- Comparación con los resultados de otros autores

Sadeh y otros, (1970), utilizan la teoría de la semejanza euleriana, adaptada a superficies aerodinámicamente rugosas, mediante la inclusión del desplazamiento del plano dero, para analizar la variación vertical de la velocidad media del viento en presencia de un cambio de rugosidad. En su trabajo, el desplazamiento del plano cero es supuesto igual a la altura de la vegetación artificial, mientras que la altura de la capa límite es considerada como el nivel para el cual  $\bar{u}_{(z)} = 0.99 u_{\infty}$ , siendo  $u_{\infty} = 6$  m/s, la velocidad característica del túnel de viento donde se desarrolla la experiencia. Los espesores determinados de esta manera en función de la distancia al borde de la plantación ("fetch"), pueden observarse en la Figura 33, representados por medio de círculos, mientras que, las cruces representan los obtenidos mediante los perfiles de la Figura 7-bis. El ajuste logarítmico realizado en el trabajo original, distingue dos zonas caracterizadas por diferentes velocidades de fricción y por distintas longitudes de rugosidad. Estos parámetros característicos varían, además, con la distancia al cambio de rugosidad, como puede observarse en la Figura 34. Por su parte, en este trabajo, la inclusión de la capa de transición, como así también la utilización de la ley logarítmica del viento, sin adaptación para la región de flujos constantes, permite obtener una velocidad de fricción y una longitud de rugosidad para cada distancia. Estos valores se incluyen en la Figura 35. La comparación de los resultados presentados en las Figuras 34, zona superior, y 35 permite inferir que la variación de la velocidad de fricción en la región de "entrada" ( $x/h \leq 20$ ) es descripta similarmente por las expresiones de la zona superior correspondientes a Sadeh y otros, y las del modelo propuesto. Sin embargo, para la región más alejada del borde de plantación, Sadeh y otros, proponen que la velocidad de fricción se ha reajustado, disminuyendo notablemente, acercándose al valor en el borde; mientras que en el modelo desarrollado, se muestra una readaptación oscilante, y representativa finalmente de la capa límite interna desarrollada por el cambio de rugosidad. Por su parte, la longitud de rugosidad muestra variaciones de muy diferente magnitud en ambas curvas, y nuevamente es notoria la readaptación oscilante del parámetro en el modelo propuesto. En la Figura 36, se muestran las variaciones de los espesores de las capas de transición y límite interna, con la distancia al cambio de rugosidad. En ella se observa que, más allá de la zona de readaptación oscilante ( $x/h \geq 35$ ), la capa de transición aumenta levemente, desde  $z/h \approx 2.5$ . Sadeh y otros encuentran, en su trabajo, una ley logarítmica modificada, adaptable para  $x/h \geq 11.11$ , considerando la variación de la velocidad de fricción y de la longitud de rugosidad con la distancia al borde de plantación. Sin embargo, ellos señalan que, este tipo de perfil es de aplicabilidad cuestionable, ya que, como se observa en la Figura 37

Figura 33 : Variación del espesor adimensional de la capa límite (  $H/h$  ), con la distancia normalizada al cambio de rugosidad (  $x/h$  ). La curva y los círculos ( datos empíricos ) corresponden a Sadeh (1970) . Las cruces con los valores determinados por medio de los perfiles de la Figura 7-bis), para la misma experiencia, y los triángulos representan los de la experiencia de Meroney (1968).

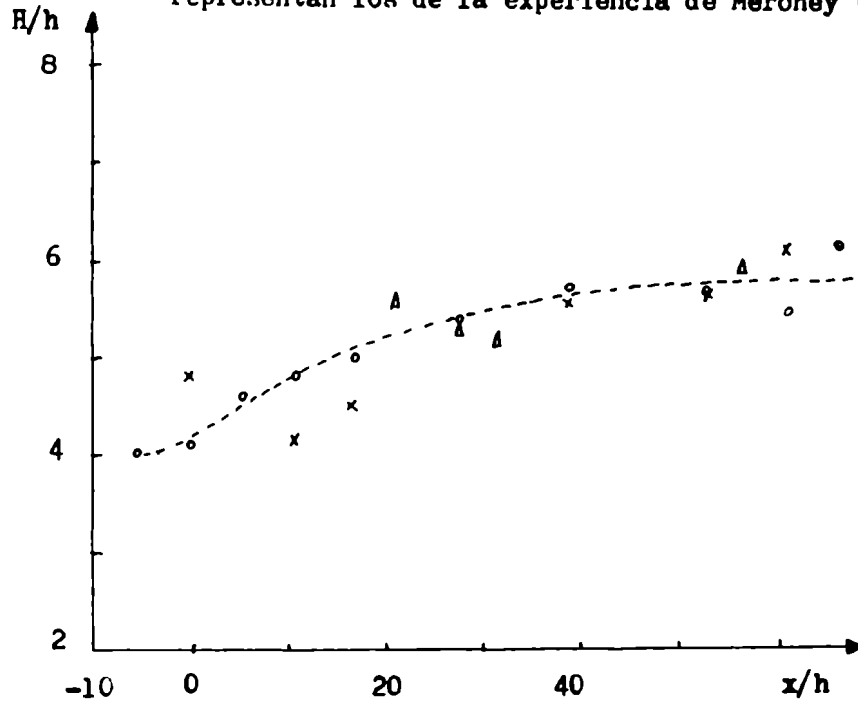


Figura 34 : Variación de la velocidad de fricción adimensional y de la longitud de rugosidad normalizada, con la distancia al cambio de rugosidad. La curva y los valores empíricos corresponden a Sadeh y otros,(1970).

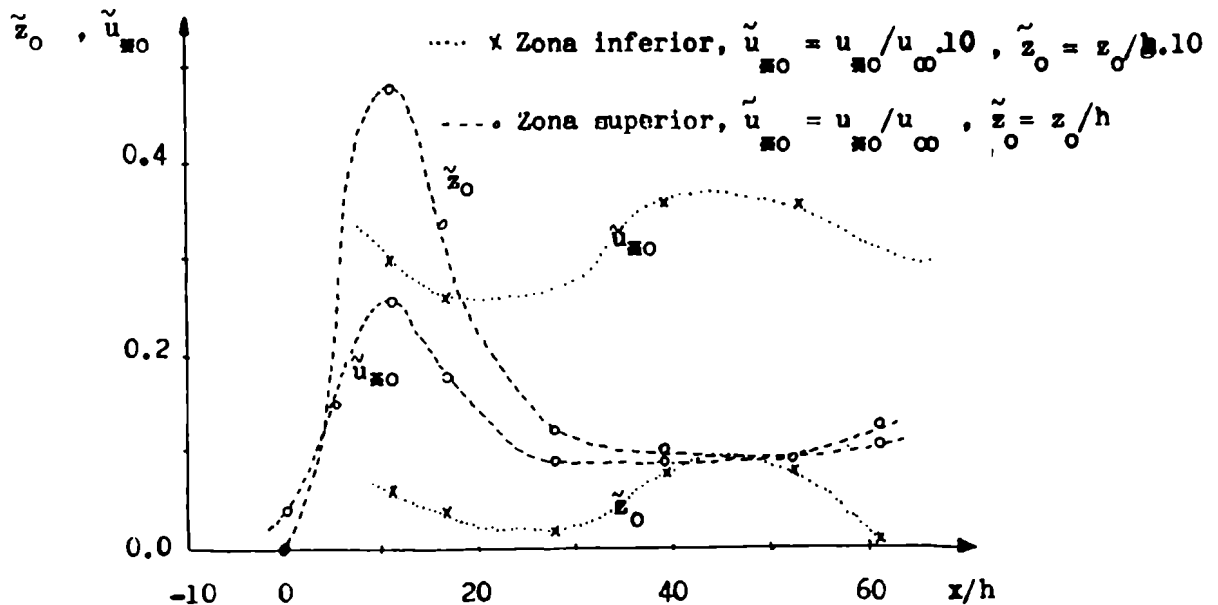


Figura 35 : Variación de la velocidad de fricción y de la longitud de rugosidad, normalizadas ( $\tilde{u}_{*0} = u_{*0} / u_{*00}$ ,  $\tilde{z}_0 = z_0 / h$ ), con la distancia adimensional al borde de plantación ( $x/h$ ). Los valores empíricos corresponden a los promedios de los obtenidos por los perfiles T y  $L_1$  de la Figura 7-bis). ( $\times$  y  $\circ$ , experiencia de Sadeh y otros, (1970);  $\nabla$  y  $\Delta$ , experiencia de Meroney, (1968)).

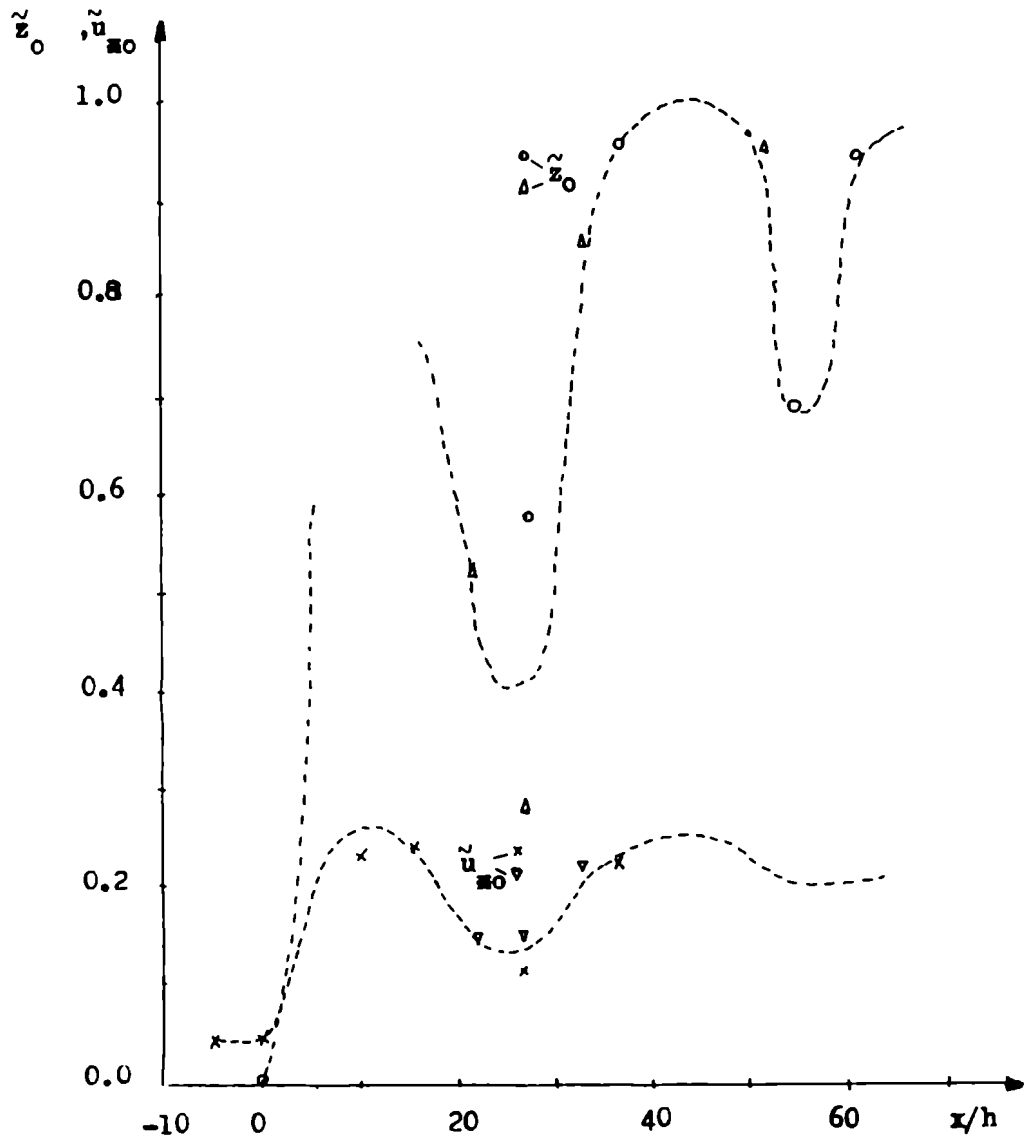


Figura 36 : Variación de los espesores de las capas atmosféricas de transición y límite interna adimensionalizados por la altura de la vegetación, con la distancia al cambio de rugosidad normalizada, correspondientes a los perfiles de la Figura 7-bis). (x y o , experiencia de Sadeh y otros, (1970); ▽ y Δ , experiencia de Meroney, (1968) ).

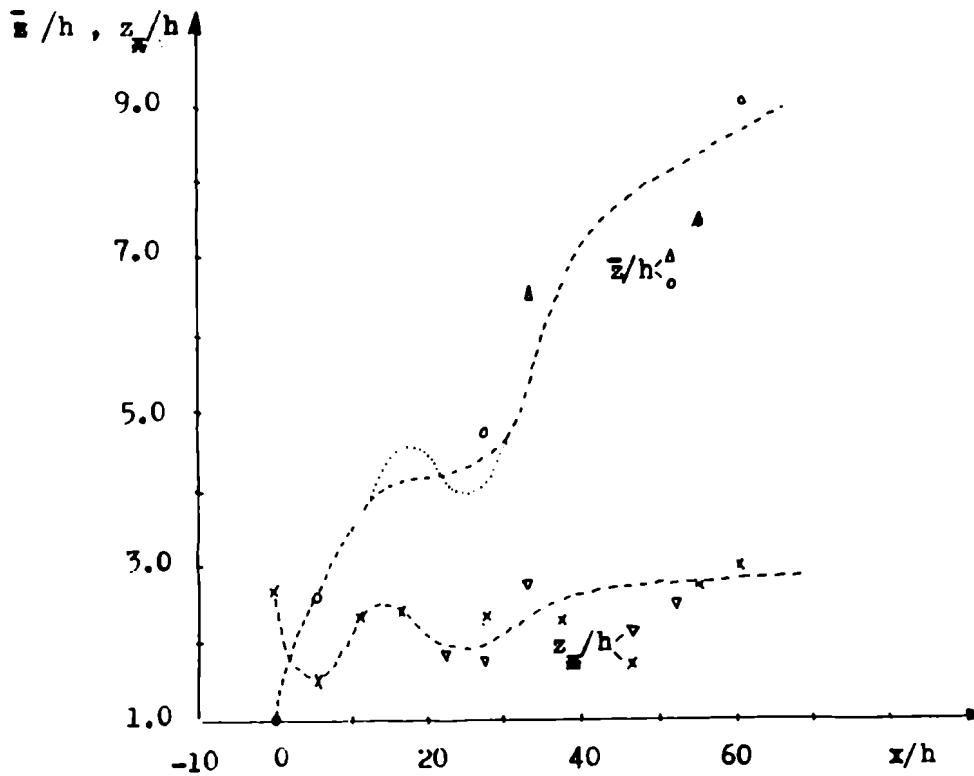
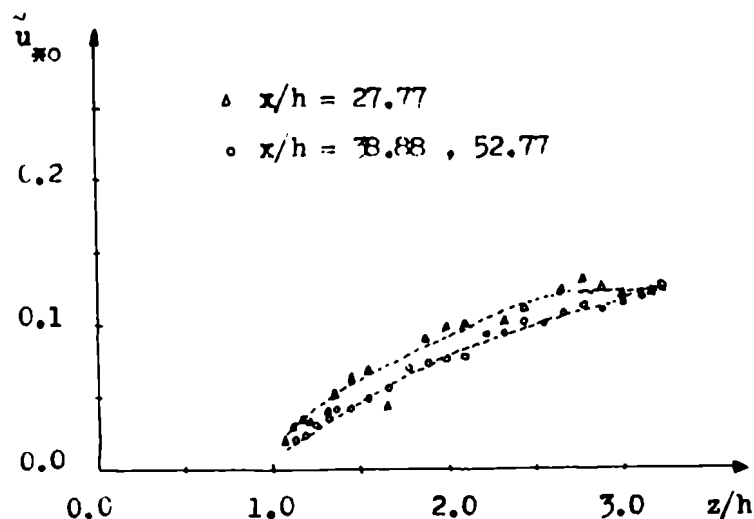


Figura 37 : Variación con la altura adimensional, de la velocidad de fricción determinada por  $u_{*0} = k \cdot (\bar{u}_i - \bar{u}_{i+1}) / [\ln(z_i - h / z_{i+1} - h)]$ . Los valores empíricos y las curvas corresponden a Sadeh y otros, (1970).





la velocidad de fricción determinada mediante la ley logarítmica, aumenta con la altura de los valores de velocidad utilizados, hasta  $z/h \approx 2.5$ , mientras que para niveles superiores parece mantenerse aproximadamente constante. Debe destacarse que, dicho nivel coincide cercanamente con el establecido como espesor de la capa de transición en las figuras 7-bis e indicados en la figura 36. De esto se infiere que la ley logarítmica del viento puede utilizarse, sin necesidad de modificaciones, por encima de la capa de transición. En la Figura 38 se presentan los perfiles logarítmicos, modificados por Sadeh y otros y el original, así como las velocidades observadas, adimensionalizadas por la velocidad de fricción, lo que corrobora lo expuesto.

Kondo y Akashi (1976), desarrollaron un modelo numérico basado esencialmente, en la teoría de la longitud de mezcla, y la ecuación bidimensional del movimiento, dada por :

$$\frac{d}{dz} \left[ l^2 \left| \frac{dU}{dz} \right| \frac{dU}{dz} \right] = \frac{1}{2} c a |U| U + i f (U - V_g) \quad (65)$$

donde  $l$  es la longitud de mezcla,  $U$  es el vector viento,  $V_g$  es el viento geostrofico,  $c$  es el coeficiente de arrastre individual de cada elemento rugoso y,  $a$  es la densidad de área de arrastre, mientras que  $f$  es el parámetro de Coriolis. Por su parte, se define el factor de arrastre como :  $C_f(z) = 0.5 h c a(z)$ . La ecuación (65) representa una ecuación diferencial no lineal de segundo orden, y Kondo y Akashi utilizan un método de cuasi-linealización para su resolución. Partiendo de un perfil inicial de viento, que satisfaga condiciones de borde, ( superior e inferior ), y reemplazando éste en la expresión, se obtiene una ecuación lineal, y así iterativamente el perfil definitivo, independiente del perfil inicial supuesto. Las condiciones de borde están dadas por :  $U = 0$  para  $z = 0$ ;  $U_T$  en  $z_T$ , borde superior, y  $\theta_T$ , ángulo de desviación entre el viento geostrofico y  $U_T$ , de acuerdo con la Figura 39, en función de la longitud de rugosidad adimensional ( Yamamoto y otros, 1968 ). Asimismo, suponiendo un perfil exponencial del viento, se considera  $l(z) = 2 k^3 / C_f(z)$  con las siguientes restricciones :  $l(z) = k z$ , y por debajo de la longitud de rugosidad de la capa adyacente al suelo, (  $z_s$  ), la longitud de mezcla es constante,  $l(z) = k z_s$ . Este modelo es aplicado, por Kondo y Akashi, para generar los perfiles de velocidad media del viento sobre coberturas vegetales 'ideales', con las distribuciones de densidad de área de arrastre que se observan en la Figura 40. En los cálculos se utilizaron los siguientes valores numéricos :  $h = 10$  m,  $z_T = 30$  m,  $z_s = 0.1$  cm,  $c = 1.0$ ,  $V_g = 7.5$  m/s, para  $40^\circ$  de latitud Norte. En la Figura 41 se presentan los perfiles verticales de la velocidad media del viento, para los cuatro tipos de coberturas vegetales propuestos. En ella se observa que, para la cobertura A-d ( Tipo A ), con densidad de área de arrastre constante con la altura,

Figura 3B : Perfil logarítmico modificado (  $\circ$  , en función de  $( z-h/z_0 )$  ) por Sa-  
 deh y otros, (1970), de la velocidad media del viento normalizada por  
 la velocidad de fricción; y perfil logarítmico original (  $\times$  , en fun-  
 ción de  $( z/z_0 )$  ) correspondiente a  $L_1$  de la Figura 7-bis), para  $z \geq z_*$ .

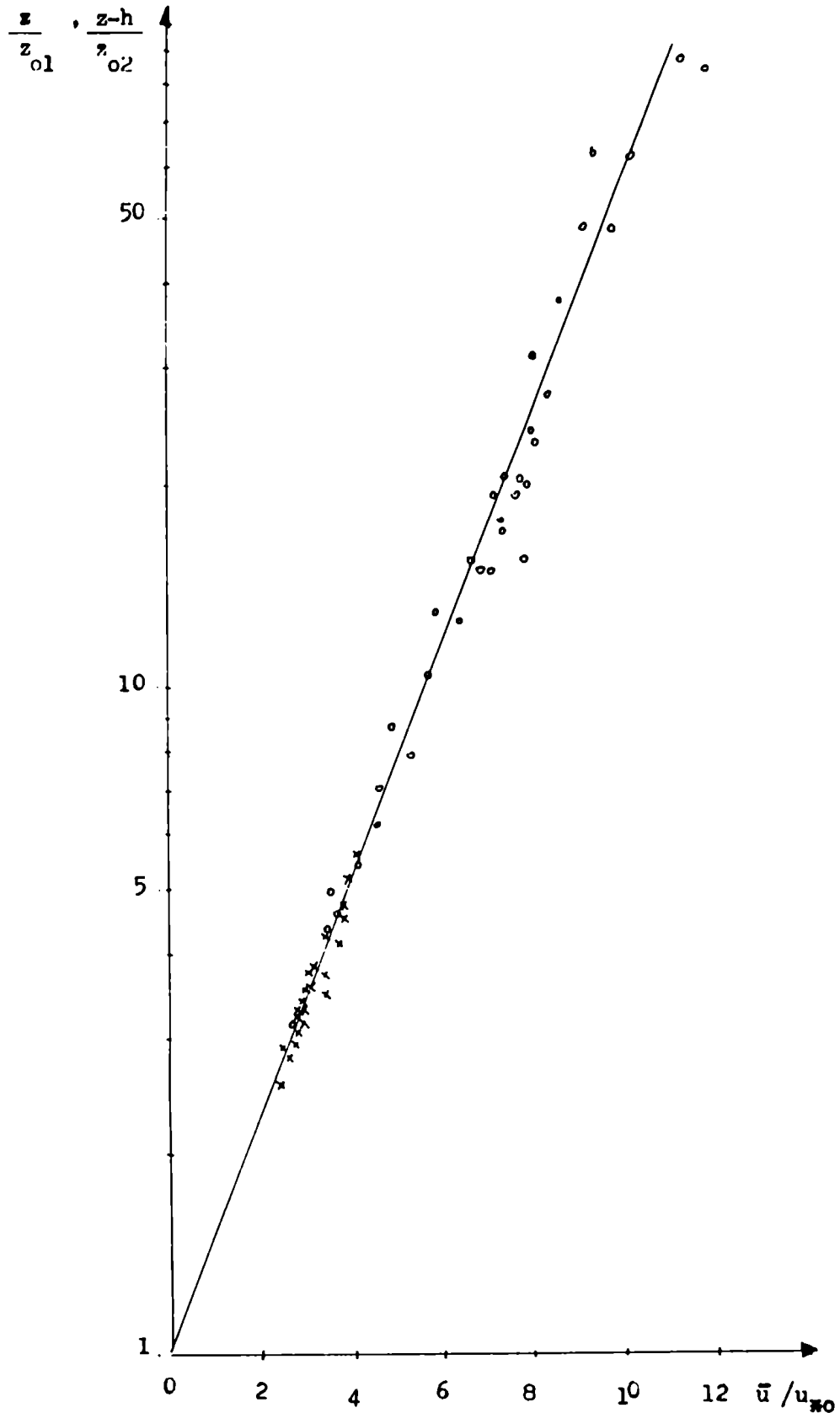


Figura 39 : Condiciones de borde  $U_T$  y  $\theta_T$  en función de la longitud de rugosidad adimensional,  $f.z_0/V_g$ .  
 (  $z_T=30m$  , - - - -  $z_T=50m$  ). (Yamamoto y otros, 1968).

