



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

01161 ley.

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
SUBJEFATURA DE INGENIERÍA CIVIL

"RESPUESTA DINAMICA DE ESTRUCTURAS BAJO  
LA ACCION TURBULENTO DEL VIENTO"

T E S I S

QUE PRESENTA:

FRANCISCO OSWALDO AMAVIZCA RASCON

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA  
(ESTRUCTURAS)

J U R A D O

ING. OSCAR DE BUEN LÓPEZ DE HEREDIA

ING. NEFTALÍ RODRÍGUEZ CUEVAS

DR. OCTAVIO RASCÓN CHÁVEZ

DR. GUSTAVO AYALA MILIÁN

M. EN I. RAMÓN CERVANTES BELTRÁN

*[Handwritten signatures of the jury members]*

EL COORDINADOR DE LA SECCIÓN

LA SECRETARÍA ACADÉMICA

*[Handwritten signature of Neftalí Rodríguez Cuevas]*

*[Handwritten signature of Gabriela Moeller de Jalife]*

ING. NEFTALÍ RODRÍGUEZ CUEVAS. M. EN I. GABRIELA MOELLER DE JALIFE.

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F., ABRIL DE 1984.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

	PÁG.
1. DESCRIPCION DEL VIENTO NATURAL	
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PERFIL DE VELOCIDADES MEDIAS	2
1.3 PROPIEDADES DE LA TURBULENCIA	11
2. SIMULACION NUMERICA DE LA TURBULENCIA	
2.1 EL VIENTO COMO PROCESO ESTOCÁSTICO	36
2.2 PARÁMETROS PARA MODELAR LA TURBULENCIA	38
2.3 SIMULACIÓN DE RÁFAGAS GRANDES	38
2.4 SIMULACIÓN DE RÁFAGAS PEQUEÑAS	42
2.5 SELECCIÓN DE INTERVALOS DE TIEMPO $\Delta t$ Y $\Delta S$	43
2.6 FUERZAS DEL VIENTO	45
2.7 ANÁLISIS DINÁMICO	46
3. AUTOMATIZACION DEL CALCULO	
3.1 INTRODUCCIÓN	55

3.2	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PRINCIPAL Y SUBROUTINAS	55
3.3	INSTRUCTIVO PARA USUARIOS DEL PROGRAMA	64
4.	EJEMPLOS DE APLICACION	
4.1	DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS	70
4.2	DATOS DE ENTRADA AL PROGRAMA	78
4.3	RESULTADOS DEL ANÁLISIS	78
4.4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
5.	COMENTARIOS FINALES	110
6.	REFERENCIAS	114

## 1. DESCRIPCION DEL VIENTO NATURAL

### 1.1 INTRODUCCION

LOS CONOCIMIENTOS ACTUALES ACERCA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE LOS PARÁMETROS QUE GOBIERNAN LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA SON BASTANTE LIMITADOS, A PESAR DEL TREMENDO INCREMENTO EN EL NÚMERO DE ESTUDIOSOS DE LA METEOROLOGÍA DE LA PARTE INFERIOR DE LA ATMÓSFERA, CONOCIDA COMO "CAPA LÍMITE" DE LA TIERRA, DEBIDO EN PARTE A LA NATURALEZA COMPLEJA DEL FLUJO TURBULENTO.

EL VIENTO FORMA PARTE DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA Y SE PUEDE DEFINIR COMO EL MOVIMIENTO DE MASAS DE AIRE CON RESPECTO A LA SUPERFICIE DE LA TIERRA, PRODUCIDO FUNDAMENTALMENTE POR: EL CALENTAMIENTO VARIABLE DE LA ATMÓSFERA, POR LOS RAYOS SOLARES; LA ACCIÓN DE LA GRAVEDAD; CAMBIOS DE POSICIÓN DE MASAS DE AIRE DE DIFERENTES DENSIDADES; POSICIÓN GEOGRÁFICA; FUERZAS DE CORIOLIS DEBIDAS A LA ROTACIÓN DE LA TIERRA; Y FUERZAS CENTRÍFUGAS DEBIDAS A LA TRAYECTORIA CURVA DEL VIENTO SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE [13, 14, 17, - 37, 38]\*, LA RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE TERRESTRE, LA VISCOSIDAD.