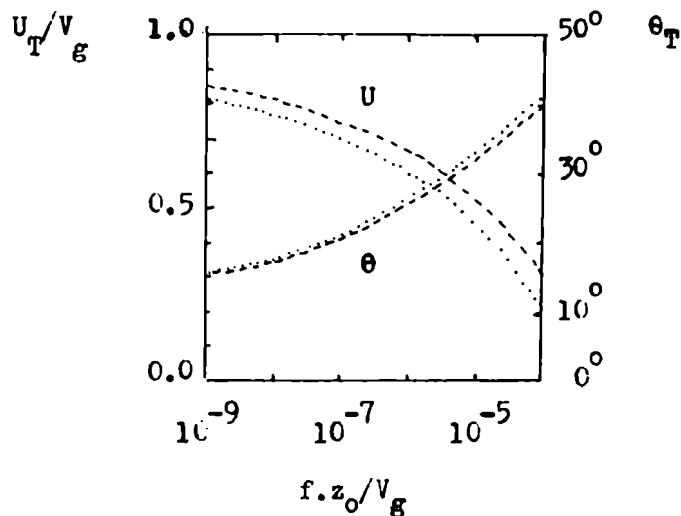
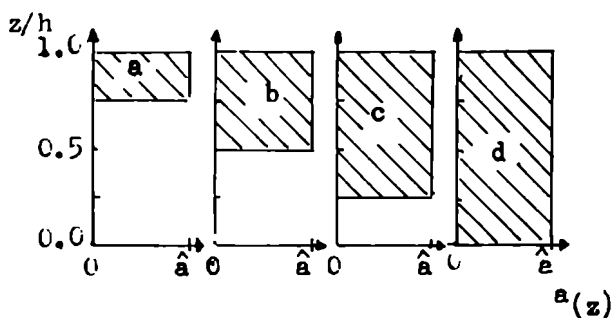


Figura 40 : Distribución vertical de la densidad de área de arrastre del modelo de vegetación A de Kondo y Akashi (1976). Para la aplicación del modelo propuesto se tomó  $a_{superior} = 0.999 \hat{a}$  y  $a_{inferior} = 0.001 \hat{a}$ .

- A-a —  $8 C_f / c \cdot h$
- A-b —  $4 C_f / c \cdot h$
- A-c —  $2.67 C_f / c \cdot h$
- A-d —  $C_f / c \cdot h$



las capas superiores, el perfil de velocidad es exponencial, pero descendiendo, el perfil se torna logarítmico. Según el modelo, además, el viento gira hacia la izquierda en las capas inferiores. En las capas superiores, el viento es mayor para el modelo  $\alpha$ -d, descendiendo en el orden  $A-c$ ,  $A-b$ ,  $A-a$ , mientras que el comportamiento inverso se observa en la capa interna. Dado que el perfil por encima de la cobertura vegetal presenta un comportamiento casi logarítmico, es posible extraer la longitud de rugosidad, el desplazamiento del plano cero y la velocidad de fricción para cada tipo de vegetación simulada. Estos parámetros se muestran en la Figura 42, en función del factor de arrastre de la vegetación normalizado, definido como:  $C_f = c \bar{z}_H / 2$ . De esta Figura es posible determinar el coeficiente de arrastre de la atmósfera, y así generar por medio del modelo desarrollado en el presente trabajo, los perfiles de velocidad media del viento para las condiciones simuladas por Kondo y Akashi. Cabe mencionar que ellos en su trabajo consideran que la velocidad de fricción es constante con la altura por encima de la vegetación. En la Figura 41 se observan los perfiles generados por el modelo propuesto. La cobertura  $A-d$ , como ya se mencionó pertenece al Tipo  $a$  de vegetación, mientras que los otros tres son Tipo  $B$ . Los perfiles sobre la cobertura, generados por ambos modelos, no presentan una diferencia significativa ( $< 2\%$ ), a pesar de que es notorio un apartamiento a partir de  $z/h \approx 1.6$ , ( $< 6\%$ ).

Para los casos de vegetación Tipo  $B$ , en la zona superior de la capa interna ( $0.8 \leq z/h \leq 1.0$ ), el modelo propuesto genera velocidades del viento ligeramente menores a las determinadas por Kondo y Akashi, mientras que en la región inferior el comportamiento se invierte. Por otra parte, la velocidad máxima dentro de la capa interna, correspondiente a este tipo de vegetación, es menos notorio en el modelo numérico, ( $\approx 30\%$ ).

Asimismo, en la cobertura  $a-d$ , el modelo genera velocidades menores en toda la capa, ( $23\%$ ).

Este comportamiento se verifica para otros factores de arrastre, intensificándose la diferencia para valores menores ( $50\%$ ), como se observa en la figura 43, mientras que para  $C_f = 1.0$ , la diferencia prácticamente no existe, y las velocidades del modelo propuesto son mayores.

En la Figura 43, además, se presentan las curvas correspondientes al perfil hiperbólico de Cowan (1968), descrito en el punto 2.2.-, donde se observan diferencias algo menores. Por otra parte, el perfil hiperbólico presenta un comportamiento similar, hasta  $z/h = 0.4$ , al perfil exponencial propuesto por Albini (1981), como se observa en la figura 44, el cual es muy parecido al obtenido por Cionco (1965), por medio de su modelo de cobertura vegetal ideal. Además en la misma figura se presenta el perfil obtenido por Landsberg y James (1971), con una mayor atenuación.

Figura 41 : Perfiles de velocidad media del viento correspondientes al modelo de vegetación A de Kondo y Akashi (1970) , (----) , y los generados por el modelo propuesto , (\*\*\*\*) .

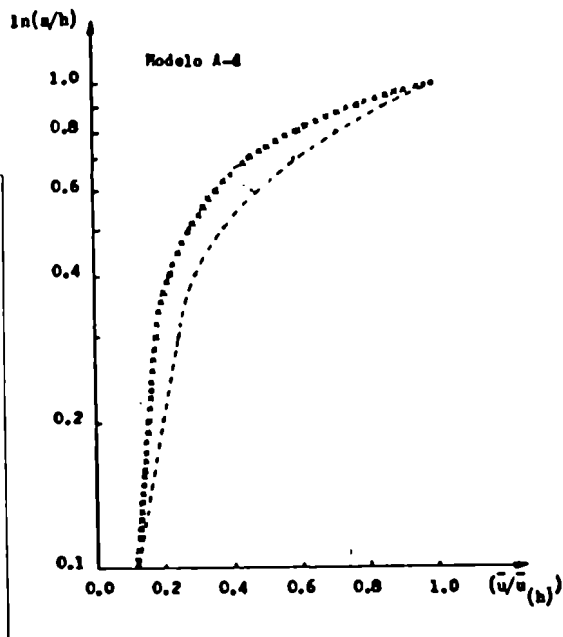
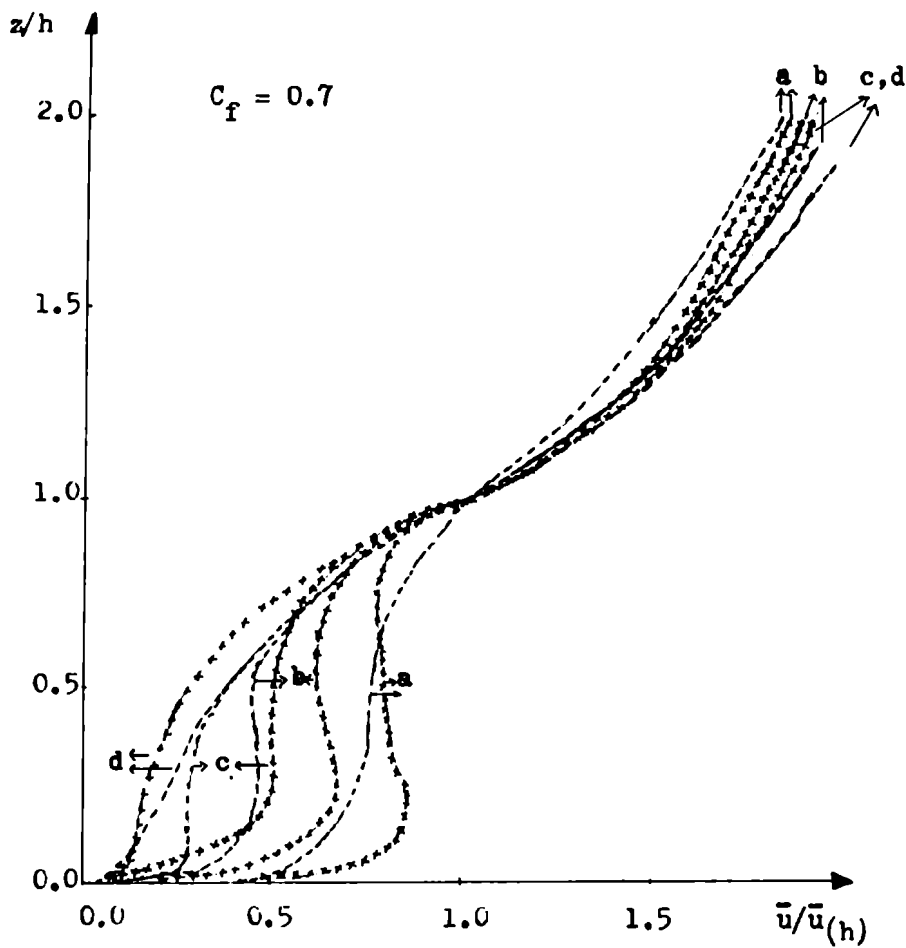


Figura 42 : Variación de la longitud de rugosidad,  $(z_0/h)$ , el desplazamiento del plano cero,  $(d/h)$ , y de la velocidad de fricción,  $(u_{*0}/\bar{u}_h)$ , en función del factor de arrastre. Las diferentes curvas corresponden a los resultados de los modelos de vegetación A de Kondo y Akashi(1976).

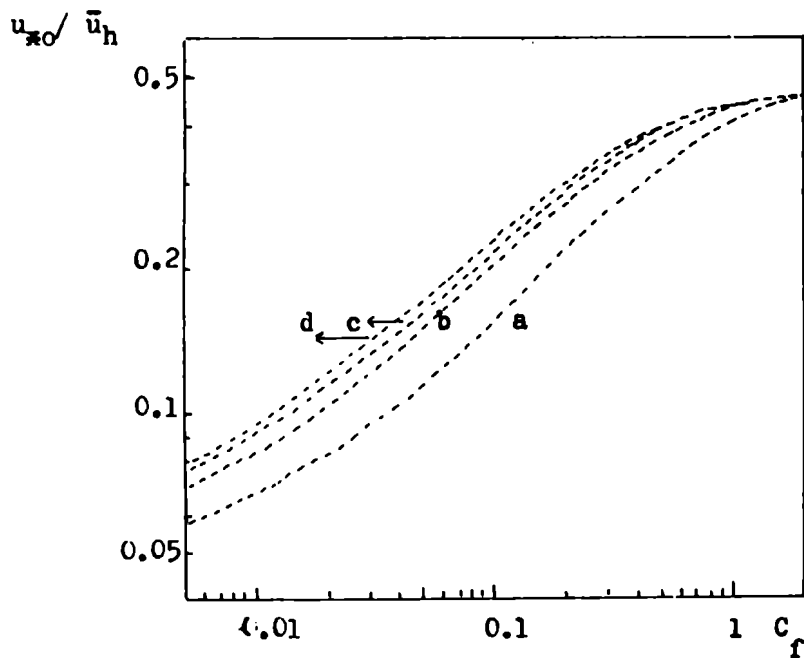
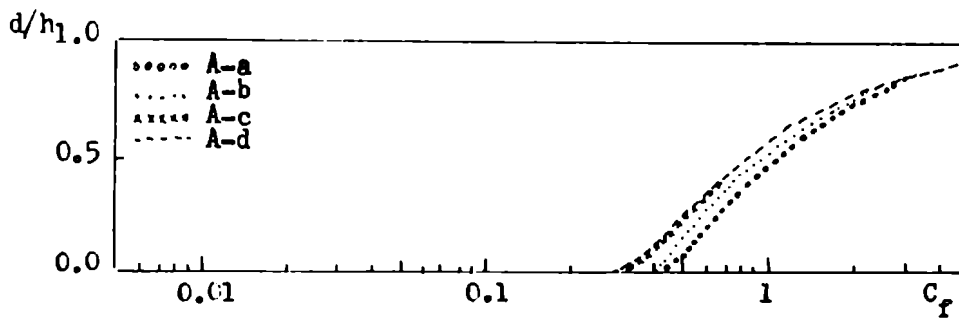
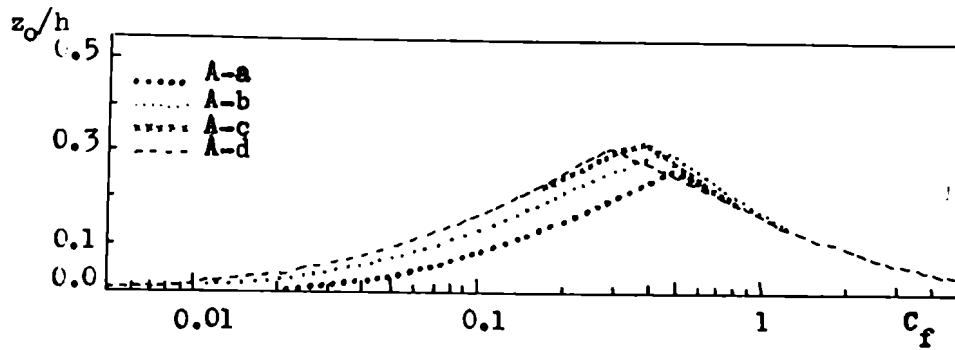


Figura 43 : Perfiles verticales de velocidad media del viento en la capa interna de la atmósfera, para el modelo de vegetación A-d de Kondo y Akashi, (1970), generados para diferentes factores de arrastre (-----), por el perfil hiperbólico (Cowan,1968), (-o-o-o-), y por el modelo propuesto (x-x-x-x). ( Curvas 1 :  $C_f = 0.01$  ; Curvas 2 :  $C_f = 0.1$  ; Curvas 3 :  $C_f = 0.5$  ; Curvas 4 :  $C_f = 1.0$  ).

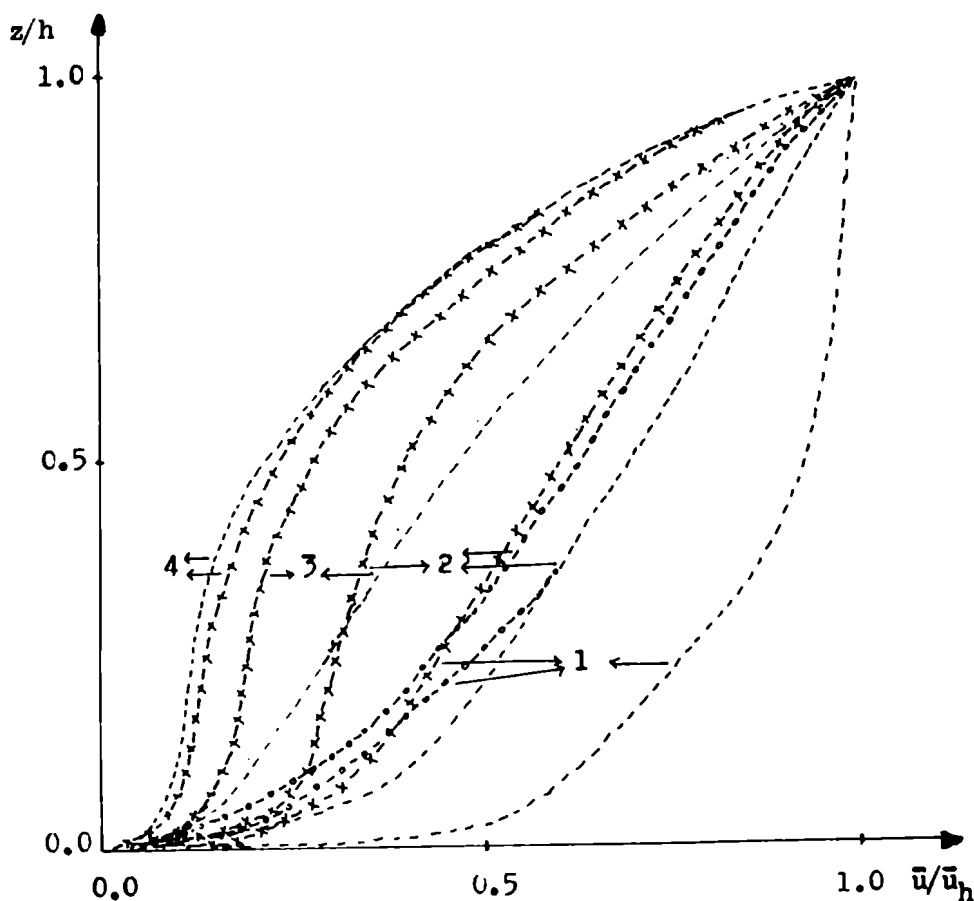
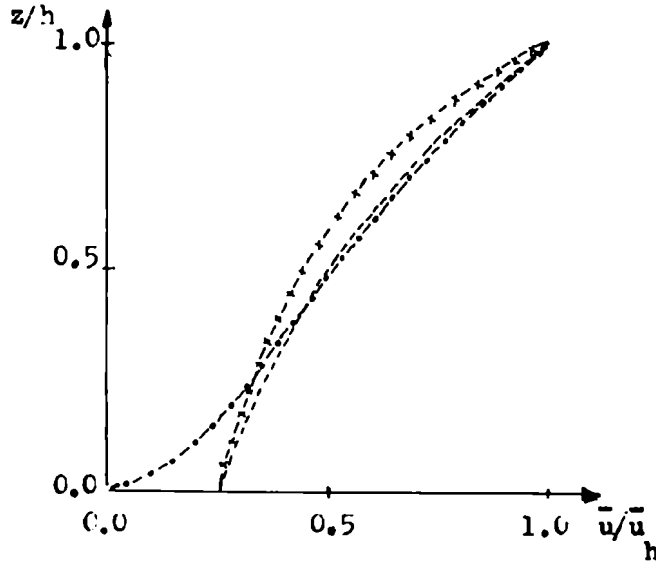


Figura 44 : Perfiles verticales de velocidad media del viento, generados por los modelos de Cionco (1965) y Albini (1981), (-----); Cowan (1968), (-o-o-o-); y Landsberg y James (1971) (-x-x-x-).



El modelo propuesto por Albini (1981), se basa en las ecuaciones de balance de momento en las tres direcciones principales de conservación de la energía y de continuidad. De esta manera se conforma un modelo de clausura de segundo orden, en el que se desprecian las tensiones viscosas, la aceleración de Coriolis, los gradientes horizontales de presión, para un fluido incompresible y sin fuerzas de empuje. Las condiciones límites utilizadas son : En superficie, la escala vertical inherente a la vegetación, o sea el índice de área de arrastre es nulo, al igual que  $\overline{u'w'}$  y  $\overline{w'w'}$ , mientras que  $\bar{u} = u_0$  y  $\bar{p} = p_0$ ; en el límite superior,  $z = h$ ,  $\bar{\zeta} = \bar{\zeta}_H$ ,  $\bar{u} = \bar{u}_{(h)}$ ,  $u_*^2 = \frac{1}{2} C_f \bar{u}_{(h)}^2$  y  $\bar{p} = p_{(h)}$ . De acuerdo con estas condiciones de borde, Albini propone que, el perfil vertical de la velocidad media del viento puede expresarse como :

$$\bar{u}_{(z)} = \bar{u}_{(h)} \left( u_0 / \bar{u}_{(h)} \right)^{1 - \bar{\zeta}'} \quad (66)$$



Por su parte, el modelo de Cionco (1965), ya fue descrito en el punto 2.2.-, al igual que el de Landsberg y James (1971).

En la figura 45 se muestran el perfil de índice de área de arrastre (Shaw, 1977) y los perfiles de velocidad media del viento generados por Shaw (1977), Albini (1981) y el modelo propuesto, contrastados con datos observacionales obtenidos en una plantación de trigo de 1.40 m de altura. El modelo propuesto por Shaw (1977) está compuesto por la ecuación de balance de momento, despreciando el término advectivo, por las tensiones de Reynolds, en condiciones de homogeneidad horizontal, neutralidad y estado estacionario, y por las tres componentes de energía cinética turbulenta, en las que se adiciona un término para la generación de turbulencia debida a la separación del flujo alrededor de las partes de la planta. En el modelo, se supone que la longitud de mezcla es nula en superficie, y que dentro de la cobertura  $1 \leq \alpha / C_f a$ , siendo  $|d| / dz \leq k$  por encima del suelo, donde es una constante determinada por medio del mejor ajuste de los datos observacionales del flujo. Las condiciones límites se especifican en superficie y en  $z = 2h$ .

Cabe mencionar que los modelos propuestos por los diferentes autores consideran la velocidad de fricción constante con la altura por encima de la vegetación, y determinan parámetros característicos como la longitud de rugosidad y el desplazamiento del plano cero, a partir del ajuste de los datos observados al perfil logarítmico del viento, cuya aplicabilidad a la zona de transición es discutible. Debido a ello pueden presentarse diferencias con el modelo presentado en este trabajo, aunque no sean altamente significativas. Este hecho se comprueba en la generación, por medio del modelo de Kondo y Akashi (1976), para una distribución de área de arrastre variable con la altura (B-b), del perfil vertical de velocidad sobre un cultivo de trigo (Tipo A), de 1.40 m de altura, con  $c = 0.32$ , considerándose la velocidad de fricción como  $u_{*0} = k \bar{u}(h)$ , el que se observa con el correspondiente al modelo propuesto en la Figura 46, habiéndose determinado la velocidad de fricción de acuerdo con la metodología descrita en el ANEXO. Esta Figura demuestra que las diferencias observadas entre ambos modelos es debida principalmente a la forma de estimación de la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes, en ellos.

Figura 45 : Perfil vertical del índice de área de arrastre, para un cultivo de trigo (Shaw, 1977); y perfiles verticales de velocidad media del viento, para el mismo cultivo, generados por los modelos de Shaw (1977), (-----) , de Albin (1981), (-·-·-·-) , y propuesto (-x-x-x-).

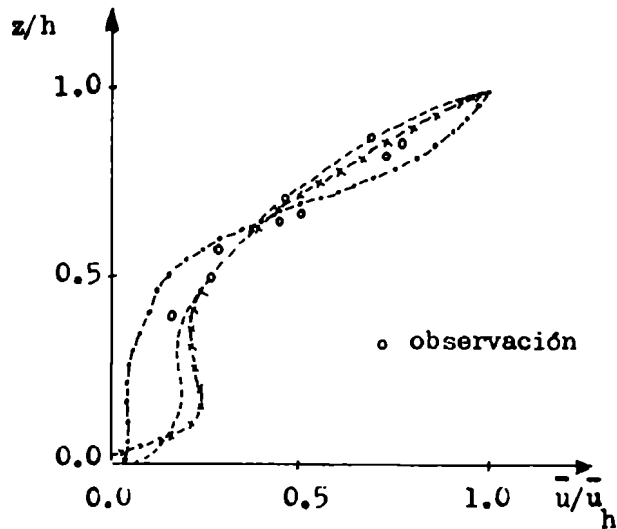
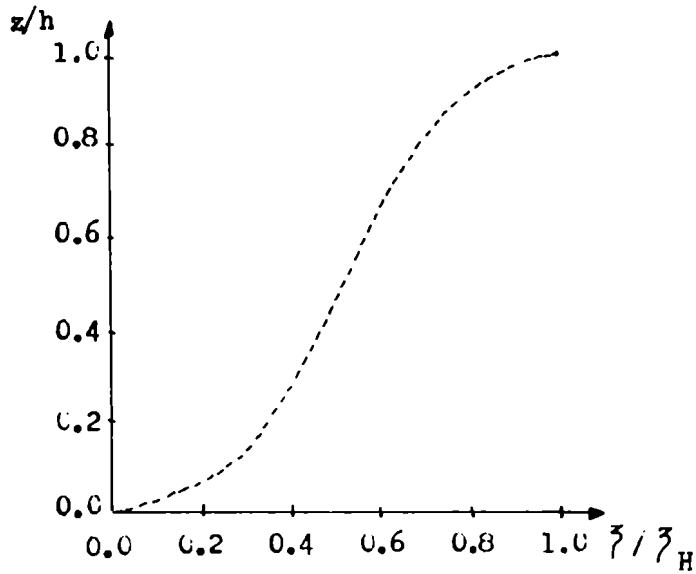
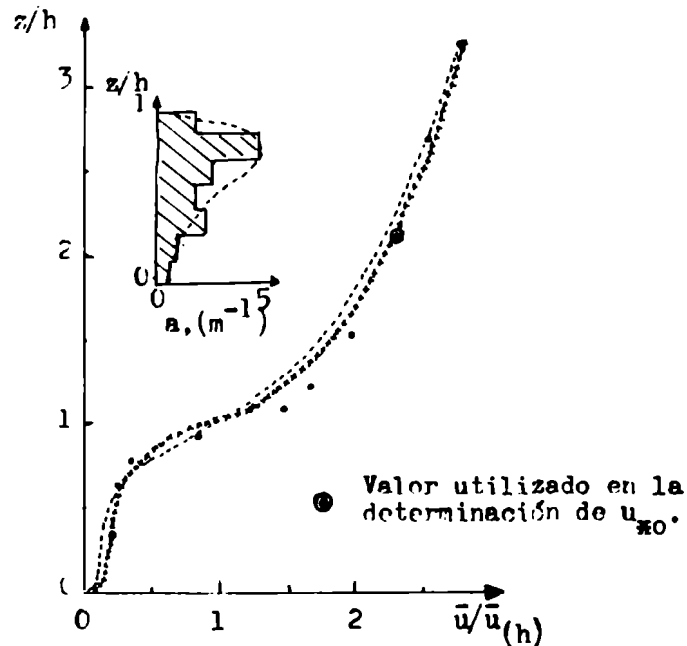


Figura 46 : Comparación entre las velocidades medias calculadas por el modelo de Kondo y Akashi (1970), (-----), las calculadas por el modelo propuesto, (· · · · ·), y los valores observados en trigo (Uchijima y Wright, 1964), ( · ). Asimismo, se presenta el perfil de densidad de área de arrastre.



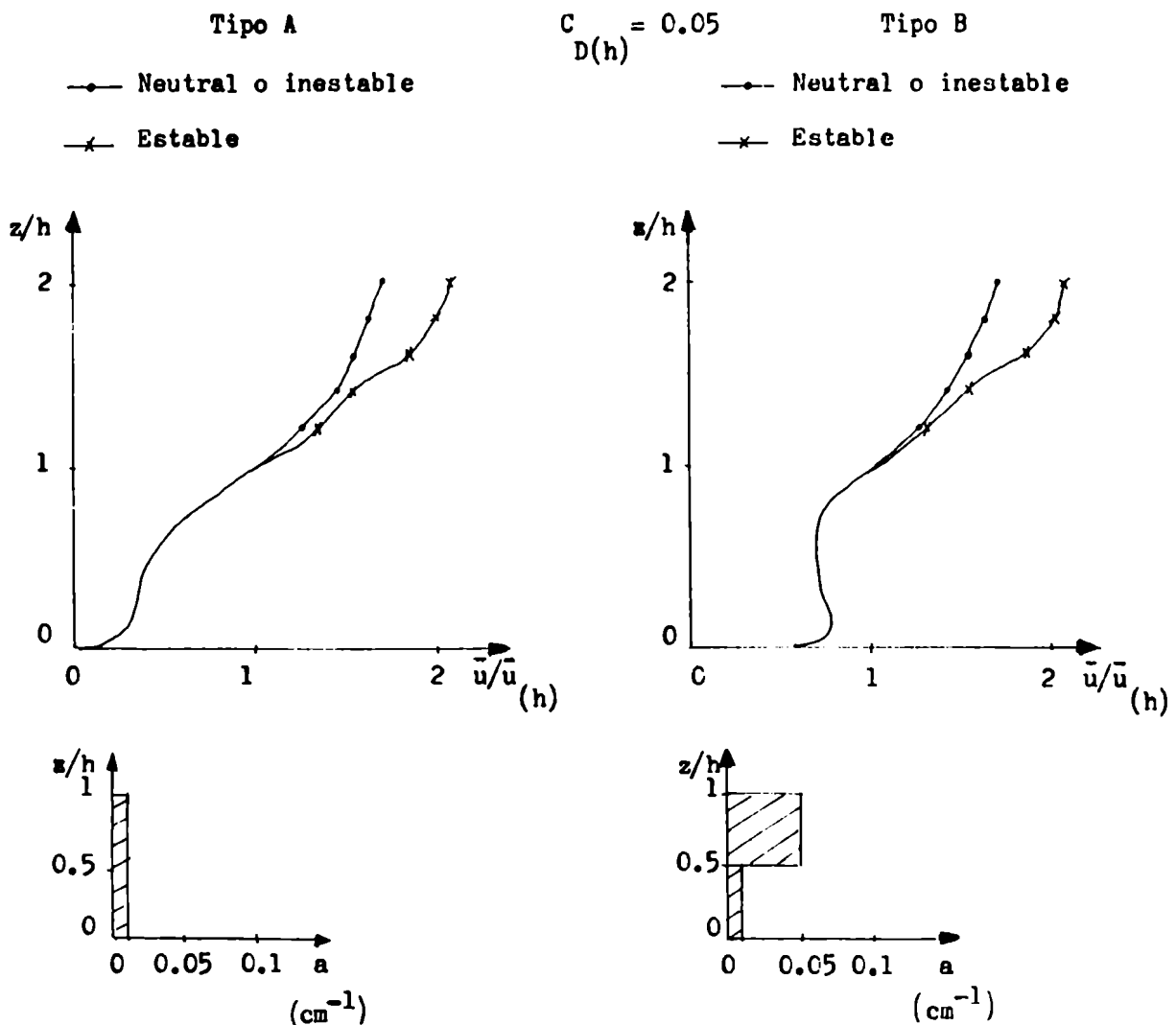
## 6.- CONCLUSIONES

La modificación de la teoría de la semejanza euleriana de Monin-Obukhov, realizada para la adaptación a superficies con elementos rugosos altos, permite, a través de la inclusión en la parametrización de variables características de este tipo de superficies y sin la utilización de suposiciones restrictivas, desarrollar un modelo generalizado del comportamiento vertical de la velocidad media del viento en la capa límite de superficie de la atmósfera que se presenta en zonas con vegetación.

Este comportamiento, acorde con lo expuesto en los puntos 3.4. y 4.2, se muestra en la Figura 47, para diferentes condiciones de estabilidad atmosférica y tipos de vegetación, a través de la simulación mediante el modelo de cuatro perfiles verticales de la velocidad media del viento.

El significado que se desprende de las expresiones que integran el modelo, ( el que coincide con la estructura vertical de la velocidad media del viento esperado sobre una superficie aerodinámicamente rugosa), junto con los resultados obtenidos en la comparación del modelo con las experiencias de campo y de laboratorio, permite inferir que representa con una buena aproximación el campo vertical de viento

**Figura 47 :** Perfiles verticales de la velocidad media del viento, en la capa límite superficial sobre superficies con coberturas vegetales, y de la densidad de área de arrastre, simulados para diferentes condiciones de estabilidad atmosférica y tipos de vegetación .

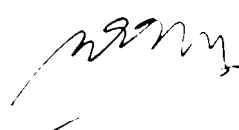


dentro y sobre la cobertura vegetal.

Por otra parte, la calidad de ajuste del modelo a las condiciones atmosféricas reales es similar para distintos tipos de vegetación, con diferentes densidades de plantación y a variadas distancias al borde de plantación. Asimismo, no se presentan diferencias significativas en los resultados obtenidos para diferentes estratificaciones térmicas y coeficientes de arrastre en el tope de la vegetación.

El modelo aplicado a diferentes condiciones de estabilidad atmosférica, permite generar el perfil vertical de la velocidad media del viento, conociendo sólo la velocidad media del viento en el tope de la cobertura vegetal y la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes, o en su defecto la velocidad media del viento en dos niveles diferentes dentro de la capa atmosférica de transición, como variables meteorológicas, y la altura media de la vegetación y la distribución vertical de la densidad de área de arrastre, como parámetros de la estructura vegetal. Asimismo, es posible, a través de las expresiones desarrolladas para obtener la variación vertical de la velocidad de fricción en la capa atmosférica de transición, utilizar el modelo para generar el perfil de viento a partir del conocimiento de la observación de la velocidad media del viento en un nivel y la de las tensiones de corte dentro de la capa de transición. Su aplicación permite obtener una buena aproximación. En el caso de estratificación térmica estable el ajuste es marcadamente mejorado con respecto al realizado con la utilización de dos niveles de medición de la velocidad media.

Finalmente, cabe señalar que los resultados obtenidos en la verificación del modelo, permiten afirmar que el mismo se adapta a la estimación de la distribución vertical de la densidad de área de arrastre de la vegetación, y a la determinación de algunos de los parámetros meteorológicos incluidos en sus expresiones, con aceptable aproximación.



REFERENCIAS

- Albini, F.A.:1981:" A phenomenological model for wind speed and shear stress profiles in vegetation cover layers"; J. of Appl. Met., Vol. 20, 1325-1335.
- Allen, L.J.:1968:" Turbulence and wind speed spectra within a japanese larch plantation"; J. of Appl. Met., Vol. 7, 73-78.
- Bergen, J.D.:1975:" An approximate analysis of the momentum balance for the air flow in a pine stand"; Heat and mass transfer in the Biosphere, Part I, D.A. de Vries and N.H. Afgan. Eds.. Scripta. Cap. 18.
- Bradley, E.;1968:" A micrometeorological study of velocity profile and surface drag in the region modified by a change in surface roughness", Quart. J. of Roy. Met. Soc., Vol. 94, 361-379.
- Bridgman, P.W.:1937: Dimensional Analysis, Univ. Yale.
- Businger, J.A.; Wyngaard, J.C.; Izumi, Y. y Bradley, E.F.:1971:" Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer"; J. Atm. Sc., Vol.28, 181-189.
- Businger, J.A. y Yaglom, A.M.:1971:" Introduction to Obukhov's paper on ' Turbulence in an atmosphere with a non-uniform temperatura' "; Bound. Layer Met., Vol. 2, 3-6.
- Cionco, R.M.; Chmstede, W.D. y Appleby, J.F.:1963:" Model for wind flow in an idealized vegetative canopy"; Met. Research Notes Nº 5, Met. Dept., U.S. Army, Electronics Researchs & Development Activity (Arizona), Fort Huachuca.
- Cionco, R.M.:1965:" A mathematical model for air flow in a vegetative canopy"; J. of Appl. Met., Vol. 4, 517-522.
- Cionco, R.M.:1972:" A wind-profile index for canopy flow"; Bound. Layer Met., Vol. 3,255-263.
- Clarke, R.H. y Brook, R.R.:1979:" The KOCRIN expedition: atmospheric boundary layer data over tropical savannah land"; Dept. of Sc. and Environment, Bureau of Met., Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Clauser, F.H.:1956:" The turbulent boundary layer"; Advances in Appl. Mechanics, Vol. 4, 1.
- Goussier, J.:1968:" Mass, heat and momentum exchange between stands of plants and their atmospheric environment", Quart. J. of Royal Met. Soc., Vol.94, 523-544.

- Daubenmire, R.; 1974: "Plants and Environment", John Wiley & Sons, New York.
- Deardorff, J.W.; 1974-a): "Differences between eddy coefficients for instantaneous and continuous vertical diffusion into the neutral surface layer"; Bound. Layer Met., Vol. 5, 451-458.
- Deardorff, J.W.; 1974-b): "Reply"; Bound. Layer Met. Vol. 7, 229-230.
- de Garín, A.B. y Mazzeo, N.A.; 1983: "Estudio preliminar del perfil vertical del viento sobre coberturas vegetales"; a publicarse en los Anales de la Sociedad Científica Argentina.
- de Garín, A.B. y Mazzeo, N.A.; 1984: "Consideraciones sobre la estructura vertical de la velocidad media del viento en zonas con coberturas vegetales", a publicarse en GEOACTA, Vol. XIII.
- de Garín, A.B. y Mazzeo, N.A.; 1985: "Perfil vertical de la velocidad media del viento en la capa atmosférica interna sobre superficies con vegetación"; presentado en la II Reunión Argentina de Agrometeorología, Vaquerías, Córdoba, Argentina. Sin publicar.
- Desjardins, R.L.; Allen, L.J. y Lemon, E.R.; 1978: "Variations of Carbon dioxide, air temperature, and horizontal wind within and above a maize crop"; Bound. Layer Met., Vol. 14, 359-380.
- Garrat, R.J.; 1978: "Flux profile relations above tall vegetation"; Quart. J. of Roy. Met. Soc., Vol. 104, 199-211.
- Grace, J.; 1977: Plant response to wind ; Academic Press, New York, USA.
- Hinze, J.O.; 1959: Turbulence; Cap. 7, Mc. Graw Hill.
- Inoue, E.; 1963: "On the turbulent structure of air flow within crop canopies", J. Met. Soc. Japan, Ser. II, Vol. 41, 317-326.
- Kondo, J. y Akashi, S.; 1976: "Numerical studies on the two-dimensional flow in horizontally homogeneous canopy layers"; Bound. Layer Met., Vol. 10, 255-272.
- Landsberg, J.J. y James, G.B.; 1971: "Wind profiles in plant canopies: studies on an analytical model"; J. of Appl. Ecol., Vol. 8, 727-741.
- Mazzeo, N.A.; 1978: "El crecimiento de la capa límite interna atmosférica", Meteorologica, Vol. VIII/LX, 19-24.
- Mazzeo, N.A.; 1982: "Características de la turbulencia en la capa de superficie de la atmósfera"; Publicación Int. N° 2 del Dept. de Met., F.C.E. y N., UBA.
- Monney, R.N.; 1968: "Characteristics of wind and turbulence in and above model forests"; J. of Appl. Met., Vol. 7, 780-787.

- Monin, A.S. y Chukhov, A.M.; 1953: "Dimensionless turbulence characteristics in the surface layer of the atmosphere": Dokl. Akad. Nauk, USSR, Vol. 93, 223-226.
- Monin, A.S. y Chukhov, A.M.; 1954: "Basic turbulence-mixing relationships in the surface layer of the atmosphere"; Tr. Geofiz. In-ta Akad. Nauk, USSR, Vol. 24, 163-187.
- Nikuradse, J.; 1933: "Stromungsvesetze in Rauhen Rohern", Verhandl. deut. Ing. Forschungsheft, N° 361.
- Oke, T.R.; 1981: "Boundary Layer Climates", 2ª Edición, Methuen and Co., London and New York.
- Cliver, G.; 1971: "Wind profiles in and above a forest canopy"; Quart. J. of Royal Met. Soc., Vol. 97, 548-553.
- Panofsky, H.; 1973: "Tower Micrometeorology", en Workshop on Micrometeorology, A.M.S.
- Panofsky, H. y Petersen, E.; 1972: "Wind profiles and change of terrain roughness at Risso", Quart. J. of Roy. Met. Soc., Vol. 98, 845-854.
- Pasquill, F.; 1970: "Prediction of diffusion over an Urban Area", Publication P-86.
- Pasquill, F.; 1972: "Some aspects of boundary layer description", Quart. J. of Roy. Met. Soc., Vol. 98.
- Pasquill, F. y Smith, F.B.; 1974: "Eddy coefficients for vertical diffusion in the neutral surface layer", Bound. Layer Met., Vol. 7, 227-228.
- Paulson, C.A.; 1970: "The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer"; J. of Appl. Met., Vol. 9, 857-861.
- Penmann, H.L. y Long, I.F.; 1959: "Weather in wheat: an essay in micro-meteorology"; Quart. J. of Royal Met. Soc., Vol. 85, 16-59.
- Plate, E.J.; 1971: "Aerodynamic characteristics of atmospheric boundary layer"; U.S. Atomic Energy Commission, (NITS TID-25465).
- Plate, E.J. y Quraishi, A.A.; 1965: "Modeling of velocity distributions inside and above tall crops"; J. of Appl. Met., Vol. 4, 400-408.
- Prandtl, L.; 1932: "Meteorologische anwendungen der strömungslehre"; Beitr. Phys. fr. Atmosph., Vol. 19, 198-202.
- Prandtl, L. y Tietjens, C.; 1934: "Applied Hydro- and Aeromechanics"; Engineering Societies Monographs, Mc. Graw Hill.
- Reynolds, O.; 1895: "On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion"; Phil. Trans. Roy. Soc. London, Vol. 186.
- Gadeh, W.Z.; Cermak, J.E. y Kawatani, T.; 1970: "Flow over high roughness elements"; Bound. Layer Met., Vol. 3, 321-344.



- Schlichting, H.;1968:" Boundary Layer Theory"; 6<sup>o</sup> ed., Mc. Graw Hill.
- Schuepp, P.H. y White, K.D.;1975:" Transfer processes in vegetation by electro-chemical analog"; Bound. Layer Met., Vol. 8, 335-358.
- Seginer, U.;1974:" Aerodynamic roughness of vegetated surfaces"; Bound. Lay. Met., Vol. 5, 383-393.
- Seginer, I.; Mulhearn, E.J.; Bradley, E.F. y Finnigan, J.J.;1976:" Turbulence flow in a model plant canopy"; Bound. Layer Met., Vol. 10, 423-453.
- Seginer, I. y Mulhearn, E.J.;1978:" A note on vertical coherence of streamwise turbulence inside and above a model plant canopy"; Bound. Layer Met., Vol. 14, 515-523.
- Smedman-Högström, A.S. y Högström, U.;1973:" The Marsta Micrometeorological Fields Project. Profile measurements systems and some preliminary data"; Bound. Layer Met., Vol. 5, 252-274.
- Snedecor, G.W. y Cochran, W.G.;1982:" Métodos Estadísticos", 9<sup>o</sup> Edición, C.E.C.S.A., México.
- Shaw, R.H.;1977:" Secondary wind speed maxima inside plant canopies"; J. of Appl. Met., Vol. 16, 514-521.
- Sutton, G.G.;1953:" Micrometeorology"; Mc. Graw Hill.
- Tennekes, H.;1968:" Outline of a second-order theory of turbulence pipe flow"; AIAA J., Vol. 6, 1735-1740.
- Tennekes, H. y Lumley, J.L.;1972:" A first course in turbulence"; MIT Press.
- Tennekes, H.;1973:" The logarithmic wind profile"; J. Atm. Sc., Vol. 30, 234-238.
- Thom, A.S.;1971:" Momentum absorption by vegetation"; Quart. J. Royal Met. Soc., Vol. 97, 414-428.
- Vilee, C.;1966:" Biología", 4<sup>o</sup> Edición, Editorial Interamericana, S.A., México.
- Weber, A.H.; Irwin, J.S.; Kahlen, J.F. y Petersen, W.B.;1975:" Atmospheric turbulence properties in the lowest 300 meters"; EPA-600/4-75-004.
- Weier, T; Stocking, C. y Barbour, M.;1979:" Botánica", Editorial Limusa, México.
- Wilson, C. y Loomis, W.;1974:" Botánica", Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana, México.
- Wilson, N.R. y Shaw, R.H.;1977:" A higher order closure model for canopy flow"; J. of Appl. Met., Vol. 16, 1197-1205.
- Yaglom, A.M.;1977:" Comments on wind and temperature flux profile relationships", Bound. Layer Met., Vol. 11, 89-102.
- Yamamoto, G.; Yasuda, N. y Shimanuki, A.;1968:" Effect of thermal stratification on the Ekman layer"; J. Met. Soc. Japan, Vol. 46, 442-455.

ANEXO

A.1.- Cálculo del gradiente vertical de la velocidad media del viento por diferencias finitas

La cortante vertical de la velocidad media del viento entre dos niveles contiguos ( $z_1$  y  $z_2$ ), de medición de la velocidad, es determinada, por diferencias finitas, de acuerdo con la siguiente expresión :

$$\left. \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right|_{z'} = \frac{\bar{u}(z_2) - \bar{u}(z_1)}{z_2 - z_1} \quad (A1)$$

donde  $\bar{u}(z_2)$  y  $\bar{u}(z_1)$  son las velocidades medias del viento observadas a los niveles  $z_2$  y  $z_1$ , respectivamente. La cortante así determinada es representativa para el nivel  $z' = (z_2 \cdot z_1)^{0.5}$ .

A.2.- Cálculo de la velocidad media del viento en el tope de la vegetación, ( $\bar{u}(h)$ ) y de la velocidad de fricción en la capa de flujos constantes, ( $u_{*0}$ ).

La velocidad media del viento en el tope de la cobertura vegetal y de la velocidad de fricción correspondiente a la capa de flujos reajustados, pueden ser determinadas a través de la medición de dos velocidades medias del viento a diferentes niveles,  $z_1$  y  $z_2$ , dentro de la capa atmosférica de transición, empleando el siguiente sistema de ecuaciones :

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{u}(z_1) = \bar{u}(h) + \frac{u_{*0}}{k} \left( 1.11 + 0.496 \frac{\bar{u}(h)}{u_{*0}} \right) \cdot \Psi' (z_1/h) \\ \bar{u}(z_2) = \bar{u}(h) + \frac{u_{*0}}{k} \left( 1.11 + 0.496 \frac{\bar{u}(h)}{u_{*0}} \right) \cdot \Psi' (z_2/h) \end{array} \right. \quad (A2)$$

con este sistema de ecuaciones se deben encontrar valores de  $\bar{u}(h)$  y  $u_{*0}$  tales que cumplan que  $(\bar{u}(h) / u_{*0}) \leq 6$ . En caso de no cumplirse este requisito, el sistema de ecuaciones a utilizar será el siguiente :

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{u}(z_1) = \bar{u}(h) + \frac{u_{*0}}{k} \cdot 4.086 \quad \Psi'(z_1/h) \\ \bar{u}(z_2) = \bar{u}(h) + \frac{u_{*0}}{k} \cdot 4.086 \quad \Psi'(z_2/h) \end{array} \right. \quad (A3)$$

debiéndose encontrar de la resolución la condición  $(\bar{u}(h) / u_{*0}) \geq 6$ . Tanto en el sistema de ecuaciones (A2) como en el (A3), la función  $\Psi'$  para  $z = z_1$  y  $z = z_2$  está dada por las siguientes expresiones, dependiendo de la estabilidad atmosférica :

- Neutralidad o inestabilidad atmosférica

$$\Psi'(z/h) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{1 - (z/h)^{-2.41}}{2.41} & \text{si } 1 \leq \frac{z}{h} \leq 1.5 \\ 0.376 \ln \frac{z}{h} + 0.106 & \text{si } 1.5 \leq \frac{z}{h} \leq \frac{z_*}{h} \end{array} \right. \quad (A4)$$

- Estabilidad atmosférica

$$\Psi'(z/h) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{1 - (z/h)^{-1.27}}{1.27} & \text{si } 1 \leq \frac{z}{h} \leq 1.47 \\ 0.417 \ln \frac{z}{h} + 0.132 \frac{z}{h} + 0.05 & \text{si } 1.47 \leq \frac{z}{h} \leq \frac{z_*}{h} \end{array} \right. \quad (A5)$$

APENDICE 1

- TABLA A1-1 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de neutralidad atmosférica. (1)
- TABLA A1-2 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional de la variación vertical de la velocidad de fricción en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de inestabilidad atmosférica. (1)
- TABLA A1-3 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de estabilidad atmosférica. (1)
- TABLA A1-4 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional de la variación vertical de la velocidad de fricción en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de estabilidad atmosférica. (1)
- TABLA A1-5 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa interna de la atmósfera. (1)

(1) Las experiencias identificadas con \* presentan sus valores observacionales en forma gráfica.

TABLA A1-1 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de neutralidad atmosférica. (Thom , 1971 ; Cionco y otros, 1963 ; Kondo y Akashi, 1976; Desjardins y otros, 1978; Clarke y Brook, 1979).