\* Los números dentro de paréntesis rectangulares [], indican el número de la referencia en el capítulo 6.

DEL AIRE, LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA SON TAMBIÉN FACTORES IMPORTANTES EN LA GENERACIÓN DE VIENTOS INTENSOS.

LAS TRES PROPIEDADES DEL VIENTO DE MAYOR IMPORTANCIA PARA FINES DE DISEÑO ESTRUCTURAL SON:

- A) PERFIL DE VELOCIDADES MEDIAS;
- B) PROPIEDADES ESPACIALES Y TEMPORALES DE LA TURBULENCIA; Y
- C) DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS RÁFAGAS Y SU CONTENIDO DE FRECUENCIAS.

EN GENERAL SE PUEDE CONSIDERAR QUE EL VIENTO CONSISTE DE UN FLUJO MEDIO, CONSTANTE EN UN INTERVALO DE TIEMPO, AL CUAL SE LE SUPERPONEN FLUCTUACIONES. A ESTAS FLUCTUACIONES NORMALMENTE SE LES LLAMA RÁFAGAS.

LAS OBSERVACIONES DE REGISTROS DE VIENTO REVELAN DOS HECHOS IMPORTANTES: A) QUE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO OCURRE DENTRO DE UN AMPLIO INTERVALO DE ESCALAS DE TIEMPO, EL CUAL VARÍA DE AÑOS A UNOS CUANTOS SEGUNDOS [30, 42]; Y B) QUE LA VARIACIÓN ES ALTAMENTE IRREGULAR Y COMPLEJA, CON CARACTERÍSTICAS ALEATORIAS, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 1.1.

YA QUE LAS VARIACIONES DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO SON ALEATORIAS, SON NECESARIAS LA PROBABILIDAD Y LA ESTADÍSTICA PARA ESTABLECER VELOCIDADES DE VIENTO PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS, CON PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DENTRO DE UNA VIDA ÚTIL ESPECIFICADA.

## 1.2. PERFIL DE VELOCIDADES MEDIAS.

EN LOS ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN MECÁNICA DE FLUÍDOS SE DIS-

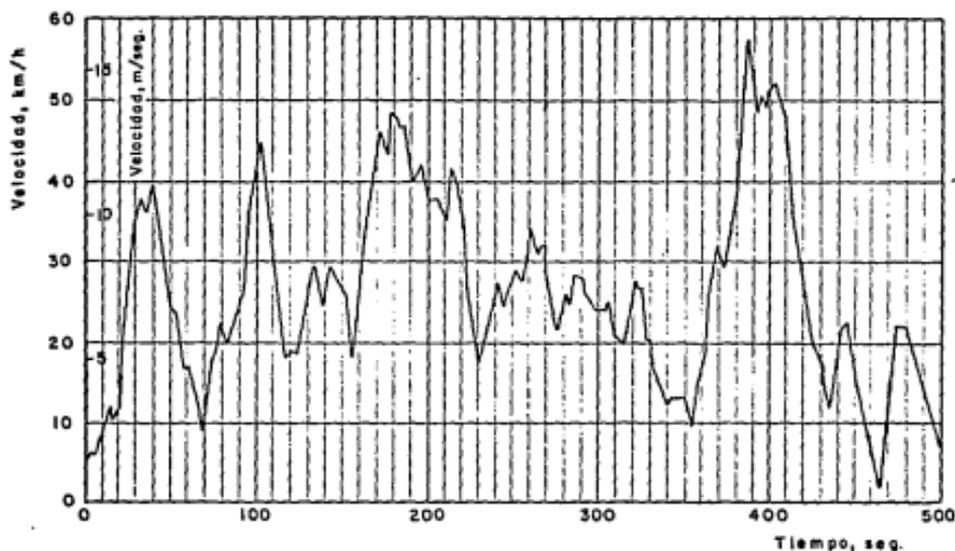


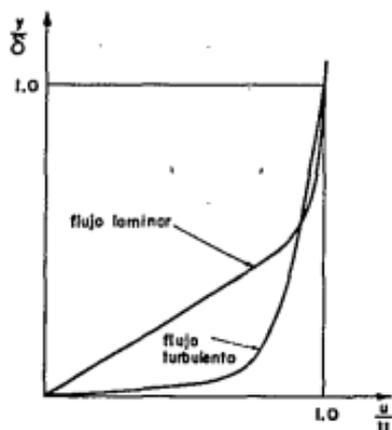
Figura 1.1 Variación de la velocidad instantánea del viento. Alberca olímpica, 4 de Mayo de 1970 [29]