Velocidad:	Mets. h = 1.18 m				Mets. h = 2.73 m		Mets. h = 2.0 m	Mets. h = 2.60 m					Accinas, h = 10 m	
Caso	C	D	E	F	A	B		A	B	C	D	E	4-07	5-07
z <sub>0</sub> (m)														
1.10	0.50	0.55	1.05	1.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.23	0.60	0.97	1.25	1.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.48	0.96	1.37	1.72	1.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.70	1.17	1.71	2.12	2.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.46	1.45	1.75	2.42	2.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.60	-	-	-	-	-	-	-	2.00	1.30	1.95	2.13	2.25	-	-
2.70	-	-	-	-	2.50	3.39	-	-	-	-	-	-	-	-
2.92	-	-	-	-	-	-	-	2.75	2.20	2.25	2.63	2.75	-	-
2.76	1.56	2.10	2.61	2.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.04	-	-	-	-	2.65	3.57	-	-	-	-	-	-	-	-
3.40	-	-	-	-	3.17	4.17	-	-	-	-	-	-	-	-
3.5	-	-	-	-	-	-	-	2.70	2.25	2.55	3.05	3.15	-	-
4.10	-	-	-	-	-	-	-	2.80	2.80	2.75	3.25	3.25	-	-
4.18	-	-	-	-	3.40	4.65	-	-	-	-	-	-	-	-
4.70	-	-	-	-	-	-	-	3.05	3.00	2.75	3.50	3.50	-	-
5.40	-	-	-	-	3.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.65	-	-	-	-	4.00	5.74	-	-	-	-	-	-	-	-
7.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.72	1.00
12.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.47	1.40
15.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	1.94
20.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
20.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.82	2.50
24.00	-	-	-	-	-	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-
28.20	-	-	-	-	-	-	1.82	-	-	-	-	-	-	-
28.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.87	2.87
$C_D(z)$	0.390	0.210	0.271	0.195	0.072	0.079	0.760	0.065	0.115	0.271	0.343	0.109	0.002	0.252

Velocidad:	Accinas, h = 10 m						
Caso	09-07	09-09	11-09	15-17	17-17	11-17	17-07
z <sub>0</sub> (m)							
1.11	-	-	-	-	-	-	-
1.15	-	-	-	-	-	-	-
1.31	-	-	-	-	-	-	-
1.90	-	-	-	-	-	-	-
2.11	-	-	-	-	-	-	-
2.40	-	-	-	-	-	-	-
2.60	-	-	-	-	-	-	-
2.81	-	-	-	-	-	-	-
3.07	-	-	-	-	-	-	-
3.46	-	-	-	-	-	-	-
3.4	-	-	-	-	-	-	-
3.91	-	-	-	-	-	-	-
3.9	-	-	-	-	-	-	-
4.11	-	-	-	-	-	-	-
4.10	-	-	-	-	-	-	-
4.71	-	-	-	-	-	-	-
5.40	-	-	-	-	-	-	-
6.65	-	-	-	-	-	-	-
7.76	1.55	1.00	2.51	1.69	1.29	0.63	1.29
12.71	1.76	2.11	2.97	1.96	1.63	0.09	1.46
15.76	2.01	2.70	3.42	2.30	1.94	1.05	1.67
20.00	-	-	-	-	-	-	-
20.84	2.75	2.60	3.05	2.60	2.22	1.17	1.03
24.00	-	-	-	-	-	-	-
28.20	-	-	-	-	-	-	-
28.34	2.45	2.71	4.16	2.05	2.55	1.30	1.75
$C_D(z)$	0.123	0.167	0.175	0.091	0.111	0.172	0.010

TABLA A1-2 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional de la variación vertical de la velocidad de fricción en la capa de transición de la atmósfera , en condiciones de inestabilidad atmosférica , ( Clarke y Brook, 1979 ). (  $\bar{u} = \left[ \frac{u}{\pi} \right] = \text{m/s}$  ) .

Experimento	01-15	01-16	01-17	02-11	02-13	02-14	02-15	02-16	02-17
$\bar{u}$									
z/h									
1,00	2,96	2,14	1,57	2,77	2,00	2,24	2,05	1,77	1,63
1,25	2,71	2,47	1,97	3,36	3,16	2,55	2,32	1,91	1,76
1,50	3,12	2,99	2,20	3,20	3,91	2,96	2,65	2,27	2,22
2,00	3,47	3,28	2,60	4,12	4,47	3,11	2,90	2,49	2,52
2,50	3,72	3,53	3,06	4,42	4,14	3,20	3,14	2,60	2,72
$z/L^*$	-0,097	-0,175	-0,091	-0,294	-0,264	-0,250	-0,447	-0,320	-0,122
$\sigma_{\epsilon}(\%)$	0,633	0,491	0,771	0,294	0,603	0,472	0,473	0,456	0,308
Experimento	03-10	03-11	03-12	03-13	04-10	04-12	04-14	04-15	04-16
$\bar{u}$									
z/h									
1,00	1,01	2,26	2,14	1,63	1,10	1,63	1,47	1,35	1,24
1,25	2,07	2,53	2,40	1,83	1,10	1,90	1,64	1,47	1,46
1,50	2,34	2,86	2,70	2,27	1,20	2,08	1,80	1,65	1,54
2,00	2,55	3,15	3,07	2,80	1,24	2,21	1,76	1,70	1,67
2,50	2,72	3,33	3,23	2,26	1,25	2,40	2,00	1,70	1,73
$z/L^*$	-0,029	-0,296	-0,525	-1,012	-3,514	-1,170	-0,962	-1,175	-0,591
$\sigma_{\epsilon}(\%)$	0,333	0,533	0,455	0,360	0,224	0,342	0,365	0,347	0,335
Experimento	04-17	05-11	05-12	05-13	05-14	05-15	05-16	05-17	06-01
$\bar{u}$									
z/h									
1,00	1,26	2,31	2,62	2,33	2,44	2,29	1,90	1,42	1,43
1,25	1,40	2,71	3,03	2,33	2,96	2,62	2,21	1,70	1,77
1,50	1,63	3,06	3,34	3,42	3,19	2,90	2,36	2,01	2,00
2,00	1,94	3,19	3,27	3,77	3,34	3,20	2,35	2,32	2,37
2,50	2,03	3,01	-	4,16	3,73	3,37	3,16	2,67	2,77
$z/L^*$	-0,140	-0,253	-0,210	-0,122	-0,105	-0,220	-0,106	-0,051	-0,463
$\sigma_{\epsilon}(\%)$	0,291	0,377	0,600	0,600	0,642	0,391	0,522	0,413	0,302
Experimento	06-09	06-10	06-11	06-12	06-13	06-14	06-16	07-09	07-10
$\bar{u}$									
z/h									
1,00	1,53	2,43	3,30	2,97	2,82	2,69	2,29	2,71	3,49
1,25	1,74	2,73	3,75	3,44	3,10	3,09	2,67	3,29	4,00
1,50	1,98	3,10	4,23	3,93	3,50	3,59	3,12	3,93	4,74
2,00	2,11	3,51	4,79	4,31	3,96	3,92	3,54	4,32	5,36
2,50	2,23	3,91	5,17	4,65	4,25	4,25	3,92	4,72	5,88
$z/L^*$	-1,027	-0,375	-1,133	-0,109	-0,266	-0,195	-0,109	-0,119	-0,096
$\sigma_{\epsilon}(\%)$	0,371	0,447	0,127	0,667	0,577	0,632	0,615	0,600	0,753

(continúa)

BLA A1-2 : ( continuación )

Experimento	07-11	07-12	07-13	07-14	07-16	07-17	07-09	07-10	07-11	12-11	12-12	12-14	12-15	12-17	13-11
u															
u/h															
1,000	3,62	3,15	2,94	2,00	2,12	1,63	2,49	2,30	2,46	3,75	3,10	2,52	2,05	2,59	3,03
1,251	4,20	3,09	3,45	3,07	2,46	1,86	2,71	2,67	2,00	4,32	3,69	2,06	3,27	3,00	3,47
1,576	4,09	4,26	4,00	3,46	2,01	3,30	3,36	3,19	3,13	4,93	1,26	3,01	3,77	3,51	3,32
2,014	5,54	4,09	4,40	3,03	3,17	2,67	3,76	3,50	3,42	5,43	4,71	3,64	4,25	3,99	4,36
2,052	6,01	5,33	4,92	4,13	3,49	3,64	4,11	3,07	3,76	5,90	5,16	3,05	4,66	4,79	4,79
$\sigma^2/L^2$	-0,004	-0,110	-0,114	-0,107	-0,196	-0,093	-0,160	-0,170	-0,283	-0,166	-0,194	-0,292	-0,225	-0,034	-0,271
$\mu_{\sigma^2}(s^2)$	0,014	0,037	0,021	0,642	0,592	0,463	0,562	0,634	0,649	0,096	0,293	0,501	0,634	0,664	0,471
Experimento	08-13	08-15	08-16	08-17	08-10	08-11	08-12	08-14	08-15	14-14	14-17	16-09	16-16	16-17	17-09
u															
u/h															
1,000	1,07	2,01	1,75	1,40	2,32	2,30	2,59	2,01	1,92	2,54	1,93	1,36	1,26	1,00	2,35
1,251	2,01	2,24	2,03	1,67	2,66	3,22	2,90	2,13	2,20	2,92	2,17	1,49	1,42	1,28	2,62
1,576	2,35	2,51	2,29	1,99	3,06	3,72	3,26	2,35	2,51	3,21	2,59	1,70	1,59	1,44	3,22
2,014	2,56	2,75	2,54	2,36	3,40	4,16	3,99	2,54	2,79	3,47	2,97	1,94	1,71	1,69	3,56
2,052	2,72	2,94	2,76	2,76	3,74	4,52	3,97	2,71	3,04	3,69	3,54	1,97	1,74	1,89	3,90
$\sigma^2/L^2$	-0,591	-0,369	-0,291	-0,017	-0,396	-0,105	-0,223	-0,370	-0,308	-0,360	-0,077	-2,197	-0,439	-0,100	-0,363
$\mu_{\sigma^2}(s^2)$	0,473	0,518	0,493	0,403	0,465	0,696	0,890	0,532	0,520	0,522	0,461	0,224	0,354	0,229	0,450
Experimento	08-17	10-08	10-09	10-10	10-11	10-12	10-14	10-15	10-17	17-14	10-12	10-13	10-15	10-17	10-10
u															
u/h															
1,000	1,46	1,99	2,09	3,31	3,09	2,69	2,19	2,31	1,62	1,96	1,68	1,34	1,41	0,63	1,40
1,251	1,72	2,30	2,47	3,99	3,64	3,16	2,39	2,71	1,93	2,25	1,99	1,49	1,61	0,99	1,54
1,576	2,62	2,65	2,09	4,99	4,22	3,54	2,72	3,11	2,31	2,54	2,14	1,64	1,79	1,05	1,75
2,014	2,35	3,11	3,20	5,15	4,72	3,07	2,99	3,45	2,66	2,84	2,33	1,75	1,99	1,17	1,97
2,052	2,64	3,36	3,51	5,76	5,17	4,13	3,70	3,73	3,00	2,99	2,46	1,77	1,97	1,34	1,99
$\sigma^2/L^2$	-0,099	-0,089	-0,109	-0,105	-0,108	-0,107	-0,479	-0,247	-0,150	-0,299	-0,254	-12,542	-0,291	-0,291	-0,619
$\mu_{\sigma^2}(s^2)$	0,456	0,542	0,793	0,713	0,801	0,665	0,500	0,592	0,470	0,996	0,499	0,171	0,103	0,228	0,329
Experimento	11-10	11-11	11-13	11-15	11-16	11-17	12-08	12-09	12-10	20-11	20-15	21-11	21-14	21-15	22-10
u															
u/h															
1,000	2,96	3,39	1,96	1,97	2,26	1,54	1,29	2,39	3,99	2,95	2,99	1,62	2,16	2,04	1,59
1,251	3,41	3,97	2,21	2,27	2,57	1,92	1,49	3,21	4,61	3,93	2,61	1,92	2,47	2,09	1,77
1,576	3,99	4,43	2,51	2,59	2,99	2,15	1,69	3,72	5,31	3,99	3,04	2,06	2,99	2,41	2,01
2,014	4,20	4,99	2,71	2,99	3,34	2,46	1,99	4,28	6,01	3,99	3,32	2,22	3,14	2,69	2,22
2,052	4,63	5,40	2,90	2,95	3,66	2,70	2,07	4,63	6,70	4,24	3,70	2,32	3,21	2,99	2,32
$\sigma^2/L^2$	-0,131	-0,133	-1,479	-0,499	-0,192	-0,120	-0,229	-0,244	-1,004	-0,225	-0,391	-1,166	-0,756	-0,165	-0,731
$\mu_{\sigma^2}(s^2)$	0,129	0,717	0,329	0,469	0,559	0,443	0,309	0,514	0,666	0,641	0,561	0,976	0,445	0,514	0,795

Experimento	23-11	23-14	23-17	24-08	24-09	24-11	24-17	25-13	25-17
u									
u/h									
1,000	2,22	2,25	1,54	1,10	1,33	2,03	1,70	2,23	1,69
1,251	2,52	2,53	1,92	1,26	1,47	2,31	1,91	2,52	1,99
1,576	2,99	2,94	2,15	1,45	1,62	2,64	1,99	2,83	2,34
2,014	3,16	3,15	2,47	1,69	1,77	2,94	2,11	3,07	2,71
2,052	3,51	3,37	2,72	1,95	1,90	3,13	2,44	3,19	2,99
$\sigma^2/L^2$	-0,711	-0,270	-0,064	-0,231	-0,957	-0,399	-0,024	-0,756	-0,165
$\mu_{\sigma^2}(s^2)$	0,460	0,614	0,499	0,194	0,199	0,608	0,360	0,391	0,427
Experimento	26-07	26-12	26-14	26-17	27-17	28-09	28-10	28-11	28-12
u									
u/h									
1,000	1,49	2,57	2,26	2,20	2,03	3,06	5,20	4,33	4,14
1,251	2,79	2,99	2,54	2,54	2,40	4,63	6,03	5,05	4,76
1,576	3,34	3,26	2,85	2,94	2,94	5,41	6,99	5,02	5,44
2,014	3,79	3,61	3,11	3,39	3,20	6,16	7,95	6,59	6,19
2,052	4,23	3,94	3,27	3,79	3,73	6,89	8,66	7,34	6,79
$\sigma^2/L^2$	-0,115	-0,520	-0,031	-0,021	-0,027	-0,051	-0,046	-0,055	-0,070
$\mu_{\sigma^2}(s^2)$	0,499	0,504	0,403	0,510	0,621	0,699	1,100	1,091	1,026
Experimento	28-15	28-16	28-17	29-10	29-16	29-17			
u									
u/h									
1,000	3,64	3,47	2,83	3,99	2,26	1,49			
1,251	4,20	4,16	3,36	4,30	2,54	1,94			
1,576	4,93	4,67	3,70	5,32	2,93	2,22			
2,014	5,97	5,29	4,42	6,03	3,34	2,61			
2,052	6,17	5,25	4,93	6,75	3,62	2,99			
$\sigma^2/L^2$	-0,092	-0,070	-0,042	-0,094	-0,022	-0,023			
$\mu_{\sigma^2}(s^2)$	0,997	0,992	0,776	0,997	0,490	0,539			

TABLA A1-3 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa atmosférica de transición, para estratificación térmica estable. ( Oliver, 1971 ; Penman y Long, 1959 ).

Vegetación	Pino, h=15.5 m		Trigo, h = 0.64 m				
	z/h	u(z)/u(h)	z/h	u(z)/u(h)	z/h	u(z)/u(h)	z/h
1.00	1.70	0.71	1.64	1.36	1.73	1.71	1.73
1.03	1.75	0.59	-	-	-	-	-
1.10	2.47	1.00	-	-	-	-	-
1.12	-	-	-	1.65	2.09	2.07	2.09
1.17	-	-	2.03	-	-	-	-
1.31	2.28	1.40	-	-	-	-	-
1.44	3.30	1.65	-	-	-	-	-
1.66	3.67	2.10	-	-	-	-	-
1.81	-	-	-	2.36	2.70	2.66	2.67
2.07	-	-	2.69	-	-	-	-
2.69	-	-	-	-	-	3.57	3.58
3.61	-	-	-	3.46	3.60	-	-
3.81	-	-	-	-	-	-	-
0.10	0.100	0.100	0.022	0.021	0.119	0.079	0.119



TABLA A1-4 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional de la variación vertical de la velocidad de fricción en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de estabilidad atmosférica. ( Clarke y Brook, 1979 ).

Experimento	05-10	05-20	07-10	07-19	07-22	07-23	07-20	09-21
$\bar{u}$ (m/s)								
$z/h$								
1.00	1.15	1.20	2.17	1.39	2.24	1.76	1.41	1.50
1.25	1.56	1.70	2.91	1.93	2.73	2.40	1.89	1.93
1.50	2.13	2.33	3.41	2.45	3.24	2.91	2.51	2.46
2.00	2.97	3.15	3.45	3.30	3.05	3.53	3.35	3.13
2.00	3.73	4.23	3.91	4.43	4.59	4.20	4.50	3.75
$\kappa^2/z^2$	2.291	1.793	0.418	5.761	1.086	0.052	0.592	0.992
$\bar{u}(h)/\bar{u}(z)$	6.006	6.166	5.522	17.021	4.391	3.551	5.618	6.073
Experimento	10-2	10-07	12-10	13-10	19-02	19-02	19-23	20-06
$\bar{u}$ (m/s)								
$z/h$								
1.00	1.33	1.75	1.27	1.22	1.27	1.61	0.97	1.13
1.25	1.70	2.10	1.09	1.96	1.60	2.01	1.31	1.56
1.50	2.20	2.54	2.20	2.07	2.05	2.49	1.82	2.12
2.00	2.97	3.01	2.75	2.67	2.99	3.06	2.39	2.91
2.00	3.97	3.67	3.40	3.36	3.19	3.76	3.04	3.99
$\kappa^2/z^2$	1.113	0.070	0.119	0.106	0.291	0.257	0.066	1.066
$\bar{u}(h)/\bar{u}(z)$	11.075	4.061	3.510	3.642	5.699	3.946	4.254	6.600
Experimento	20-10	21-22	21-23	22-10	22-23	23-10	26-01	27-21
$\bar{u}$ (m/s)								
$z/h$								
1.00	0.71	1.22	1.73	1.10	1.42	0.70	1.35	2.23
1.25	1.01	1.66	2.14	1.53	1.94	1.29	1.81	2.75
1.50	1.49	2.24	2.71	2.03	2.41	1.70	2.42	3.31
2.00	2.16	3.05	3.39	2.99	3.26	2.72	3.19	4.07
2.00	2.49	4.10	4.22	3.41	4.46	3.99	3.96	4.95
$\kappa^2/z^2$	0.514	11.519	0.310	0.275	0.594	0.509	0.275	0.163
$\bar{u}(h)/\bar{u}(z)$	3.170	10.769	5.475	4.197	5.009	5.696	12.273	6.799
Experimento	27-23	28-10	28-22	28-00				
$\bar{u}$ (m/s)								
$z/h$								
1.00	1.49	0.95	3.02	0.92				
1.25	1.81	1.33	3.53	1.32				
1.50	2.26	1.82	4.15	1.82				
2.00	2.85	2.43	4.83	2.41				
2.00	3.30	3.15	5.66	3.06				
$\kappa^2/z^2$	0.190	3.473	0.061	1.423				
$\bar{u}(h)/\bar{u}(z)$	3.431	2.964	4.338	4.017				

TABLA A1-5 : Valores observacionales utilizados en la determinación de la forma funcional del perfil adimensional de la velocidad media del viento en la capa interba de la atmósfera . ( Seginer y Mulhearn, 1978; Thom, 1971; Seginer y otros, 1976; Kondo y Akashi, 1976; Sadeh y otros, 1970; Merooney, 1968; Allen, 1968 ).

Vegetación		pp. Varillas, h=19,0m	
Tipo	A	A	
$\frac{z}{h}$	1,91	1,91	
Experimento	-	-	
$C_D(h)$	0,073	0,073	
$\bar{u}$ (m/s)			
u/h			
0,031	1,07	2,42	
0,101	2,04	2,42	
0,131	2,19	2,40	
0,223	2,64	2,72	
0,354	2,94	3,09	
0,505	4,01	4,23	
0,729	5,36	5,00	
0,970	7,07	7,25	
1,050	8,07	11,51	
1,107	9,13	9,36	
$a_{(z)}$ (m <sup>-1</sup> )			
Intervalo de z/h			
0,10-1,10	0,101	0,101	

Vegetación		pp. Varillas, h=7m	
Tipo	A	A	
$\frac{z}{h}$	0,71	0,71	
Experimento	-	-	
$C_D(h)$	0,073	0,072	
$\bar{u}$ (m/s)			
u/h			
0,044	2,90	2,74	
0,339	4,25	4,56	
0,637	5,13	5,39	
0,937	6,31	6,56	
1,000	7,31	7,25	
$a_{(z)}$ (m <sup>-1</sup> )			
Intervalo de z/h			
0,10-1,0	0,101	0,074	

Vegetación		pp. Varillas, h=14,5	
Tipo	A	A	
$\frac{z}{h}$	1,43	1,43	
Experimento	x=10m	x=16m	
$C_D(h)$	2,742	3,122	
$\bar{u}$ (m/s)			
u/h			
0,150	0,05	0,15	
0,350	0,07	0,07	
0,450	0,08	0,08	
0,650	0,17	0,17	
0,750	0,17	0,17	
0,850	0,29	0,29	
0,950	1,56	0,49	
$a_{(z)}$ (m <sup>-1</sup> )			
Intervalo de z/h			
0,10-1,0	0,10	0,10	

Vegetación		pp. Trigo, h=14 m		Vegetación			pp. Árboles artificiales, h=10 m		
Tipo	A	B	B	B	B	B	B	B	B
$\frac{z}{h}$	3,02	1,072	1,072	1,072	1,072	1,072			
Experimento	-	x=4m	x=5m	x=6m					
$C_D(h)$	0,825	0,074	0,174	0,581					
$\bar{u}$ (m/s)									
u/h									
0,357	0,21	0,46	0,46	0,46					
0,643	0,25	0,42	0,42	0,42					
0,706	0,35	0,42	0,42	0,42					
0,729	0,6	0,49	0,49	0,49					
1,000	1,0	0,59	0,59	0,59					
$a_{(z)}$ (m <sup>-1</sup> )		0,66	0,66	0,66					
Intervalo de z/h		0,652	1,4	1,7					
0,00-0,143	0,041	0,963	1,36	1,41					
0,143-0,316	0,034	1,00	1,46	1,63					
0,316-0,471	0,023	$a_{(z)}$ (m <sup>-1</sup> )							
0,471-0,571	0,023	Intervalo de z/h							
0,571-0,715	0,073	0,000-0,270	0,022	0,022	0,022				
0,715-0,857	0,061	0,270-0,630	0,019	0,019	0,019				
0,857-1,00	0,023	0,630-1,00	0,059	0,059	0,059				

Vegetación		pp. Árboles artificiales, h=10 m			
Tipo	A	B	B	B	B
Experimento	x=3 m	x=5 m	x=7 m	x=9,5m	
$\frac{z}{h}$	1,01	0,61	0,61	0,61	
$C_D(h)$	1,011	0,147	1,52	0,741	
$\bar{u}$ (m/s)					
u/h					
0,102	0,46	0,17	0,10	0,27	
0,101	0,36	0,23	0,23	0,27	
0,201	0,27	0,20	0,20	0,20	
0,301	0,29	0,10	0,10	0,10	
0,500	0,27	0,17	0,20	0,20	
0,672	0,36	0,32	0,32	0,32	
0,844	0,50	0,20	0,19	0,57	
1,115	0,20	1,43	0,36	1,23	
$a_{(z)}$ (m <sup>-1</sup> )					
Intervalo de z/h					
0,00-0,275	0,023	0,023	0,023	0,023	
0,275-0,690	0,061	0,061	0,061	0,061	
0,690-1,00	0,017	0,017	0,017	0,017	

Vegetación		Alfalfa, h=11,40 m			
Tipo	A	B	B	B	B
Experimento	R=71	R=71	R=73	R=74	
$\frac{z}{h}$	13,07	13,07	13,07	13,07	
$C_D(h)$	0,467	0,30	0,201	0,171	
$\bar{u}$ (m/s)					
u/h					
0,111	0,53	0,54	0,55	0,60	
0,331	0,53	0,57	0,52	0,56	
0,557	0,55	0,61	0,73	0,66	
0,607	0,64	0,73	0,77	0,76	
0,840	0,76	1,20	1,61	1,20	
1,115	1,41	1,69	2,40	1,74	
$a_{(z)}$ (m <sup>-1</sup> )					
Intervalo de z/h					
0,10-0,333	0,041	0,041	0,041	0,041	
0,333-0,666	0,026	0,026	0,026	0,026	
0,666-1,115	0,013	0,013	0,013	0,013	

## APENDICE 2

A2.1.- Metodología utilizada en la determinación de formas funcionales a partir de datos observacionales.

La determinación empírica de las formas funcionales utilizadas en este trabajo, se ajustó, en todos los casos, a los siguientes pasos :

- a) Determinación de las series empíricas X e Y, siendo X la variable independiente, e Y la variable dependiente.
- b) Graficado de  $Y = f(X)$  , en diferentes escalas ( lineal, logarítmica y doble logarítmico ), con el fin de obtener una información inicial del tipo de relación existente entre ambas variables.

En esta etapa se distinguen, a priori, dos posibles tipos de funciones : función única y función dividida.

b<sub>1</sub>) Función única : Determinación mediante ajuste por cuadrados mínimos de los parámetros característicos de la función :

- Función lineal :  $\tilde{Y} = a + b X$  , siendo :

$$b = \frac{\sum X \sum Y - N \sum X Y}{(\sum X)^2 - \sum X^2}$$

$$= \frac{\sum Y - b \sum X}{N}$$

donde N es el número de pares observacionales, e  $\tilde{Y}$  es la variable estimada, ( Snedecor y Cochran, 1967 ). Asimismo, se determina el coeficiente de correlación lineal y la desviación cuadrática media de la estimación como :

$$r = \frac{\sigma_X}{\sigma_Y} b \qquad S = \frac{\sum (Y - a - b X)^2}{N}$$

donde r es el coeficiente de correlación lineal,  $\sigma_X$  es la desviación estándar de X,  $\sigma_Y$  es la correspondiente a Y , S es la desviación cuadrática media de la estimación.

- Función exponencial : Siendo  $U$  y  $V$  , las variables independiente y dependiente originales respectivamente, se realiza la siguiente transformación de variables :  $X = U$  e  $Y = \ln (V)$ . El procedimiento siguiente es similar al de una función lineal, mientras que la relación final se puede expresar mediante :

$$V = \exp ( a + b U )$$

donde  $V$  es la variable estimada .

- Función potencial : Siendo  $U$  y  $V$  , las variables independiente y dependiente originales respectivamente, se realiza la siguiente transformación de variables :  $X = \ln (U)$  e  $Y = \ln (V)$ . El procedimiento siguiente es similar al de una función lineal, mientras que la relación final se expresa como :

$$V = \exp (a) U^b$$

donde  $V$  es la variable estimada.

b<sub>2</sub>) Función dividida : Siendo la serie de pares observacionales :  $(X_1, Y_1)$  ,  $(X_2, Y_2)$  , ... ,  $(X_j, Y_j)$  ,  $(X_{j+1}, Y_{j+1})$  , ... ,  $(X_{N-1}, Y_{N-1})$  ,  $(X_N, Y_N)$  , cuya relación gráfica muestra diferentes comportamientos para los pares inferiores ( subíndices menores que  $j$  ) y superiores ( subíndices mayores que  $j$  ), y debiendo existir una continuidad en la función, se realiza el siguiente tratamiento :

- Se determina para la 'región' inferior, el  $X_i$  (  $1 \leq i \leq j$  ), a partir del cual es dudoso el comportamiento ( podría pertenecer a cualquiera de la regiones, inferior o superior ), y se aplica el método de cuadrados mínimos a los pares de subíndice menor que  $i$ . Lo mismo se realiza con las diferentes muestras formadas hasta los subíndices (  $i + 1$  ), (  $i + 2$  ), ... ,  $j$  .

- Se determina para la 'región' superior, el  $X_k$  (  $j \leq k \leq N$  ), a partir del cual es dudoso el comportamiento, y se realiza el ajuste por cuadrados mínimos de la región, con los pares de subíndices mayores que  $k$ . Lo mismo se realiza con las muestras formadas desde los subíndices (  $i + 1$  ), (  $i + 2$  ), ... ,  $j$  , ... ,  $k$  .

- Se determina la relación por cuadrados mínimos, para la 'región' inferior, para las muestras formadas por pares hasta subíndices (  $j + 1$  ), ... ,  $k$  .

- Se conforman todas las posibles combinaciones de funciones inferiores obtenidas (  $F_1$  ) y superiores (  $F_2$  ), y los correspondientes  $X_s$ , tal que se cumpla  $F_1(X_s) = F_2(X_s)$

$$Y = \begin{cases} F_1(X) & , \text{ si } X \leq X_s \\ F_2(X) & , \text{ si } X \geq X_s \end{cases}$$

- Se calcula la desviación cuadrática media de cada una de las combinaciones y se selecciona la de menor valor. En caso de que dos o más de ellas sean similares, se toman como parámetros característicos los promedios de los correspondientes a cada una de dichas combinaciones, recalculando la desviación cuadrática media.

#### A2.2.- Determinación de formas funcionales

##### A2.2.1.- Perfil vertical adimensional del viento en la capa atmosférica de transición neutral

a) Perfil normalizado : - Se suavizó la serie de acuerdo con la siguiente metodología: inicialmente se promediaron para cada experiencia los valores normalizados de los experimentos, para cada nivel. Posteriormente, se realizó un segundo suavizado, vertical por promedio pesado móvil.

- Contándose con 18 valores empíricos, y observándose gráficamente la división de la función, en una zona inferior, con comportamiento potencial, y una superior constante, se determinaron las expresiones mediante ajuste por cuadrados mínimos, para la región inferior hasta  $(z/h) = 1.3, 1.35, \dots, 1.69$ ; y para la superior desde los mismos niveles.

El nivel de división de la función (  $X_s$  ) varió entre 1.417 y 1.599 de  $(z/h)$  . Los parámetros característicos y las desviaciones cuadráticas medias son los siguientes :

	$N_b$	8	10	11	12	$\bar{b}$
	b	-2.66	-2.39	-2.35	-2.24	-2.41
$N_{F_2}$	$F_2$		S	"	S	
8	0.362	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	
9	0.366	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	-
10	0.373	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	-
11	0.393	$7 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$	-
$\bar{F}_2$	0.376				-	$7 \times 10^{-3}$

$N_b$  y  $N_{F_2}$  representan la cantidad de pares utilizados en la determinación por ajuste por cuadrados mínimos para las regiones inferior y superior respectivamente.

b) Perfil adimensional en el tope de la cobertura : Graficada la serie original, 21 pares, se observó la existencia de una función dividida del perfil adimensional en dependencia del coeficiente de arrastre, con una región inferior lineal con la inversa de la raíz cuadrada del coeficiente, y una superior constante. La división de la función no resultó confusa, y  $X_s = 0.023$ . Los parámetros característicos y la desviación cuadrática media fueron los siguientes :

			N	S
$F_1$	a	1.110	16	0.16
	b	0.496		
$F_2$		4.686	7	

A2.2.2.- Variación vertical de la velocidad de fricción en la capa de transición inestable

- Variación vertical de la velocidad de fricción en función de la estabilidad atmosférica : Se subdividió la serie original, ( 120 pares ), por intervalos del coeficiente de arrastre referido al nivel  $z'$ , y cada subserie se suavizó por promedio pesado móvil. Los gráficos de las subseries mostraron funciones divididas de la variación vertical de la velocidad de fricción con la estabilidad atmosférica, con una región inferior lineal y una superior constante. Los resultados del ajuste fueron los siguientes :

$C_D^{-1/4}$ D(h)	A	B	$N_{F_1}$	$F_2$	$N_{F_2}$	S
3.50	0.571	0.543	21	0.315	8	$2 \times 10^{-4}$
4.25	0.459	0.574	9	0.390	6	$1 \times 10^{-3}$
4.75	0.478	0.605	8	0.428	6	$2 \times 10^{-3}$
6.00	0.276	0.684	6	0.527	6	$3 \times 10^{-3}$

La división de la función coincidió en los diferentes intervalos del coeficiente de arrastre, en  $(z/L) = - 0.4$  .

- Variación de A y B con el coeficiente de arrastre : Para la serie de 4 pares de los parámetros característicos obtenidos previamente se realizó el ajuste por cuadrados mínimos, en función lineal, con la inversa de la raíz cuadrada del coeficiente de arrastre. Los resultados fueron los siguientes :

	a	b	S
A	0.954	-0.110	$8 \times 10^{-4}$
B	0.330	0.059	$3 \times 10^{-5}$

A2.2.3.- Perfil vertical adimensional del viento en la capa de transición estable

La serie original fue suavizada verticalmente por promedio pesado móvil. La relación gráfica del perfil vertical adimensional con la altura relativa, muestra una función

dividida, con una región inferior potencial, y una superior con comportamiento lineal. La desviación cuadrática de la estimación fue  $S = 1.5 \times 10^{-3}$ , mientras que los parámetros característicos fueron los siguientes :

	a	b
$F_1$	-	-1.270
$F_2$	0.417	0.132

La muestra consta de 14 pares, y las submuestras se conformaron con 8 la inferior y 9 la superior. No se tomaron diferentes submuestras por ser notorio el nivel de subdivisión,  $z/h = 1.47$ .

A2.2.4.- Variación vertical de la velocidad de fricción en la capa de transición estable

La relación gráfica de la variación vertical de la velocidad de fricción con el número de Reynolds friccional, mostró una clara función dividida, potencial en la región inferior, y constante en la superior. Se construyó un sólo par de submuestras, ya que el nivel de división no se presentaba confuso. La serie original constó de 28 pares, mientras que las submuestras se conformaron con 23 la inferior, y con 8 la superior. La desviación cuadrática resultó  $S = 4.4 \times 10^{-1}$ , siendo los parámetros característicos los siguientes :

$F_1$		$F_2$
$\exp(a)$	b	
$9.5 \times 10^7$	-1.43	0.47

A2.2.5.- Perfil vertical adimensional del viento en la capa interna de la atmósfera

La relación del perfil adimensional normalizado con el índice de área de arrastre normalizado, en todos los experimentos mostró una función dividida triple : una región superior potencial, una intermedia lineal y una inferior lineal diferente a la intermedia. Los parámetros característicos de cada experimento, así como sus desviaciones cuadráticas, fueron los siguientes :



$C_{D(h)}$	b	c	d	m	p	n	t	S	
2.942	8.20	0.666	0.054	0	0.096	0.05	0.010	$2.5 \times 10^{-3}$	T i p o A
3.122	7.97	0.668	0.060	0	0.091	0.05	0.010	$3.1 \times 10^{-4}$	
0.033	2.52	0.335	0.190	0	0.051	1.45	0.083	$3.8 \times 10^{-3}$	
0.038	2.80	0.356	0.156	0	0.047	2.20	0.110	$8.6 \times 10^{-4}$	
0.019	2.62	0.555	0.335	0	0.040	6.25	0.267	$1.2 \times 10^{-2}$	
0.012	2.38	0.504	0.338	0	0.035	11.05	0.397	$1.1 \times 10^{-3}$	
0.825	3.80	0.368	0.061	0	0.145	0.25	0.045	$1.4 \times 10^{-4}$	
1.846	14.22	0.855	0.210	0.065	0.073	1.60	0.067	$1.9 \times 10^{-2}$	T i p o B
1.811	15.00	0.660	0.200	0.065	0.073	1.62	0.068	$8.8 \times 10^{-4}$	
0.142	3.20	0.485	0.320	0.060	0.057	2.50	0.100	$2.2 \times 10^{-2}$	
1.532	10.60	0.800	0.190	0.060	0.066	1.70	0.066	$1.7 \times 10^{-3}$	
0.741	6.20	0.665	0.200	0.060	0.070	1.75	0.070	$2.7 \times 10^{-3}$	
0.074	2.50	0.400	0.360	0.030	0.043	3.24	0.125	$2.9 \times 10^{-3}$	
0.174	3.27	0.440	0.253	0.020	0.042	2.45	0.094	$4.9 \times 10^{-3}$	
0.578	5.06	0.680	0.285	0.045	0.054	1.90	0.072	$5.1 \times 10^{-3}$	
0.467	4.50	0.555	0.220	0.050	0.052	1.90	0.060	$3.0 \times 10^{-3}$	
0.300	3.67	0.510	0.249	0.036	0.038	2.11	0.070	$8.5 \times 10^{-3}$	
0.248	3.00	0.460	0.300	0.030	0.046	2.14	0.070	$5.8 \times 10^{-3}$	
0.121	2.80	0.495	0.333	0.030	0.047	2.58	0.106	$1.8 \times 10^{-2}$	

Los parámetros característicos mostraron gráficamente su relación con el coeficiente de arrastre, y las desviaciones cuadráticas de la estimación fueron :

	b	c	d	m	p	n	t
Tipo A	$2.5 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-7}$	$2.8 \times 10^{-3}$		$9.8 \times 10^{-4}$	$7.7 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-3}$
Tipo B	$3.1 \times 10^{-1}$	$1.0 \times 10^{-3}$	$6.8 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$	$6.8 \times 10^{-5}$	$1.9 \times 10^{-3}$	$5.5 \times 10^{-5}$

Las expresiones correspondientes a la relación de los diferentes parámetros característicos con el coeficiente de arrastre, se encuentran en las Páginas 98, 99 y 100.

APENDICE 3

- TABLA A3-1 : Muestras de velocidad media del viento observadas y generadas por el modelo propuesto, en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de neutralidad atmosférica.
- TABLA A3-2 : Perfiles verticales de la velocidad media del viento, en presencia de un cambio de rugosidad, observados y generados por el modelo desarrollado de una capa de transición.
- TABLA A3-3 : Muestras de velocidad media del viento observadas y generadas por el modelo propuesto en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de inestabilidad atmosférica.
- TABLA A3-4 : Muestras de velocidad media del viento observadas y generadas por el modelo de variación de la velocidad de fricción en condiciones de inestabilidad atmosférica, en la capa de transición de la atmósfera.
- TABLA A3-5 : Muestras de velocidad media del viento observadas y generadas por el modelo propuesto, en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones estables.
- TABLA A3-6 : Muestras de velocidad media del viento observadas y generadas por el modelo de variación de la velocidad de fricción en condiciones estables, en la capa de transición de la atmósfera.
- TABLA A3-7 : Muestras de velocidad media del viento observadas y generadas por el modelo desarrollado en la capa interna de la atmósfera.

TABLA A3-1 : Muestras observadas y generadas por el modelo propuesto de velocidad media del viento en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de neutralidad atmosférica. Las velocidades se encuentran expresadas en m/ s . ( Oliver, 1971; Schuepp y White, 1975; Thom , 1971; Seginer y otros, 1976; Seginer y Mulhearn, 1978; Meroney, 1968; Sadeh y otros, 1970; Cionco y otros, 1963 ) .

Vegetación	Pinos, h= 15.5 m				
Experimento	$C_D(h) = 0.314, \bar{u}(h) = 1.16$				
z/h	1.03	1.16	1.31	1.47	1.64
$\bar{u}$ medido	1.25	1.55	1.82	2.02	2.20
$\bar{u}$ calculado	-	1.56	1.80	1.97	2.12

Vegetación	Modelo electrónico, h= 5 cm						
Experimento	$C_D(h) = 1.177, \bar{u}(h) = 0.20$						
z/h	1.03	1.06	1.11	1.15	1.18	1.21	1.23
$\bar{u}$ medido	0.22	0.24	0.25	0.26	0.26	0.25	0.25
$\bar{u}$ calculado	0.22	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	-

Experimento	$C_D(h) = 5.510, \bar{u}(h) = 0.31$						
z/h	0.40	-	0.50	0.65	0.71	0.74	1.04
$\bar{u}$ medido	0.40	-	0.50	0.65	0.71	0.74	1.04
$\bar{u}$ calculado	0.40	-	0.65	0.73	0.78	0.92	-

Experimento	$C_D(h) = 0.619, \bar{u}(h) = 0.66$						
z/h	0.70	0.84	0.92	0.95	1.00	1.10	1.21
$\bar{u}$ medido	0.70	0.84	0.92	0.95	1.00	1.10	1.21
$\bar{u}$ calculado	0.75	0.81	0.90	0.95	1.04	1.12	-

Experimento	$C_D(h) = 0.090, \bar{u}(h) = 0.73$						
z/h	0.70	0.81	0.84	0.87	0.93	0.97	-
$\bar{u}$ medido	0.70	0.81	0.84	0.87	0.93	0.97	-
$\bar{u}$ calculado	0.77	0.81	0.82	0.81	0.94	-	-

Experimento	$C_D(h) = 3.079, \bar{u}(h) = 0.71$						
z/h	1.02	1.11	1.18	1.20	1.26	1.26	1.27
$\bar{u}$ medido	1.02	1.11	1.18	1.20	1.26	1.26	1.27
$\bar{u}$ calculado	1.13	1.10	1.15	1.20	1.23	1.30	-

Vegetación	Arboles artificiales, h= 10cm					
Experimento	$z/h = 22.22, C_D(h) = 0.074, \bar{u}(h) = 1.47$					
z/h	1.11	1.26	1.37	1.46	2.26	2.52
$\bar{u}$ medido	1.61	1.90	2.07	2.56	-	-
$\bar{u}$ calculado	1.74	1.91	2.11	2.34	-	-

Experimento	$z/h = 21.77, C_D(h) = 0.174, \bar{u}(h) = 1.63$					
z/h	1.03	2.11	2.27	-	-	-
$\bar{u}$ medido	1.03	2.11	2.27	-	-	-
$\bar{u}$ calculado	1.21	2.31	2.41	-	-	-

Experimento	$z/h = 33.33, C_D(h) = 0.521, \bar{u}(h) = 1.47$					
z/h	1.03	2.28	2.40	3.21	3.51	-
$\bar{u}$ medido	1.03	2.28	2.40	3.21	3.51	-
$\bar{u}$ calculado	1.02	2.34	2.55	3.24	3.51	-

Experimento	$z/h = 55.55, C_D(h) = 0.401, \bar{u}(h) = 1.57$					
z/h	1.03	2.21	2.53	3.27	3.40	3.83
$\bar{u}$ medido	1.03	2.21	2.53	3.27	3.40	3.83
$\bar{u}$ calculado	2.00	2.40	2.60	3.26	3.50	3.70

Vegetación	Farfanes, h = 14.3cm				
Experimento	$z/h = 0.70, C_D(h) = 2.942, \bar{u}(h) = 0.57$				
z/h	1.15	1.30	1.45	1.66	1.75
$\bar{u}$ medido	0.83	1.03	1.31	1.40	1.63
$\bar{u}$ calculado	0.96	1.22	1.37	1.51	-

Experimento	$z/h = 1.12, C_D(h) = 3.122, \bar{u}(h) = 0.51$				
z/h	0.75	1.03	1.10	1.29	1.46
$\bar{u}$ medido	0.75	1.03	1.10	1.29	1.46
$\bar{u}$ calculado	0.86	1.09	1.24	1.36	-

(continúa)

TABLA A3-1 : (continuación)

Vegetación		Ion artificial, h = 10 cm								
Experimento		$z/h = 11.11, C_D(h) = 1.046, \bar{u}(h) = 0.92m/s$								
z/h		1.12	1.31	1.67	1.94	2.23	2.50	2.78	3.05	3.34
$\bar{u}$ medido		1.43	1.71	2.17	2.09	3.16	4.20	4.07	5.37	5.45
$\bar{u}$ calculado		1.37	1.74	2.38	2.66	3.52	4.13	4.67	5.10	5.52
Experimento		$z/h = 16.66, C_D(h) = 1.011, \bar{u}(h) = 0.79m/s$								
$\bar{u}$ medido		1.23	1.71	1.94	-	-	-	-	-	-
$\bar{u}$ calculado		1.16	1.65	1.95	-	-	-	-	-	-
Experimento		$z/h = 27.77, C_D(h) = 0.142, \bar{u}(h) = 1.47m/s$								
$\bar{u}$ medido		1.00	2.17	2.33	-	-	-	-	-	-
$\bar{u}$ calculado		1.75	2.16	2.41	-	-	-	-	-	-
Experimento		$z/h = 31.00, C_D(h) = 1.532, \bar{u}(h) = 0.71m/s$								
$\bar{u}$ medido		1.43	1.94	2.41	-	-	-	-	-	-
$\bar{u}$ calculado		1.41	1.71	2.33	-	-	-	-	-	-
Experimento		$z/h = 52.77, C_D(h) = 0.741, \bar{u}(h) = 1.22m/s$								
$\bar{u}$ medido		1.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{u}$ calculado		1.65	2.28	-	-	-	-	-	-	-

Vegetación		Varilian, h = 19cm				
Experimento		$C_D(h) = 0.091, \bar{u}(h) = 0.64m/s$				
z/h		1.12	1.27	1.37	1.69	2.23
$\bar{u}$ medido		2.00	11.03	12.45	-	-
$\bar{u}$ calculado		10.71	11.67	-	-	-
Experimento		$C_D(h) = 0.055, \bar{u}(h) = 0.97m/s$				
$\bar{u}$ medido		10.11	11.03	12.6u	-	-
$\bar{u}$ calculado		10.40	11.02	-	-	-
Experimento		$C_D(h) = 0.033, \bar{u}(h) = 0.13m/s$				
$\bar{u}$ medido		10.42	11.41	12.74	15.09	17.43
$\bar{u}$ calculado		10.73	12.60	-	13.95	16.10
Experimento		$C_D(h) = 0.035, \bar{u}(h) = 0.94m/s$				
$\bar{u}$ medido		10.64	12.15	13.13	15.46	18.11
$\bar{u}$ calculado		11.14	12.37	-	14.41	16.16

Vegetación		Varilian, h = 7 cm								
Experimento		$C_D(h) = 0.041, \bar{u}(h) = 6.7m/s$			$C_D(h) = 0.010, \bar{u}(h) = 7.71$			$C_D(h) = 0.013, \bar{u}(h) = 7.75$		
z/h		1.20	1.64	1.90	1.20	1.64	1.70	1.20	1.64	1.70
$\bar{u}$ medido		9.00	10.30	11.30	9.00	10.19	11.13	9.00	9.00	10.94
$\bar{u}$ calculado		9.10	10.50	-	9.30	10.40	-	9.71	10.32	-

Vegetación		Nala, h = 2.70m			
Experimento		$C_D(h) = 0.032, \bar{u}(h) = 1.90m/s$			
z/h		1.19	1.25	1.50	2.39
$\bar{u}$ medido		2.27	2.61	2.00	3.19
$\bar{u}$ calculado		2.16	2.47	2.75	3.31
Experimento		$C_D(h) = 0.110, \bar{u}(h) = 2.90m/s$			
$\bar{u}$ medido		3.00	3.44	3.77	4.40
$\bar{u}$ calculado		3.02	3.53	4.10	4.00
Experimento		$C_D(h) = 0.141, \bar{u}(h) = 2.00m/s$			
$\bar{u}$ medido		3.25	3.73	4.15	4.96
$\bar{u}$ calculado		3.30	3.90	4.45	5.57

TABLA A3-2 : Perfiles verticales de velocidad media del viento, en presencia de cambio de rugosidad, observados y generados por el modelo desarrollado de una capa de transición. ( $\bar{u}_{cT}$ , velocidad de la capa de transición;  $\bar{u}_{cL_1}$ , velocidad de la capa de flujos constantes interna;  $\bar{u}_{cL_2}$ , velocidad de la capa de flujos constantes externa) . ( $\{\bar{u}\} = \{u_{z0}\} = \text{m/s}$ )

Experimento				
Arboles artificiales, Moroney (1960)				
z/h = 22.22				
Capa		Transición	Flujos constantes <sub>1</sub>	Flujos constantes <sub>2</sub>
$\bar{u}$	medido			
z/h				
1.00	1.47	1.23	1.53	2.73
1.11	1.69	1.50	1.79	2.94
1.26	1.90	-	2.10	3.20
1.37	2.07	-	2.30	3.37
1.67	2.36	2.36	2.79	3.77
1.96	3.14	2.59	3.19	4.09
2.26	3.53	2.79	-	4.31
2.52	3.80	2.95	-	4.60
2.82	4.27	3.11	4.07	4.82
3.11	4.60	3.25	4.32	5.03
3.37	4.93	3.36	4.52	5.17
3.63	5.27	3.47	4.70	5.34
3.93	5.47	3.51	4.89	5.50
4.22	5.67	3.60	5.07	5.64
4.49	5.86	3.77	5.22	5.77
4.81	5.86	3.86	5.51	-
5.04	6.10	3.94	5.74	-
$u_{zo}$		0.015	0.014	0.010
$r_c/h$			0.537	0.260
$\bar{z}/h$			3.6	
Experimento				
z/h = 77.77				
Capa				
$\bar{u}$	medido			
z/h				
1.00	1.63	1.47	2.17	2.59
1.11	1.83	1.80	2.34	2.80
1.26	2.11	-	2.57	3.06
1.37	2.27	-	2.71	3.23
1.67	2.80	2.55	3.05	3.63
1.96	3.28	2.77	3.33	3.95
2.26	3.57	2.96	-	4.24
2.52	3.76	3.11	-	4.46
2.82	4.03	3.26	3.95	4.69
3.11	4.40	3.40	4.12	4.89
3.37	4.80	3.51	4.26	5.05
3.63	5.13	3.61	4.39	5.20
3.93	5.33	3.71	4.52	5.36
4.22	5.47	3.81	4.65	5.51
4.49	5.67	3.90	4.75	5.63
4.81	5.86	3.91	4.86	5.76
5.04	5.87	4.05	4.95	-
$u_{zo}$		0.014	0.019	0.010
$r_c/h$			0.014	0.281
$\bar{z}/h$			3.52	

Experimento			
z/h = 33.33			
Capa		Transición	Flujos constantes <sub>1</sub>
$\bar{u}$	medido		
z/h			
1.14	1.47	1.32	0.49
1.11	1.93	1.82	0.84
1.26	2.28	2.20	1.26
1.37	2.40	2.51	1.54
1.67	2.93	-	2.19
1.96	3.27	-	2.74
2.26	3.53	3.56	3.20
2.52	3.80	3.78	3.56
2.82	4.07	4.01	3.93
3.11	4.27	4.21	-
3.37	4.53	4.37	-
3.63	4.80	4.52	4.79
3.93	5.07	4.67	5.04
4.22	5.27	4.83	5.28
4.49	5.33	4.95	5.49
4.81	5.60	5.09	5.69
$u_{zo}$		1.370	1.331
$r_c/h$			0.079
$\bar{z}/h$			6.52
Experimento			
z/h = 55.55			
Capa			
$\bar{u}$	medido		
z/h			
1.00	1.97	1.51	1.01
1.11	1.93	1.77	1.32
1.26	2.27	2.30	1.69
1.37	2.53	2.59	1.93
1.67	2.97	-	2.51
1.96	3.27	-	2.79
2.26	3.40	3.53	3.40
2.52	3.46	3.73	3.71
2.82	4.07	3.93	4.04
3.11	4.33	4.12	-
3.37	4.57	4.26	-
3.63	4.77	4.40	4.79
3.93	5.00	4.54	5.02
4.22	5.28	4.69	5.23
4.49	5.37	4.79	5.41
4.81	5.53	4.90	5.59
$u_{zo}$		1.106	1.171
$r_c/h$			0.791
$\bar{z}/h$			7.91

(continúa)



TABLA A3-3 : Muestras observadas y generadas por el modelo propuesto de velocidad media del viento en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones de inestabilidad atmosférica. Las velocidades se encuentran expresadas en m/s . ( Allen, 1968; Penman y Long, 1959 ).