TINGUEN DOS REGÍMENES DIFERENTES DE FLUJO: A) FLUJO LAMINAR Y -- B) FLUJO TURBULENTO. EN FLUJO LAMINAR, LAS CAPAS DEL FLUIDO SE DESLIZAN SUAVEMENTE UNAS SOBRE OTRAS, CON NULO INTERCAMBIO DE MASAS DE FLUIDO ENTRE CAPAS ADYACENTES. LOS ESFUERZOS CORTANTES QUE SE DESARROLLAN SE DEBEN ÚNICAMENTE A LA VISCOSIDAD DEL FLUIDO Y A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN CADA PUNTO, ES DECIR, EL INTERCAMBIO DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO ENTRE CAPAS ADYACENTES, SOLO SE PRESENTA A ESCALA MOLECULAR.

EN FLUJO TURBULENTO, EL MOVIMIENTO DE LAS PARTÍCULAS DEL FLUIDO ES ALEATORIO, CON VELOCIDADES QUE FLUCTUAN TANTO A LO LARGO DE LA DIRECCIÓN MEDIA DEL FLUJO, COMO PERPENDICULAR A ÉSTA; HAY UN TRANSPORTE APRECIABLE DE MASA ENTRE CAPAS ADYACENTES, CON INTERCAMBIO

DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO ENTRE ELLAS. LOS ESFUERZOS CORTANTES - PUEDEN SER DE MAGNITUD MUCHO MAYOR QUE LOS QUE SE DESARROLLAN -- POR LA ACCIÓN VISCOSA.

COMO UNA CONSECUENCIA DE LAS DIFERENCIAS ESENCIALES ENTRE FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO, LOS PERFILES DE VELOCIDADES EN AMBOS CASOS RESULTAN DIFERENTES. EN LA FIGURA 1.2 SE MUESTRAN LOS PERFILES DE VELOCIDADES, DIBUJADOS CON ESCALAS ADIMENSIONALES.



$u$  = Velocidad del flujo turbulento a una distancia "y" de la pared de un tubo, o de la superficie.

$U$  = Velocidad máxima del flujo turbulento en el centro de un tubo, o al borde de la capa límite.

$\delta$  = radio del tubo, o espesor de la capa límite.

Figura 1.2 Perfiles de velocidades en flujo laminar y flujo turbulento.

EN FLUJO LAMINAR, LA ENERGÍA DEL FLUIDO SE TRANSMITE A LA SUPERFICIE POR EL RETRASO EN EL MOVIMIENTO DEL FLUIDO CERCANO A ÉSTA, DEBIDO A LA VISCOSIDAD, RESULTANDO UNA PENETRACIÓN RELATIVAMENTE PEQUEÑA DE ENERGÍA EN LAS CAPAS CERCANAS A LA SUPERFICIE; CONSECUENTEMENTE, UNA PORCIÓN APRECIABLE DE LA CAPA LÍMITE DEL FLUJO, REDUCE CONSIDERABLEMENTE SU VELOCIDAD.

EN FLUJO TURBULENTO, SE DESARROLLAN ESFUERZOS DE REYNOLDS GRANDES, DEBIDOS AL INTERCAMBIO DE MASA EN DIRECCIÓN PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE, TAL QUE LA ENERGÍA DEL FLUIDO PUEDE PENETRAR FACILMENTE A LAS CAPAS DE FLUIDO CERCANAS A LA SUPERFICIE. ÉSTO DA POR RESULTADO QUE ESTAS CAPAS TENGAN UNA VELOCIDAD QUE RESULTA -- PRÓXIMA A LA DEL FLUJO PRINCIPAL.