Velocidad		Alcorno con follaje, h = 10,40 m							
z/h	1,12	1,16	1,14	1,21	1,29	1,36	1,44	1,51	
Experimento	$u=70, \bar{u}(h) = 2,04 \text{ m/s}, C_D(h)=0,467$								
$\bar{u}_{medido}$	2,10	2,35	2,72	2,95	3,22	3,43	3,60	3,71	
$\bar{u}_{calculado}$	2,16	2,30	2,74	3,03	3,25	3,43	3,59	-	
Experimento		$R=71, \bar{u}(h) = 2,43 \text{ m/s}, C_D(h)=0,300$							
$\bar{u}_{medido}$	2,53	2,74	3,12	3,33	3,50	3,83	4,07	4,10	
$\bar{u}_{calculado}$	2,55	2,80	3,16	3,46	3,70	3,99	4,05	-	
Experimento		$R=72, \bar{u}(h) = 1,99 \text{ m/s}, C_D(h)=0,467$							
$\bar{u}_{medido}$	2,01	2,20	2,65	2,86	3,00	3,20	3,40	3,62	
$\bar{u}_{calculado}$	2,10	2,32	2,67	2,95	3,10	3,35	3,50	-	
Experimento		$R=4, \bar{u}(h) = 2,66 \text{ m/s}, C_D(h)=0,109$							
$\bar{u}_{medido}$	2,00	3,01	3,32	3,50	3,80	3,93	4,00	4,36	
$\bar{u}_{calculado}$	2,09	3,00	3,37	3,66	3,90	4,00	4,24	-	
Experimento		$R=73, \bar{u}(h) = 2,03 \text{ m/s}, C_D(h)=0,249$							
$\bar{u}_{medido}$	3,02	3,26	3,66	3,86	4,12	4,61	4,77	4,87	
$\bar{u}_{calculado}$	3,03	3,23	3,72	4,06	4,33	4,54	4,72	-	

Experimento		$R=74, \bar{u}(h) = 2,36 \text{ m/s}, C_D(h)=0,121$							
$\bar{u}_{medido}$	2,47	2,64	2,89	3,00	3,20	3,46	3,60	3,72	
$\bar{u}_{calculado}$	2,46	2,63	2,93	3,16	3,35	3,49	3,62	-	
Experimento		$R=75, \bar{u}(h) = 2,00 \text{ m/s}, C_D(h)=0,190$							
$\bar{u}_{medido}$	2,16	2,30	2,60	2,76	2,94	3,10	3,34	3,41	
$\bar{u}_{calculado}$	2,10	2,35	2,64	2,86	3,05	3,19	3,31	-	
Velocidad		Alcorno sin follaje, h = 10,60 m							
z/h	1,02	1,16	1,14	1,21	1,29	1,36	1,44	1,51	
Experimento	$R=2, \bar{u}(h) = 2,27 \text{ m/s}, C_D(h)=0,161$								
$\bar{u}_{medido}$	2,32	2,46	2,60	2,80	3,02	3,23	3,37	3,41	
$\bar{u}_{calculado}$	2,35	2,50	2,75	2,94	3,10	3,2	3,33	-	
Experimento		$R=8, \bar{u}(h) = 1,90 \text{ m/s}, C_D(h)=0,104$							
$\bar{u}_{medido}$	1,96	2,10	2,30	2,40	2,63	2,75	2,89	2,96	
$\bar{u}_{calculado}$	1,97	2,11	2,34	2,52	2,67	2,77	2,80	-	
Experimento		$R=8, \bar{u}(h) = 2,09 \text{ m/s}, C_D(h)=0,164$							
$\bar{u}_{medido}$	2,20	2,30	2,60	2,82	3,00	3,16	3,28	3,30	
$\bar{u}_{calculado}$	2,10	2,35	2,63	2,85	3,03	3,17	3,29	-	

(continúa)

TABLA A3-3 : (continuación)

Experimento									$R=76, \bar{u}(h) = 1.76 \text{ m/s}, C_{D(h)} = 0.023$				Experimento				$R1=0.007, C_{D(h)} = 0.137$				$R1=0.007, C_{D(h)} = 0.160$							
$\bar{u}_{medido}$									1.00	1.13	2.09	2.10	2.24	2.91	2.46	2.40	0.06	1.07	1.54	1.00	0.02	1.03	1.49	1.73				
$\bar{u}_{calculado}$									1.01	1.01	2.06	2.10	2.20	2.36	2.43	-	-	1.07	1.58	-	-	1.00	1.50	-				
Experimento									$R=7, \bar{u}(h) = 3.52 \text{ m/s}, C_{D(h)} = 0.040$				Experimento				$R1=0.007, C_{D(h)} = 0.147$				$R1=0.007, C_{D(h)} = 0.215$							
$\bar{u}_{medido}$									3.60	3.70	4.10	4.37	4.91	4.02	4.40	5.17	0.06	1.04	1.49	1.75	1.42	1.79	2.53	3.03				
$\bar{u}_{calculado}$									3.64	3.85	4.21	4.49	4.72	4.90	5.05	-	-	1.11	1.51	-	-	1.07	2.60	-				
Experimento									$R=77, \bar{u}(h) = 4.74 \text{ m/s}, C_{D(h)} = 0.042$				Experimento				$R1=0.010, C_{D(h)} = 0.060$				$R1=0.010, C_{D(h)} = 0.110$							
$\bar{u}_{medido}$									4.05	5.11	5.53	5.00	6.17	6.44	6.72	6.90	0.64	0.70	1.00	1.20	1.77	2.20	3.16	3.71				
$\bar{u}_{calculado}$									4.30	5.19	5.00	6.16	6.37	6.61	6.01	-	-	0.01	1.11	-	-	2.25	3.10	-				
Experimento									$R=81, \bar{u}(h) = 5.53 \text{ m/s}, C_{D(h)} = 0.169$				Experimento				$R1=0.010, C_{D(h)} = 0.015$				$R1=0.010, C_{D(h)} = 0.192$							
$\bar{u}_{medido}$									5.65	5.96	6.47	6.91	7.30	7.73	8.06	8.37	2.40	2.92	4.23	5.00	1.06	2.34	3.45	4.16				
$\bar{u}_{calculado}$									5.73	6.11	6.72	7.20	7.60	7.80	8.16	-	-	3.17	4.34	-	-	2.34	3.40	-				
Experimento									$R=79, \bar{u}(h) = 5.04 \text{ m/s}, C_{D(h)} = 0.106$				Experimento				$R1=0.010, C_{D(h)} = 0.070$				$R1=0.010, C_{D(h)} = 0.149$							
$\bar{u}_{medido}$									6.04	6.34	6.70	7.24	7.54	7.03	8.12	8.91	1.54	2.15	3.16	3.00	1.57	1.89	2.73	3.20				
$\bar{u}_{calculado}$									6.02	6.25	6.90	7.34	7.69	7.16	8.11	-	-	2.21	3.26	-	-	2.02	2.76	-				
Experimento									$R=80, \bar{u}(h) = 5.21 \text{ m/s}, C_{D(h)} = 0.016$				Experimento				$R1=0.010, C_{D(h)} = 0.195$				$R1=0.010, C_{D(h)} = 0.160$							
$\bar{u}_{medido}$									5.37	5.69	6.12	6.62	7.00	7.39	7.71	8.07	1.07	2.33	3.20	3.07	1.06	2.21	3.25	3.96				
$\bar{u}_{calculado}$									5.41	5.70	6.41	6.90	7.29	7.60	7.06	-	-	2.44	3.34	-	-	2.40	3.37	-				
Experimento									$R=81, \bar{u}(h) = 4.56 \text{ m/s}, C_{D(h)} = 0.151$				Experimento				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.024$				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.139$							
$\bar{u}_{medido}$									4.60	4.80	5.31	5.71	6.02	6.25	6.49	6.20	0.61	0.60	0.96	1.11	1.36	1.76	2.43	2.93				
$\bar{u}_{calculado}$									4.72	5.01	5.40	5.87	6.10	6.41	6.62	-	-	0.75	0.97	-	-	1.73	2.51	-				
Experimento									$R=82, \bar{u}(h) = 4.01 \text{ m/s}, C_{D(h)} = 0.112$				Experimento				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.100$				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.193$							
$\bar{u}_{medido}$									4.19	4.36	4.76	5.07	5.44	5.69	5.96	6.20	2.57	2.93	4.29	5.14	1.50	2.00	2.87	3.64				
$\bar{u}_{calculado}$									4.17	4.47	4.96	5.34	5.66	6.00	6.11	-	-	3.20	4.47	-	-	1.97	3.00	-				
Vinculación									$Triplo, \bar{h} = 0.64 \text{ m}$								Experimento				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.190$				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.170$			
$\bar{u}$									1.00	1.19	2.11	3.11	1.10	1.19	2.07	3.11	1.75	2.11	3.04	3.71	1.46	1.75	2.50	3.04				
Experimento									$R1=0.007, C_{D(h)} = 0.374$				$R1=0.007, C_{D(h)} = 0.446$				Experimento				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.190$				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.170$			
$\bar{u}_{medido}$									0.39	0.47	0.82	1.00	0.23	0.30	0.49	0.60	-	2.31	3.19	-	-	1.70	2.62	-				
$\bar{u}_{calculado}$									-	0.55	0.83	-	-	1.33	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Experimento									$R1=0.007, C_{D(h)} = 0.174$				$R1=0.007, C_{D(h)} = 1.462$				Experimento				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.192$				$R1=0.017, C_{D(h)} = 0.147$			
$\bar{u}_{medido}$									1.57	1.93	2.09	3.40	0.54	1.04	1.40	1.77	1.46	1.70	2.54	3.07	1.09	2.21	3.11	3.96				
$\bar{u}_{calculado}$									-	2.14	2.06	-	-	0.90	1.45	-	-	1.91	2.64	-	-	2.51	3.36	-				



TABLE A3-4 : Muestras observadas y generadas de velocidad media del viento por el modelo de variación de velocidad de fricción en condiciones de inestabilidad atmosférica en la capa de transición de la atmósfera. Las velocidades se expresan en m/s . ( Clarke y Brook, 1979 ).

Experimento	01-14, $u_h = 2.77$ , $w_h = -0.633$				02-10, $u_h = 1.99$ , $w_h = -0.333$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.634	1.231	1.576	2.004	2.634
$\bar{u}_m$ (m/s)	3.10	3.60	3.93	4.24	2.24	2.54	2.80	2.75
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.21	3.64	3.96	4.32	2.30	2.51	2.71	2.93
$C_{D(h)}$ z/L	0.012, -0.323				0.009, -0.307			
Experimento	02-12, $u_h = 2.97$ , $w_h = -0.663$				03-09, $u_h = 1.12$ , $w_h = -0.211$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.634	1.231	1.576	2.004	2.634
$\bar{u}_m$ (m/s)	3.43	4.01	4.47	4.89	1.27	1.43	1.54	1.61
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.52	3.90	4.26	4.65	1.30	1.42	1.53	1.65
$C_{D(h)}$ z/L	0.012, -0.269				0.109, -2.915			
Experimento	04-13, $u_h = 1.61$ , $w_h = -0.378$				06-15, $u_h = 2.93$ , $w_h = -0.579$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.634	1.231	1.576	2.004	2.634
$\bar{u}_m$ (m/s)	1.81	1.95	2.12	2.22	2.92	3.31	3.81	4.17
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.85	2.10	2.31	2.35	3.10	3.52	3.62	3.75
$C_{D(h)}$ z/L	0.110, -0.307				0.012, -0.215			
Experimento	07-15, $u_h = 2.57$ , $w_h = 0.619$				07-17, $u_h = 2.10$ , $w_h = -0.508$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.634	1.231	1.576	2.004	2.634
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.71	3.42	3.80	4.12	2.41	2.74	3.10	3.25
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.05	3.31	3.69	4.03	2.42	2.64	2.94	3.07
$C_{D(h)}$ z/L	0.012, -0.224				0.008, -0.451			
Experimento	08-13, $u_h = 2.16$ , $w_h = -0.476$				08-16, $u_h = 1.91$ , $w_h = -0.302$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.634	1.231	1.576	2.004	2.634
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.12	2.59	2.81	2.73	2.20	2.51	2.79	3.14
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.37	2.51	2.79	3.01	2.27	2.52	2.75	3.10
$C_{D(h)}$ z/L	0.110, -0.456				0.013, -0.239			
Experimento	11-13, $u_h = 2.31$ , $w_h = -0.371$				11-16, $u_h = 2.23$ , $w_h = -0.447$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.634	1.231	1.576	2.004	2.634
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.64	2.75	3.23	3.42	2.57	2.74	3.27	3.50
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.70	2.77	3.21	3.42	2.59	2.82	3.14	3.20
$C_{D(h)}$ z/L	0.110, -0.334				0.107, -0.489			

(continúa)

TABLA A3-4 : (continuación)

Experimento	11-12, $u_h = 2.04, u_v = 0.610$	11-14, $u_h = 2.09, u_v = 0.563$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.31 2.61 2.77 3.26	2.33 2.62 2.99 3.69
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.42 2.71 2.96 3.25	2.42 2.64 2.95 3.69
$C_{D(h)}, z/L$	0.015, -0.214	0.009, -0.372
Experimento	12-13, $u_h = 3.05, u_v = 0.729$	13-12, $u_h = 3.17, u_v = 0.767$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	3.01 4.11 4.42 4.77	3.63 4.17 4.71 5.10
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.16 4.11 4.47 4.91	3.92 4.21 4.60 5.15
$C_{D(h)}, z/L$	0.014, -0.158	0.015, -0.158
Experimento	13-13, $u_h = 3.11, u_v = 0.663$	13-14, $u_h = 3.15, u_v = 0.672$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	3.01 3.54 4.37 4.87	3.60 4.07 4.50 4.94
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.69 4.09 4.46 4.87	3.76 4.10 4.57 4.90
$C_{D(h)}, z/L$	0.012, -0.133	0.013, -0.157
Experimento	13-15, $u_h = 2.91, u_v = 0.756$	13-16, $u_h = 2.62, u_v = 0.654$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	3.91 4.34 4.91 4.81	3.64 3.92 4.09 4.41
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.54 3.97 4.31 4.82	3.16 3.54 3.91 4.27
$C_{D(h)}, z/L$	0.017, -0.112	0.015, -0.108
Experimento	14-13, $u_h = 2.12, u_v = 0.669$	14-15, $u_h = 2.02, u_v = 0.669$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	3.14 3.61 3.91 4.24	3.23 3.66 4.12 4.31
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.24 3.61 3.95 4.30	3.37 3.75 4.11 4.49
$C_{D(h)}, z/L$	0.013, -0.200	0.014, -0.180
Experimento	14-16, $u_h = 2.38, u_v = 0.611$	15-09, $u_h = 1.11, u_v = 0.129$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.72 3.17 3.60 3.97	1.22 1.36 1.47 1.51
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.96 3.21 3.51 3.96	1.27 1.42 1.53 1.66
$C_{D(h)}, z/L$	0.017, -0.158	0.010, -11.555
Experimento	15-10, $u_h = 1.02, u_v = 0.371$	15-11, $u_h = 2.53, u_v = 0.510$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.13 2.32 2.51 2.62	2.07 3.22 3.41 3.66
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.10 2.31 2.49 2.60	2.92 3.19 3.44 3.72
$C_{D(h)}, z/L$	0.013, -0.853	0.019, -0.478

Experimento	16-10, $u_h = 2.04, u_v = 0.349$	16-11, $u_h = 1.94, u_v = 0.466$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.31 2.61 2.79 2.92	2.14 2.43 2.61 2.77
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.36 2.52 2.79 2.92	2.12 2.31 2.49 2.60
$C_{D(h)}, z/L$	0.009, -0.940	0.010, -0.554
Experimento	16-12, $u_h = 1.91, u_v = 0.493$	16-13, $u_h = 1.75, u_v = 0.426$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.27 2.54 2.74 2.99	1.91 2.23 2.46 2.61
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.30 2.52 2.72 2.94	2.01 2.22 2.37 2.55
$C_{D(h)}, z/L$	0.009, -2.253	0.009, -0.657
Experimento	16-14, $u_h = 1.65, u_v = 0.321$	19-11, $u_h = 1.92, u_v = 0.406$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	1.87 2.10 2.27 2.37	2.13 2.37 2.55 2.64
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.89 2.15 2.30 2.36	2.22 2.42 2.61 2.82
$C_{D(h)}, z/L$	0.007, -1.725	0.009, -1.083
Experimento	19-12, $u_h = 1.66, u_v = 0.523$	19-15, $u_h = 1.59, u_v = 0.371$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	1.96 2.06 2.10 2.27	1.82 2.01 2.27 2.39
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.92 2.11 2.26 2.44	1.83 2.00 2.16 2.32
$C_{D(h)}, z/L$	0.009, -1.757	0.008, -0.910
Experimento	19-16, $u_h = 1.46, u_v = 0.329$	20-12, $u_h = 2.38, u_v = 0.442$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	1.64 1.91 2.02 2.12	2.61 3.05 3.39 3.59
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.67 1.92 1.96 2.11	2.71 3.01 3.36 3.66
$C_{D(h)}, z/L$	0.010, -0.740	0.012, -0.272
Experimento	20-13, $u_h = 2.15, u_v = 0.470$	20-14, $u_h = 2.39, u_v = 0.538$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.43 2.71 2.91 3.17	2.60 3.04 3.37 3.70
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.41 2.71 2.92 3.15	2.76 3.01 3.24 3.50
$C_{D(h)}, z/L$	0.009, -0.554	0.009, -0.404
Experimento	20-16, $u_h = 2.19, u_v = 0.542$	21-11, $u_h = 1.95, u_v = 0.426$
$z/h$	1.231 1.576 2.004 2.034	1.231 1.576 2.004 2.034
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.51 2.91 3.25 3.59	2.10 2.36 2.59 2.69
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.62 2.92 3.20 3.51	2.11 2.30 2.49 2.60
$C_{D(h)}, z/L$	0.015, -0.178	0.008, -0.811

(continúa)

TABLA A3-4 : (continuación) .

Experimento	21-12 , $u_h=1.89$ , $u_m=0.348$				21-13 , $u_h=2.06$ , $u_m=0.296$			
$z/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.11	2.39	2.61	2.72	2.31	2.62	2.81	2.84
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.19	2.39	2.51	2.79	2.39	2.62	2.82	3.05
$C_{D(h)}$ z'/L	0.003 , -1.564				0.009 , -2.234			
Experimento	21-16 , $u_h=2.14$ , $u_m=0.536$				22-13 , $u_h=2.91$ , $u_m=0.657$			
$z/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.42	2.77	3.07	3.20	3.32	3.78	4.18	4.55
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.50	2.75	2.91	3.24	3.44	3.80	4.14	4.52
$C_{D(h)}$ z'/L	0.010 , -0.316				0.012 , -0.237			
Experimento	22-14 , $u_h=2.62$ , $u_m=0.650$				22-15 , $u_h=2.42$ , $u_m=0.576$			
$z/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_m$ (m/s)	3.03	3.46	3.84	4.16	2.80	3.15	3.46	3.72
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.13	3.48	3.80	4.16	2.95	3.14	3.42	3.72
$C_{D(h)}$ z'/L	0.013 , -0.199				0.011 , -0.293			
Experimento	22-16 , $u_h=2.40$ , $u_m=0.598$				24-10 , $u_h=2.09$ , $u_m=0.288$			
$z/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.79	3.19	3.53	3.86	2.32	2.59	2.82	2.93
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.88	3.21	3.52	3.86	2.42	2.66	2.87	3.11
$C_{D(h)}$ z'/L	0.014 , -0.134				0.009 , -2.071			
Experimento	25-09 , $u_h=1.51$ , $u_m=0.288$				26-15 , $u_h=2.20$ , $u_m=0.387$			
$z/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_m$ (m/s)	1.79	2.06	2.27	2.43	2.60	3.00	3.33	3.59
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.75	1.92	2.01	2.25	2.64	2.89	3.12	3.37
$C_{D(h)}$ z'/L	0.003 , -1.403				0.003 , -0.846			
Experimento	27-03 , $u_h=1.93$ , $u_m=0.349$				27-12 , $u_h=2.79$ , $u_m=0.433$			
$z/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_m$ (m/s)	2.13	2.40	2.67	2.99	3.12	3.49	3.86	4.11
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.10	2.42	2.65	2.89	3.23	3.54	3.82	4.14
$C_{D(h)}$ z'/L	0.013 , -1.167				0.007 , -0.747			
Experimento	30-07 , $u_h=3.44$ , $u_m=0.649$				31-10 , $u_h=3.07$ , $u_m=0.757$			
$z/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_m$ (m/s)	3.94	4.55	5.16	5.77	4.40	5.02	5.59	6.14
$\bar{u}_c$ (m/s)	4.07	4.54	4.95	5.41	4.62	5.14	5.61	6.14
$C_{D(h)}$ z'/L	0.013 , -0.127				0.013 , -0.114			

TABLA A3-5 : Muestras observadas y generadas por el modelo propuesto de velocidad media del viento en la capa de transición de la atmósfera, en condiciones atmosféricas estables. Las velocidades se encuentran expresadas en m/s . ( Penman y Long, 1959; Clarke y Brook, 1979 ).

Ejecución	Trigo, $\bar{K} = 64 \text{ cm}$							
	1.00	1.14	2.02	2.06	1.10	1.14	2.02	2.06
Experimento	$R1 = 0.014, C_{D(h)} = 0.017$				$R1 = 0.014, C_{D(h)} = 0.026$			
$\bar{u}$ medido	2.21	2.57	3.72	4.34	1.46	1.02	2.61	3.14
$\bar{u}$ calculado	-	-	3.73	4.49	-	-	2.30	3.12
Experimento	$R1 = 0.014, C_{D(h)} = 0.022$				$R1 = 0.046, C_{D(h)} = 0.017$			
$\bar{u}$ medido	1.06	2.22	3.07	3.70	1.14	1.39	2.11	2.50
$\bar{u}$ calculado	-	-	3.10	3.03	-	-	1.70	2.43
Experimento	$R1 = 0.046, C_{D(h)} = 0.022$				$R1 = 0.046, C_{D(h)} = 0.025$			
$\bar{u}$ medido	1.36	1.67	2.46	3.07	0.73	1.93	1.37	1.64
$\bar{u}$ calculado	-	-	2.33	2.79	-	-	1.33	1.62
Experimento	$R1 = 0.046, C_{D(h)} = 0.025$				$R1 = 0.046, C_{D(h)} = 0.077$			
$\bar{u}$ medido	0.71	0.99	1.43	1.75	1.36	1.71	2.43	2.06
$\bar{u}$ calculado	-	-	1.26	1.53	-	-	2.54	3.27
Experimento	$R1 = 0.010, C_{D(h)} = 0.021$				$R1 = 0.010, C_{D(h)} = 0.020$			
$\bar{u}$ medido	1.32	1.61	2.43	2.09	0.79	1.60	1.43	1.71
$\bar{u}$ calculado	-	-	2.30	2.70	-	-	1.36	1.64
Experimento	$R1 = 0.010, C_{D(h)} = 0.015$				$R1 = 0.010, C_{D(h)} = 0.012$			
$\bar{u}$ medido	0.57	0.82	1.29	1.50	0.93	1.07	1.46	1.79
$\bar{u}$ calculado	-	-	1.30	1.77	-	-	1.43	1.66
Experimento	$R1 = 0.010, C_{D(h)} = 0.025$							
$\bar{u}$ medido	1.07	1.36	1.86	2.25				
$\bar{u}$ calculado	-	-	1.87	2.27				

(continúa)

TABLA A3-5 : (continuación)

Experimento	01-10, $\bar{u}_h = 0.72$				01-19, $\bar{u}_h = 0.70$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.11	1.64	2.15	2.80	1.34	1.91	2.42	2.91
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.10	-	2.16	2.64	1.43	-	2.44	3.10
$C_D(h)$	0.673				0.513			
Experimento	01-21, $\bar{u}_h = 0.92$				01-22, $\bar{u}_h = 0.69$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.41	2.29	3.31	4.60	1.07	1.63	2.40	3.02
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.64	-	3.01	3.98	1.10	-	2.13	2.74
$C_D(h)$	1.275				0.732			
Experimento	02-03, $\bar{u}_h = 1.04$				02-10, $\bar{u}_h = 0.54$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.41	2.21	3.26	3.40	0.70	1.45	1.97	2.54
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.66	-	2.82	3.50	1.02	-	1.93	2.53
$C_D(h)$	0.510				1.691			
Experimento	02-10, $\bar{u}_h = 0.33$				02-20, $\bar{u}_h = 0.83$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.1231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	0.81	1.41	2.21	2.04	1.75	2.07	3.07	4.19
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.73	-	2.09	2.04	1.81	-	2.72	3.54
$C_D(h)$	1.014				1.216			
Experimento	02-22, $\bar{u}_h = 0.71$				02-23, $\bar{u}_h = 1.09$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.21	1.93	2.81	3.03	1.53	2.15	2.91	3.82
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.57	-	2.59	3.37	1.65	-	2.71	3.41
$C_D(h)$	1.813				0.316			
Experimento	03-00, $\bar{u}_h = 0.71$				03-23, $\bar{u}_h = 0.77$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.21	1.77	2.47	3.21	1.44	2.10	2.85	3.59
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.27	-	2.33	3.02	1.56	-	2.70	3.44
$C_D(h)$	1.216				0.931			
Experimento	04-10, $\bar{u}_h = 0.57$				04-04, $\bar{u}_h = 0.85$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.04	1.70	2.51	3.60	1.32	2.11	2.84	3.06
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.16	-	2.31	3.04	1.46	-	2.62	3.28
$C_D(h)$	2.573				0.971			

Experimento	04-05, $\bar{u}_h = 0.82$				04-21, $\bar{u}_h = 0.72$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.10	1.76	2.64	3.04	1.11	1.69	2.57	3.10
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.31	-	2.26	2.87	1.23	-	2.20	2.84
$C_D(h)$	0.551				0.905			
Experimento	04-10, $\bar{u}_h = 0.96$				04-21, $\bar{u}_h = 0.93$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.33	1.85	2.50	3.00	1.47	2.09	2.91	3.72
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.43	-	2.32	2.80	1.54	-	2.70	3.46
$C_D(h)$	0.266				0.710			
Experimento	04-22, $\bar{u}_h = 1.21$				05-10, $\bar{u}_h = 0.57$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.70	2.34	3.21	4.37	1.09	1.61	2.29	3.00
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.70	-	2.94	3.60	1.13	-	2.27	2.97
$C_D(h)$	0.273				2.472			
Experimento	05-07, $\bar{u}_h = 1.00$				05-27, $\bar{u}_h = 0.93$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.1231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.40	1.94	2.51	2.87	0.99	1.46	1.91	2.78
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.49	-	2.44	3.05	1.04	-	1.93	2.56
$C_D(h)$	0.291				1.271			
Experimento	05-23, $\bar{u}_h = 1.23$				06-10, $\bar{u}_h = 1.29$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.72	2.42	3.37	4.55	1.73	2.34	3.22	4.45
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.86	-	3.05	3.82	1.84	-	2.90	3.59
$C_D(h)$	0.331				0.197			
Experimento	06-01, $\bar{u}_h = 1.33$				06-13, $\bar{u}_h = 0.90$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.74	2.29	3.01	3.77	1.47	2.13	2.87	3.55
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.84	-	2.80	3.83	1.55	-	2.70	3.59
$C_D(h)$	0.192				0.743			
Experimento	06-05, $\bar{u}_h = 0.81$				06-06, $\bar{u}_h = 1.16$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.31	1.75	2.74	3.26	1.52	2.16	2.85	2.84
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.41	-	2.55	3.30	1.64	-	2.74	3.46
$C_D(h)$	1.120				1.377			

(continúa)

TABLA A3-5 : (continuación)

Experimento 06-07, $\bar{u}_h = 0.95$					06-19, $\bar{u}_h = 0.85$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.35	1.77	2.01	3.76	1.37	1.93	2.51	3.11
$u_c$ (m/s)	1.47	-	2.51	3.18	1.42	-	2.51	3.21
$C_D(h)$	0.445				0.791			
Experimento 06-20, $\bar{u}_h = 1.11$					06-21, $\bar{u}_h = 1.15$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.91	2.21	3.12	4.19	1.60	2.37	3.30	4.93
$u_c$ (m/s)	1.76	-	2.82	3.56	1.77	-	2.94	3.71
$C_D(h)$	0.344				0.971			
Experimento 06-23, $\bar{u}_h = 1.55$					07-00, $\bar{u}_h = 1.36$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	2.63	2.60	3.33	4.31	1.80	2.37	3.15	4.01
$u_c$ (m/s)	2.10	-	3.16	3.84	1.90	-	2.94	3.61
$C_D(h)$	0.066				0.115			
Experimento 07-01, $\bar{u}_h = 0.93$					07-02, $\bar{u}_h = 0.85$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.47	1.73	2.60	3.40	1.25	1.05	2.70	3.02
$u_c$ (m/s)	1.46	-	2.46	3.11	1.31	-	2.20	3.03
$C_D(h)$	0.447				0.571			
Experimento 07-03, $\bar{u}_h = 1.02$					07-04, $\bar{u}_h = 1.27$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.44	2.11	3.03	4.11	1.71	2.31	3.10	4.31
$u_c$ (m/s)	1.51	-	2.67	3.40	1.83	-	2.91	3.61
$C_D(h)$	0.431				0.102			
Experimento 07-05, $\bar{u}_h = 0.91$					07-06, $\bar{u}_h = 1.05$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.31	1.96	2.74	3.77	1.53	2.14	2.91	4.10
$u_c$ (m/s)	1.50	-	2.41	3.12	1.62	-	2.72	3.43
$C_D(h)$	0.51				0.977			
Experimento 07-07, $\bar{u}_h = 1.16$					07-08, $\bar{u}_h = 0.47$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.53	1.91	2.61	3.53	1.04	1.07	1.40	1.81
$u_c$ (m/s)	1.51	-	2.41	2.95	0.71	-	1.31	1.70
$C_D(h)$	0.012				0.711			

Experimento 07-04, $\bar{u}_h = 0.90$					07-05, $\bar{u}_h = 1.07$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.46	2.14	2.69	3.16	1.99	2.35	3.03	3.03
$u_c$ (m/s)	1.55	-	2.80	3.61	1.64	-	3.03	3.87
$C_D(h)$	0.609				0.631			
Experimento 07-06, $\bar{u}_h = 0.79$					07-07, $\bar{u}_h = 0.90$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.23	1.71	2.37	3.07	1.31	1.96	2.63	3.35
$u_c$ (m/s)	1.32	-	2.32	2.97	1.46	-	2.52	3.21
$C_D(h)$	0.751				0.604			
Experimento 07-10, $\bar{u}_h = 0.94$					07-11, $\bar{u}_h = 1.10$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.34	1.86	2.41	3.16	1.52	2.10	3.00	3.94
$u_c$ (m/s)	1.42	-	2.35	2.75	1.67	-	2.75	3.46
$C_D(h)$	0.524				0.327			
Experimento 07-21, $\bar{u}_h = 1.91$					07-22, $\bar{u}_h = 2.44$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	2.66	2.66	3.51	4.73	2.98	3.43	4.07	4.77
$u_c$ (m/s)	2.15	-	3.23	3.94	2.96	-	3.95	4.60
$C_D(h)$	0.020				0.013			
Experimento 07-23, $\bar{u}_h = 2.19$					07-24, $\bar{u}_h = 1.63$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	2.64	3.16	3.75	4.54	2.05	2.53	3.11	3.79
$u_c$ (m/s)	2.70	-	3.67	4.31	2.16	-	3.01	3.50
$C_D(h)$	0.015				0.024			
Experimento 07-01, $\bar{u}_h = 0.87$					07-02, $\bar{u}_h = 1.10$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.17	1.67	2.11	2.71	1.34	2.13	2.85	3.63
$u_c$ (m/s)	1.27	-	2.12	2.60	1.64	-	2.60	3.35
$C_D(h)$	0.378				0.276			
Experimento 07-03, $\bar{u}_h = 1.15$					07-04, $\bar{u}_h = 1.05$			
$s/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.46	2.12	2.85	4.00	1.39	2.10	2.85	3.92
$u_c$ (m/s)	1.56	-	2.53	3.17	1.54	-	2.56	3.24
$C_D(h)$	0.372				0.490			

(continúa)

Tabla A3-5 : (continuación)

Experimento	09-05, $\bar{h}_h = 0,91$				09-06, $\bar{h}_h = 1,90$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,41	2,01	2,77	3,55	1,73	2,30	3,06	4,04
$u_c$ (m/s)	1,52	-	2,56	3,23	1,83	-	2,83	3,49
$C_D(h)$	0,415				0,124			
Experimento	09-07, $\bar{h}_h = 1,42$				09-11, $\bar{h}_h = 1,17$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,74	2,13	2,60	3,23	1,67	2,3	3,17	4,35
$u_c$ (m/s)	1,71	-	2,51	2,97	1,76	-	2,96	3,61
$C_D(h)$	0,626				0,311			
Experimento	10-06, $\bar{h}_h = 0,97$				10-11, $\bar{h}_h = 0,93$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,31	1,96	2,45	3,01	1,25	1,89	2,35	2,74
$u_c$ (m/s)	1,44	-	2,33	2,71	1,31	-	2,31	2,75
$C_D(h)$	0,276				0,916			
Experimento	10-14, $\bar{h}_h = 1,23$				10-05, $\bar{h}_h = 1,16$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,51	2,01	2,66	3,41	1,51	1,91	2,62	3,52
$u_c$ (m/s)	1,64	-	2,41	2,91	1,51	-	2,46	2,92
$C_D(h)$	0,041				0,097			
Experimento	10-16, $\bar{h}_h = 1,15$				10-10, $\bar{h}_h = 0,95$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,47	1,92	2,52	3,31	1,11	1,56	1,96	2,81
$u_c$ (m/s)	1,56	-	2,33	2,83	1,22	-	1,74	2,41
$C_D(h)$	0,162				0,177			
Experimento	10-19, $\bar{h}_h = 0,91$				10-21, $\bar{h}_h = 1,10$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,34	1,95	2,45	2,91	1,36	1,92	2,62	3,12
$u_c$ (m/s)	1,46	-	2,32	2,92	1,49	-	2,41	3,11
$C_D(h)$	0,391				0,271			
Experimento	10-21, $\bar{h}_h = 0,92$				10-22, $\bar{h}_h = 1,25$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,35	1,94	2,61	3,43	1,65	2,21	2,91	3,76
$u_c$ (m/s)	1,46	-	2,41	3,15	1,76	-	2,72	3,32
$C_D(h)$	0,471				0,123			

Experimento	10-23, $\bar{h}_h = 1,01$				10-00, $\bar{h}_h = 0,91$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,31	1,91	2,46	3,01	1,29	1,74	2,33	3,05
$u_c$ (m/s)	1,47	-	2,36	2,93	1,36	-	2,21	2,77
$C_D(h)$	0,211				0,273			
Experimento	11-01, $\bar{h}_h = 0,75$				11-02, $\bar{h}_h = 0,94$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,17	1,75	2,50	3,43	0,92	1,31	2,04	2,69
$u_c$ (m/s)	1,21	-	2,29	2,96	1,01	-	1,92	2,50
$C_D(h)$	0,404				1,643			
Experimento	11-03, $\bar{h}_h = 0,97$				11-06, $\bar{h}_h = 0,67$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	0,71	1,31	1,96	2,66	1,13	1,71	2,53	3,41
$u_c$ (m/s)	0,86	-	1,81	2,42	1,26	-	2,32	3,12
$C_D(h)$	2,371				1,656			
Experimento	11-07, $\bar{h}_h = 0,42$				11-19, $\bar{h}_h = 0,90$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	0,72	1,11	1,71	2,21	1,36	1,91	2,71	3,61
$u_c$ (m/s)	0,71	-	1,46	1,91	1,47	-	2,57	3,21
$C_D(h)$	1,55				0,656			
Experimento	11-20, $\bar{h}_h = 0,72$				11-21, $\bar{h}_h = 0,61$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,11	1,71	2,31	3,45	0,87	1,31	1,91	2,42
$u_c$ (m/s)	1,21	-	2,39	3,11	0,76	-	1,63	2,17
$C_D(h)$	1,202				0,481			
Experimento	11-21, $\bar{h}_h = 0,94$				11-23, $\bar{h}_h = 0,91$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,21	1,94	2,61	3,31	1,35	1,91	2,57	3,21
$u_c$ (m/s)	1,34	-	2,31	2,93	1,46	-	2,35	2,93
$C_D(h)$	0,341				0,237			
Experimento	12-01, $\bar{h}_h = 0,67$				12-02, $\bar{h}_h = 0,95$			
$u/h$	1,231	1,576	2,004	2,034	1,231	1,576	2,004	2,034
$u_a$ (m/s)	1,11	1,64	2,16	2,75	0,91	1,31	1,74	2,01
$u_c$ (m/s)	1,16	-	2,09	2,76	0,91	-	1,72	2,31
$C_D(h)$	0,471				1,211			

(continúa)

TABLA A3-5 : (continuación)

Experimento		12-14 , $\bar{u}_h = 0,15$				12-16 , $\bar{u}_h = 0,79$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,24	1,03	2,70	3,25	1,17	1,01	2,35	2,91	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,37	-	2,35	2,99	1,26	-	2,15	2,73	
$C_D(h)$	0,562				0,521				
Experimento		12-17 , $\bar{u}_h = 0,99$				12-19 , $\bar{u}_h = 0,02$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,30	1,21	2,49	3,41	1,31	1,07	2,01	3,71	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,41	-	2,20	2,72	1,43	-	2,21	3,33	
$C_D(h)$	0,148				1,116				
Experimento		12-20 , $\bar{u}_h = 0,10$				12-21 , $\bar{u}_h = 0,61$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,29	1,00	2,65	3,51	1,14	1,20	2,42	3,34	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,37	-	2,47	3,11	1,26	-	2,36	3,07	
$C_D(h)$	0,435				1,317				
Experimento		12-22 , $\bar{u}_h = 0,79$				12-23 , $\bar{u}_h = 1,26$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,26	1,05	2,71	3,73	1,07	2,21	3,07	4,01	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,41	-	2,36	3,32	1,06	-	2,04	3,51	
$C_D(h)$	1,133				0,161				
Experimento		13-10 , $\bar{u}_h = 0,71$				13-13 , $\bar{u}_h = 0,76$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,30	1,00	2,54	2,70	1,16	1,75	2,65	3,26	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,47	-	2,31	2,81	1,20	-	2,27	2,92	
$C_D(h)$	0,277				0,011				
Experimento		13-14 , $\bar{u}_h = 0,71$				13-15 , $\bar{u}_h = 0,00$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,16	1,7	2,55	3,34	1,22	1,02	2,52	3,23	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,21	-	2,35	3,17	1,34	-	2,27	3,02	
$C_D(h)$	1,240				1,767				
Experimento		13-17 , $\bar{u}_h = 0,26$				13-20 , $\bar{u}_h = 0,02$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,33	1,77	2,71	3,91	1,33	2,10	2,93	3,06	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,44	-	2,56	3,21	1,44	-	2,62	3,40	
$C_D(h)$	0,746				1,034				

Experimento		13-21 , $\bar{u}_h = 0,74$				13-22 , $\bar{u}_h = 0,74$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,23	1,03	2,02	3,07	1,12	1,40	1,66	2,45	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,35	-	2,5	3,25	1,19	-	1,75	2,10	
$C_D(h)$	1,321				0,229				
Experimento		14-03 , $\bar{u}_h = 0,05$				14-04 , $\bar{u}_h = 1,04$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,35	2,00	2,90	3,79	1,54	2,25	3,18	4,31	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,46	-	2,61	3,26	1,21	-	2,09	3,20	
$C_D(h)$	0,916				0,530				
Experimento		14-05 , $\bar{u}_h = 0,70$				14-06 , $\bar{u}_h = 1,07$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,22	1,05	2,70	3,61	1,52	2,14	2,77	4,02	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,34	-	2,42	3,12	1,64	-	2,70	3,40	
$C_D(h)$	0,954				0,327				
Experimento		14-07 , $\bar{u}_h = 1,43$				14-10 , $\bar{u}_h = 0,70$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,00	2,32	3,60	4,00	1,17	1,67	2,26	2,95	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,00	-	2,79	3,30	1,25	-	2,14	2,72	
$C_D(h)$	0,140				0,543				
Experimento		14-19 , $\bar{u}_h = 0,09$				14-20 , $\bar{u}_h = 0,77$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,42	2,15	3,07	4,10	1,26	1,93	2,92	3,92	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,55	-	2,82	3,64	1,30	-	2,54	3,30	
$C_D(h)$	1,043				1,346				
Experimento		14-23 , $\bar{u}_h = 0,59$				15-10 , $\bar{u}_h = 0,69$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,11	1,71	2,57	3,26	1,16	1,77	2,31	2,61	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,22	-	2,42	3,21	1,26	-	2,34	3,05	
$C_D(h)$	2,767				1,912				
Experimento		15-03 , $\bar{u}_h = 0,12$				15-10 , $\bar{u}_h = 0,07$			
$w/h$	1,231	1,576	2,084	2,834	1,231	1,576	2,084	2,834	
$\bar{u}_a \cdot (w/n)$	1,35	2,00	2,97	3,61	1,25	1,77	2,40	3,03	
$\bar{u}_c \cdot (w/n)$	1,41	-	2,57	3,20	1,34	-	2,25	2,84	
$C_D(h)$	0,974				0,993				

(continúa)



TABLA A3-5 : (continuación)

Experimento		15-20, $\bar{u}_h = 0.74$				15-22, $\bar{u}_h = 0.70$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.24	1.01	2.02	3.76	1.23	1.04	2.07	3.60	
$u_c$ (m/s)	1.31	-	2.56	3.34	1.35	-	2.60	3.41	
$C_D(h)$		1.491				1.934			
Experimento		15-23, $\bar{u}_h = 0.70$				16-00, $\bar{u}_h = 0.57$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.27	1.95	2.77	3.47	0.94	1.60	2.39	3.03	
$u_c$ (m/s)	1.36	-	2.61	3.43	1.02	-	2.25	3.09	
$C_D(h)$		1.791				0.010			
Experimento		16-10, $\bar{u}_h = 0.63$				16-17, $\bar{u}_h = 0.71$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.06	1.50	2.10	2.62	1.23	1.03	2.55	3.24	
$u_c$ (m/s)	1.11	-	2.04	2.64	1.30	-	2.42	3.16	
$C_D(h)$		1.341				1.414			
Experimento		16-20, $\bar{u}_h = 0.99$				16-21, $\bar{u}_h = 0.32$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.40	2.23	3.29	4.51	0.06	1.45	2.23	3.26	
$u_c$ (m/s)	1.64	-	2.09	3.70	0.91	-	2.05	2.79	
$C_D(h)$		0.727				10.379			
Experimento		16-22, $\bar{u}_h = 0.60$				16-23, $\bar{u}_h = 1.31$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.20	1.06	2.01	4.10	1.73	2.30	3.04	3.33	
$u_c$ (m/s)	1.32	-	2.60	3.57	1.03	-	2.22	3.47	
$C_D(h)$		1.621				0.114			
Experimento		17-00, $\bar{u}_h = 0.93$				17-01, $\bar{u}_h = 0.77$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.20	1.79	2.40	3.09	1.32	1.01	2.57	3.37	
$u_c$ (m/s)	1.31	-	2.25	2.01	1.32	-	2.35	3.04	
$C_D(h)$		0.263				0.091			
Experimento		17-02, $\bar{u}_h = 1.00$				17-03, $\bar{u}_h = 0.62$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.41	2.07	2.02	3.00	1.16	1.67	2.36	3.22	
$u_c$ (m/s)	1.64	-	2.00	3.24	1.17	-	2.23	2.91	
$C_D(h)$		1.225				1.710			

Experimento		17-14, $\bar{u}_h = 0.42$				17-05, $\bar{u}_h = 0.45$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.00	1.62	2.30	3.18	0.94	1.43	1.77	2.57	
$u_c$ (m/s)	1.05	-	2.25	3.04	0.97	-	1.94	2.30	
$C_D(h)$		6.345				3.025			
Experimento		17-07, $\bar{u}_h = 0.56$				17-10, $\bar{u}_h = 0.49$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	0.79	1.10	1.76	2.44	0.75	1.31	1.96	2.50	
$u_c$ (m/s)	0.79	-	1.61	2.15	0.96	-	1.07	2.45	
$C_D(h)$		3.670				2.125			
Experimento		17-17, $\bar{u}_h = 0.17$				17-20, $\bar{u}_h = 0.77$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	0.66	1.04	1.94	2.82	0.80	1.14	1.71	1.53	
$u_c$ (m/s)	0.73	-	1.81	2.50	0.96	-	1.34	1.29	
$C_D(h)$		37.100				0.008			
Experimento		17-22, $\bar{u}_h = 0.71$				17-23, $\bar{u}_h = 0.65$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.10	1.06	2.73	3.45	1.15	1.76	2.25	2.95	
$u_c$ (m/s)	1.32	-	2.47	3.22	1.23	-	2.35	3.07	
$C_D(h)$		1.524				1.759			
Experimento		18-00, $\bar{u}_h = 0.49$				18-01, $\bar{u}_h = 0.62$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.11	1.77	2.62	3.51	1.01	1.73	2.63	3.70	
$u_c$ (m/s)	1.16	-	2.45	3.20	1.20	-	2.32	3.04	
$C_D(h)$		5.119				1.979			
Experimento		18-10, $\bar{u}_h = 0.37$				18-03, $\bar{u}_h = 0.22$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	0.92	1.61	2.47	3.06	0.76	1.44	2.39	3.03	
$u_c$ (m/s)	1.03	-	2.26	3.09	0.76	-	2.10	2.80	
$C_D(h)$		7.046				27.975			
Experimento		18-14, $\bar{u}_h = 0.56$				18-07, $\bar{u}_h = 0.49$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034	
$u_a$ (m/s)	1.04	1.71	2.61	3.00	0.80	1.43	2.10	2.66	
$u_c$ (m/s)	1.16	-	2.30	3.05	0.97	-	1.79	2.54	
$C_D(h)$		7.700				2.311			

(continúa)

TABLA A3-5: (continuación)

Experimento	19-18, $\bar{u}_h = 0.77$				19-21, $\bar{u}_h = 1.15$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.21	1.71	2.44	2.04	1.66	2.32	3.17	4.25
$u_c$ (m/s)	1.31	-	2.31	2.31	1.77	-	2.94	3.71
$C_D(h)$	0.195				0.371			
Experimento	19-19, $\bar{u}_h = 1.01$				19-14, $\bar{u}_h = 0.93$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.55	2.11	2.00	3.23	1.12	1.54	2.04	2.01
$u_c$ (m/s)	1.62	-	2.66	3.33	1.26	-	1.92	2.31
$C_D(h)$	0.275				0.195			
Experimento	19-15, $\bar{u}_h = 0.69$				19-16, $\bar{u}_h = 0.96$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.05	1.44	1.97	2.50	1.32	1.91	2.66	3.22
$u_c$ (m/s)	1.01	-	1.94	2.33	1.44	-	2.31	2.37
$C_D(h)$	0.474				0.300			
Experimento	19-11, $\bar{u}_h = 1.42$				19-19, $\bar{u}_h = 1.16$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.62	1.04	2.02	2.20	1.47	2.17	2.95	3.05
$u_c$ (m/s)	1.64	-	2.06	2.34	1.59	-	2.61	3.27
$C_D(h)$	0.119				0.234			
Experimento	19-21, $\bar{u}_h = 2.01$				20-02, $\bar{u}_h = 0.94$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	2.41	2.95	3.60	4.46	1.32	1.91	2.49	3.22
$u_c$ (m/s)	2.51	-	3.45	4.06	1.43	-	2.31	2.99
$C_D(h)$	0.077				0.349			
Experimento	20-13, $\bar{u}_h = 0.93$				20-04, $\bar{u}_h = 0.70$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.32	1.76	2.49	3.11	1.11	1.75	2.31	2.75
$u_c$ (m/s)	1.42	-	2.44	3.11	1.27	-	2.26	2.80
$C_D(h)$	0.571				0.711			
Experimento	20-05, $\bar{u}_h = 1.33$				20-10, $\bar{u}_h = 0.70$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.91	2.46	3.32	4.53	1.21	1.76	2.31	2.72
$u_c$ (m/s)	1.92	-	3.16	3.00	1.32	-	2.22	2.82
$C_D(h)$	0.149				0.277			

Experimento	20-19, $\bar{u}_h = 1.10$				20-20, $\bar{u}_h = 1.20$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.56	2.23	3.17	4.12	1.70	2.52	3.51	4.67
$u_c$ (m/s)	1.61	-	2.19	3.97	1.89	-	3.22	4.60
$C_D(h)$	0.283				0.403			
Experimento	20-22, $\bar{u}_h = 1.16$				20-23, $\bar{u}_h = 1.11$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.91	2.22	3.00	4.26	1.56	2.15	2.91	4.09
$u_c$ (m/s)	1.72	-	2.28	3.49	1.66	-	2.76	3.37
$C_D(h)$	0.222				0.276			
Experimento	21-00, $\bar{u}_h = 1.23$				21-12, $\bar{u}_h = 0.41$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.71	2.32	3.14	4.22	0.96	1.41	2.16	2.91
$u_c$ (m/s)	1.86	-	2.71	3.61	0.97	-	2.13	2.71
$C_D(h)$	0.224				0.416			
Experimento	21-07, $\bar{u}_h = 0.75$				21-17, $\bar{u}_h = 0.96$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.16	1.64	2.26	3.01	1.39	1.95	2.62	3.23
$u_c$ (m/s)	1.10	-	2.05	2.61	1.49	-	2.47	3.12
$C_D(h)$	0.532				0.319			
Experimento	22-10, $\bar{u}_h = 0.97$				22-01, $\bar{u}_h = 0.62$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.91	1.95	2.67	3.14	1.17	1.69	2.47	3.21
$u_c$ (m/s)	1.90	-	2.46	3.09	1.10	-	2.26	2.96
$C_D(h)$	0.313				1.007			
Experimento	22-12, $\bar{u}_h = 0.53$				22-14, $\bar{u}_h = 0.70$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	0.70	1.19	1.60	2.11	1.22	1.93	2.75	3.23
$u_c$ (m/s)	0.97	-	1.54	1.97	1.26	-	2.41	3.21
$C_D(h)$	0.715				1.161			
Experimento	22-21, $\bar{u}_h = 1.01$				23-11, $\bar{u}_h = 1.71$			
$u/h$	1.231	1.576	2.004	2.034	1.231	1.576	2.004	2.034
$u_a$ (m/s)	1.52	2.14	2.86	3.55	1.10	1.69	2.95	3.10
$u_c$ (m/s)	1.64	-	2.71	3.41	1.22	-	2.19	2.83
$C_D(h)$	0.327				0.743			

(continúa)

TABLA A3-5: (continuación).

Experimento	23-19, $\bar{u}_h = 0.71$				23-18, $\bar{u}_h = 0.71$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.11	1.53	1.92	2.35	1.15	1.70	2.33	2.99
$u_c$ (m/s)	1.14	-	1.96	2.50	1.23	-	2.21	2.87
$C_{D(h)}$	0.524				1.000			
Experimento	23-19, $\bar{u}_h = 0.66$				23-20, $\bar{u}_h = 0.83$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.21	1.07	2.40	3.39	1.30	1.92	2.71	3.37
$u_c$ (m/s)	1.30	-	2.51	3.30	1.40	-	2.50	3.21
$C_{D(h)}$	2.119				0.837			
Experimento	23-21, $\bar{u}_h = 0.67$				23-23, $\bar{u}_h = 0.71$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.03	1.64	2.37	3.25	1.21	1.80	2.40	3.04
$u_c$ (m/s)	1.10	-	2.15	2.79	1.20	-	2.39	3.07
$C_{D(h)}$	1.113				1.315			
Experimento	24-04, $\bar{u}_h = 1.21$				24-18, $\bar{u}_h = 0.57$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.74	2.45	3.09	4.73	0.96	1.43	1.95	2.43
$u_c$ (m/s)	1.06	-	3.11	3.92	1.02	-	1.89	2.45
$C_{D(h)}$	0.911				1.291			
Experimento	24-19, $\bar{u}_h = 0.89$				24-20, $\bar{u}_h = 0.92$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.32	2.12	2.69	3.21	1.27	1.84	2.37	2.89
$u_c$ (m/s)	1.43	-	2.66	3.44	1.36	-	2.31	3.15
$C_{D(h)}$	1.149				0.712			
Experimento	24-22, $\bar{u}_h = 0.67$				25-02, $\bar{u}_h = 0.91$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.24	1.67	2.00	2.33	1.49	2.29	3.21	3.87
$u_c$ (m/s)	1.21	-	2.19	2.83	1.66	-	2.77	3.82
$C_{D(h)}$	1.154				0.864			
Experimento	25-05, $\bar{u}_h = 0.97$				25-16, $\bar{u}_h = 0.73$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.32	2.10	3.10	4.16	1.12	1.74	2.54	3.22
$u_c$ (m/s)	1.46	-	2.64	3.34	1.26	-	2.27	2.34
$C_{D(h)}$	0.913				0.781			

Experimento	25-07, $\bar{u}_h = 0.26$				25-18, $\bar{u}_h = 0.80$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	0.60	1.07	1.70	2.23	1.18	1.67	2.19	2.71
$u_c$ (m/s)	0.60	-	1.50	2.03	1.26	-	2.13	2.70
$C_{D(h)}$	7.759				0.463			
Experimento	25-19, $\bar{u}_h = 0.66$				25-20, $\bar{u}_h = 0.67$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.36	2.03	2.87	3.65	1.16	1.86	2.40	3.39
$u_c$ (m/s)	1.49	-	2.65	3.41	1.26	-	2.30	3.14
$C_{D(h)}$	0.930				1.605			
Experimento	25-21, $\bar{u}_h = 0.63$				25-22, $\bar{u}_h = 0.70$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.11	1.75	2.57	3.62	1.12	1.31	1.52	2.19
$u_c$ (m/s)	1.22	-	2.34	3.09	1.02	-	1.63	2.63
$C_{D(h)}$	1.751				0.262			
Experimento	26-00, $\bar{u}_h = 0.54$				26-02, $\bar{u}_h = 1.11$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.01	1.56	2.24	2.99	1.59	2.23	3.21	3.52
$u_c$ (m/s)	1.10	-	2.10	2.77	1.70	-	2.82	3.56
$C_{D(h)}$	2.289				0.361			
Experimento	26-04, $\bar{u}_h = 0.91$				26-05, $\bar{u}_h = 1.15$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.24	1.86	2.81	3.74	1.59	2.21	3.06	4.14
$u_c$ (m/s)	1.36	-	2.42	3.10	1.71	-	2.77	3.47
$C_{D(h)}$	0.909				0.284			
Experimento	26-06, $\bar{u}_h = 1.09$				26-10, $\bar{u}_h = 0.77$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.51	2.18	2.86	3.75	1.27	1.81	2.73	3.59
$u_c$ (m/s)	1.61	-	2.61	3.25	1.22	-	2.34	3.08
$C_{D(h)}$	0.246				1.107			
Experimento	26-20, $\bar{u}_h = 0.77$				26-21, $\bar{u}_h = 0.67$			
$w/h$	1.231	1.576	2.084	2.034	1.231	1.576	2.084	2.034
$u_a$ (m/s)	1.30	1.94	2.73	4.03	1.06	1.49	2.03	2.70
$u_c$ (m/s)	1.31	-	2.76	3.32	1.10	-	1.91	2.44
$C_{D(h)}$	1.277				1.652			

(continda)

TABLA A3-5: (continuación)

Experimento	26-24, $\bar{u}_h = 1.17$				26-23, $\bar{u}_h = 1.03$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.65	2.32	3.33	4.54	1.42	1.95	2.69	3.55
$u_c$ (m/s)	1.72	-	2.92	3.81	1.54	-	2.41	3.10
$C_D(h)$	0.321				0.212			
Experimento	27-10, $\bar{u}_h = 0.78$				27-11, $\bar{u}_h = 0.74$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.25	1.85	2.61	3.72	1.24	1.87	2.64	3.71
$u_c$ (m/s)	1.34	-	2.42	3.12	1.33	-	2.47	3.01
$C_D(h)$	0.754				1.274			
Experimento	27-02, $\bar{u}_h = 1.04$				27-03, $\bar{u}_h = 0.74$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.54	2.19	2.97	3.66	1.15	1.75	2.47	3.10
$u_c$ (m/s)	1.21	-	2.55	3.33	1.27	-	2.28	2.95
$C_D(h)$	0.351				0.931			
Experimento	27-04, $\bar{u}_h = 1.11$				27-15, $\bar{u}_h = 1.13$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.54	2.16	3.10	4.26	1.54	2.10	2.93	4.12
$u_c$ (m/s)	1.66	-	2.72	3.40	1.64	-	2.61	3.25
$C_D(h)$	0.316				0.177			
Experimento	27-16, $\bar{u}_h = 1.16$				27-17, $\bar{u}_h = 1.25$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.56	2.17	3.12	4.54	1.60	2.16	2.69	3.72
$u_c$ (m/s)	1.69	-	2.71	3.37	1.61	-	2.49	3.12
$C_D(h)$	0.229				0.051			
Experimento	27-17, $\bar{u}_h = 1.41$				27-20, $\bar{u}_h = 1.20$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.89	2.41	3.15	3.91	1.66	2.15	2.86	3.82
$u_c$ (m/s)	1.97	-	2.90	3.50	1.74	-	2.61	3.18
$C_D(h)$	0.191				0.067			
Experimento	28-11, $\bar{u}_h = 0.76$				28-13, $\bar{u}_h = 0.90$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.19	1.69	2.30	2.91	1.42	2.02	2.80	3.64
$u_c$ (m/s)	1.24	-	2.17	2.77	1.53	-	2.57	3.24
$C_D(h)$	0.655				0.401			

Experimento	28-04, $\bar{u}_h = 0.90$				28-05, $\bar{u}_h = 0.71$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.21	1.83	2.54	3.43	1.11	1.64	2.31	3.12
$u_c$ (m/s)	1.37	-	2.32	2.93	1.20	-	2.15	2.76
$C_D(h)$	0.391				0.059			
Experimento	28-06, $\bar{u}_h = 0.83$				28-17, $\bar{u}_h = 1.03$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.19	1.75	2.41	3.09	1.37	1.91	2.43	3.23
$u_c$ (m/s)	1.31	-	2.24	2.84	1.44	-	2.22	2.73
$C_D(h)$	0.475				0.115			
Experimento	29-02, $\bar{u}_h = 2.21$				29-03, $\bar{u}_h = 2.05$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	2.71	3.26	3.96	4.76	2.54	3.00	3.99	4.31
$u_c$ (m/s)	2.77	-	3.85	4.54	2.55	-	3.50	4.12
$C_D(h)$	0.019				0.017			
Experimento	29-04, $\bar{u}_h = 1.99$				29-15, $\bar{u}_h = 1.77$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	2.46	2.96	3.60	4.40	2.44	2.96	3.81	4.50
$u_c$ (m/s)	2.50	-	3.47	4.11	2.49	-	3.41	4.13
$C_D(h)$	0.019				0.020			
Experimento	29-16, $\bar{u}_h = 1.75$				29-17, $\bar{u}_h = 1.81$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	2.19	2.78	3.46	4.45	2.23	2.69	3.29	4.17
$u_c$ (m/s)	2.26	-	3.23	3.87	2.27	-	3.15	3.73
$C_D(h)$	0.124				0.019			
Experimento	29-18, $\bar{u}_h = 0.70$				30-11, $\bar{u}_h = 0.73$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.12	1.66	2.29	3.12	1.17	1.72	2.40	3.11
$u_c$ (m/s)	1.21	-	2.17	2.84	1.26	-	2.23	2.87
$C_D(h)$	0.174				0.801			
Experimento	30-02, $\bar{u}_h = 0.76$				30-13, $\bar{u}_h = 0.96$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.34	1.91	2.71	2.82	1.39	1.94	2.71	3.74
$u_c$ (m/s)	1.45	-	2.31	2.91	1.49	-	2.46	3.10
$C_D(h)$	0.312				0.375			

Experimento	30-15, $\bar{u}_h = 0.94$				30-16, $\bar{u}_h = 0.99$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.35	1.91	2.84	3.16	1.41	1.97	2.93	4.06
$u_c$ (m/s)	1.49	-	2.53	3.21	1.52	-	2.52	3.17
$C_D(h)$	0.412				0.352			
Experimento	30-17, $\bar{u}_h = 1.02$				30-18, $\bar{u}_h = 1.54$			
$u/h$	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$u_a$ (m/s)	1.55	1.73	2.31	3.16	1.71	1.95	2.19	2.43
$u_c$ (m/s)	1.77	-	2.11	2.57	1.74	-	2.19	2.40
$C_D(h)$	0.175				0.007			

**TABLA A3-6 : Muestras observadas y generadas de velocidad media del viento por el modelo de variación de velocidad de fricción en condiciones atmosféricas estables, en la capa de transición de la atmósfera. Las velocidades se expresan en m/s . ( Clarke y Brook, 1979 ).**

Experimento	05-19, $\bar{u}_h = 1.40, u_* = 0.143$				07-19, $\bar{u}_h = 1.27, u_* = 0.292$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.09	2.34	3.49	-	1.60	2.12	2.74	3.49
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.75	2.46	3.11	-	1.67	2.08	2.53	3.09
a'/L'	4.321				0.102			
Experimento	07-20, $\bar{u}_h = 1.63, u_* = 0.255$				07-21, $\bar{u}_h = 2.19, u_* = 0.432$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	2.09	2.66	3.42	-	2.65	3.14	3.79	-
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.18	2.89	3.24	-	2.73	3.22	3.77	-
a'/L'	0.421				0.157			
Experimento	09-19, $\bar{u}_h = 1.50, u_* = 0.216$				09-22, $\bar{u}_h = 1.56, u_* = 0.372$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.75	1.96	2.47	-	1.99	2.47	3.09	-
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.79	1.77	2.18	-	2.09	2.53	3.05	-
a'/L'	0.500				0.179			
Experimento	09-23, $\bar{u}_h = 1.33, u_* = 0.199$				10-03, $\bar{u}_h = 1.24, u_* = 0.069$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.74	2.31	2.75	-	1.66	2.20	2.91	-
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.84	2.30	2.91	-	1.83	2.41	3.03	-
a'/L'	0.711				2.415			
Experimento	11-19, $\bar{u}_h = 0.84, u_* = 0.191$				19-23, $\bar{u}_h = 1.07, u_* = 0.211$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	1.20	1.89	2.75	-	2.05	2.54	3.12	-
$\bar{u}_c$ (m/s)	1.26	1.63	2.05	-	2.26	2.79	3.37	-
a'/L'	0.169				0.075			
Experimento	19-04, $\bar{u}_h = 1.67, u_* = 0.455$				19-01, $\bar{u}_h = 1.15, u_* = 0.319$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	2.09	2.53	3.05	3.73	1.51	1.95	2.31	-
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.17	2.66	3.19	3.94	1.58	1.97	2.40	-
a'/L'	0.105				0.130			
Experimento	21-19, $\bar{u}_h = 2.51, u_* = 0.379$				21-19, $\bar{u}_h = 1.40, u_* = 0.500$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	2.76	3.41	3.96	4.33	1.79	2.32	2.77	3.70
$\bar{u}_c$ (m/s)	3.07	3.20	4.15	4.95	1.86	2.27	2.73	3.29
a'/L'	0.029				0.077			
Experimento	21-11, $\bar{u}_h = 2.09, u_* = 0.399$				21-20, $\bar{u}_h = 2.22, u_* = 0.479$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	2.51	3.01	3.67	-	2.79	3.21	3.76	-
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.79	3.21	3.90	-	2.73	3.19	3.71	-
a'/L'	0.421				0.160			

Experimento	21-21, $\bar{u}_h = 2.49, u_* = 0.502$				21-23, $\bar{u}_h = 2.60, u_* = 0.600$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	2.76	3.52	4.19	-	3.12	3.67	4.33	5.11
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.79	3.45	3.96	-	3.17	3.69	4.25	4.76
a'/L'	0.149				0.162			
Experimento	29-10, $\bar{u}_h = 2.24, u_* = 0.579$				29-01, $\bar{u}_h = 2.23, u_* = 0.441$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	2.66	3.15	3.77	4.50	2.71	3.23	3.89	4.71
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.73	3.17	3.66	4.27	2.77	3.25	3.80	4.47
a'/L'	0.071				0.034			
Experimento	29-22, $\bar{u}_h = 2.06, u_* = 0.454$				29-23, $\bar{u}_h = 1.75, u_* = 0.371$			
u/h	1.231	1.576	2.084	2.834	1.231	1.576	2.084	2.834
$\bar{u}_a$ (m/s)	2.53	3.09	3.71	4.61	2.15	2.89	3.32	-
$\bar{u}_c$ (m/s)	2.59	3.07	3.61	4.27	2.30	2.80	3.35	-
a'/L'	0.076				0.104			

TABLA A3-7 : Muestras observadas y generadas por el modelo propuesto de velocidad media de viento en la capa interna de la atmósfera. Las velocidades se encuentran expresadas en m/s . ( Thom, 1971; Desjardins y otros, 1978; Meroney, 1968 ) .

Vegetación	Nahan , h = 1.10 m , $\bar{u}_H = 7.77$					$\bar{u}_{h1}$	$\bar{u}_{h2}$
Experimento	C . $C_{D(h)} = 0.509$					0.603	0.523
$z/h$	0.14	0.25	0.47	0.65	0.83		
$\bar{u}$ medido	0.12	0.13	0.14	0.20	0.31		
$\bar{u}$ calculado	0.11	0.15	0.10	-	0.36		
Experimento	D . $C_{D(h)} = 0.221$					0.850	0.600
$\bar{u}$ medido	0.20	0.23	0.24	0.31	0.38		
$\bar{u}$ calculado	0.20	0.25	0.27	-	0.57		
Experimento	E . $C_{D(h)} = 0.231$					1.050	0.917
$\bar{u}$ medido	0.25	0.33	0.37	0.46	0.72		
$\bar{u}$ calculado	0.27	0.31	0.40	-	0.71		
Experimento	F . $C_{D(h)} = 0.196$					1.170	1.110
$\bar{u}$ medido	0.30	0.43	0.47	0.50	0.60		
$\bar{u}$ calculado	0.37	0.41	0.51	-	0.80		
Intervalo de $z/h$	$a(z) \cdot (cm^{-1})$						
0.100- 0.153	0.1170						
0.153- 0.322	0.0417						
0.322- 0.492	0.0695						
0.492- 0.661	0.0717						
0.661- 0.831	0.0133						
0.831- 1.000	0.0915						

(continúa)

TABLA A3-7 : (continuación) .

Velocidad	m/s , h = 2.60 m , $\bar{z}_m = 3.710$							
Experimento	A , $\bar{u}_h = 2.11$ , $C_D(h) = 0.044$							
u/h	0.115	0.231	0.346	0.462	0.577	0.692	0.807	
u medido	0.24	0.36	0.50	0.36	0.53	0.63	1.20	
u calculado	0.026	0.043	0.243	0.604	0.720	0.836	0.946	
Experimento	B , $\bar{u}_h = 2.32$ , $C_D(h) = 0.177$							
u medido	0.30	0.36	0.30	0.36	0.45	0.83	1.35	
u calculado	0.30	0.36	0.30	0.36	0.56	0.88	-	
Experimento	C , $\bar{u}_h = 1.97$ , $C_D(h) = 0.026$							
u medido	0.30	0.31	0.33	0.36	0.53	0.90	1.35	
u calculado	0.32	0.39	0.36	0.45	0.67	0.99	-	
Experimento	D , $\bar{u}_h = 2.04$ , $C_D(h) = 0.018$							
u medido	0.30	0.41	0.31	0.33	0.60	0.96	1.50	
u calculado	0.57	0.65	0.57	0.69	0.90	1.10	-	
Experimento	E , $\bar{u}_h = 2.22$ , $C_D(h) = 0.031$							
u medido	0.36	0.51	0.44	0.45	0.66	1.13	1.50	
u calculado	0.36	0.44	0.31	0.49	0.71	1.16	-	

Velocidad	Arboles artificiales , h = 38 cm , $\bar{z}_m = 1.072$									
Experimento	A , $\bar{u}_h = 1.0$ , $C_D(h) = 0.401$									
u/h	0.17	0.19	0.31	0.41	0.52	0.67	0.85	0.96	1.10	
u medido	0.60	0.57	0.53	0.50	0.47	0.60	0.93	1.40	1.57	
u calculado	0.64	0.57	0.47	0.47	0.52	0.64	1.10	1.32	-	
Intervalo de u/h	$a_{(u)} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$									
0.10-0.20	0.022									
0.20-0.30	0.039									
0.30-1.00	0.059									