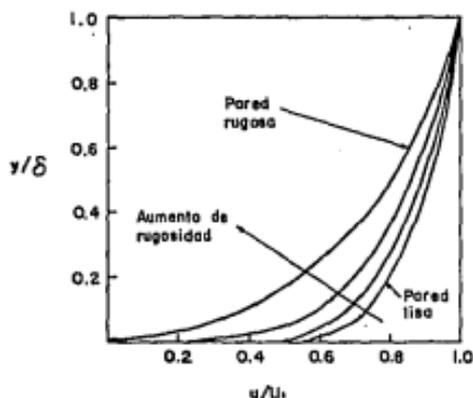
LOS ESFUERZOS CORTANTES EN FLUJO TURBULENTO SE INCREMENTAN CON LA ESCALA E INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA, PARA UNA VELOCIDAD DEL FLUJO PRINCIPAL DADA, TAL QUE AL AUMENTAR LAS RUGOSIDADES DE LA SUPERFICIE Y POR CONSIGUIENTE LOS ESFUERZOS CORTANTES EN LAS CAPAS ADYACENTES A LA SUPERFICIE, SE INCREMENTA LA ESCALA E INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA Y COMO CONSECUENCIA, CAMBIA LA FORMA DE LA PARTE INFERIOR DEL PERFIL DE VELOCIDADES.

EN FLUJOS ESTABLES NO EXISTE UNA CURVA SIMPLE PARA LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES A TRAVÉS DEL FLUJO; ÉSTA DEPENDE DE DOS PARÁMETROS: A) EL NÚMERO DE REYNOLDS Y B) LA RUGOSIDAD.

LA FIGURA 1.3 MUESTRA LAS CURVAS DEL PERFIL DE VELOCIDADES MEDIAS, OBTENIDAS EXPERIMENTALMENTE PARA LA CAPA LÍMITE EN SUPERFICIE PLANA Y DE LISA A RUGOSA. ÉSTOS PERFILES SON PARA CAPA LÍMITE EN FLUJOS DONDE EL GRADIENTE DE PRESIÓN ES PEQUEÑO O NO EXISTE.

EN LA CAPA LÍMITE ATMOSFÉRICA, CON EL CORRESPONDIENTE CAMBIO DE FLUIDO, AMBOS FENÓMENOS SE PUEDEN PRESENTAR EN MAYOR O MENOR AMPLITUD.

PARA REPRESENTAR LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO CON LA ALTURA SE HA RECURRIDO A ENFOQUES EMPÍRICOS, SEMIEMPÍRICOS



$u$  = Velocidad del flujo turbulento a una distancia "y" de la pared de un tubo, o de la superficie.

$U$  = Velocidad máxima del flujo turbulento en el centro de un tubo, o al borde de la capa límite.

$\delta$  = radio del tubo, o espesor de la capa límite.

Figura 1.3 Perfiles de velocidades en flujo turbulento

Y TEÓRICOS. LOS TRES MÁS FAMILIARES CONducEN A PERFILES DEFINIDOS POR: LA ESPIRAL DE ECKMAN, LA VARIACIÓN LOGARÍTMICA Y LA LEY DE POTENCIA. PARA PROPÓSITOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL, LA MÁS AMPLIAMENTE USADA, POR SU SIMPLICIDAD, HA SIDO LA LEY DE POTENCIA [11, 28, 34]:

$$V_z = k z^{\alpha} \quad (1.1)$$

DONDE  $V_z$  ES LA VELOCIDAD A LA ALTURA  $z$ , Y  $k$  Y  $\alpha$  SON CONSTANTES.

DAVENPORT [8] PROPUSO LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$V_{zx} = \left( \frac{z}{z_{gx}} \right)^{\alpha_x} V_{gx} \quad (1.2)$$

DONDE EL SUBÍNDICE  $x$  SE REFIERE AL TIPO DE TERRENO EN CONSIDERACIÓN,  $V_z$  ES LA VELOCIDAD A LA ALTURA  $z$ ,  $V_g$  ES LA VELOCIDAD GRADIENTE A LA ALTURA  $z_g$ , Y  $\alpha_x$  UNA CONSTANTE QUE DEPENDE DE LA TOPOGRAFÍA DEL LUGAR.

LOS PERFILES DE LA FIGURA 1.4 SUGIEREN EL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO PARA RELACIONAR LAS VELOCIDADES DEL VIENTO EN DOS TIPOS DE TERRENO X e Y: SE APLICA LA EC. (1.2), SE ELIMINA LA CANTIDAD  $V_0$ , Y DE LAS EXPRESIONES RESULTANTES SE OBTIENE:

$$V_{zy} = \left( \frac{z}{z_{gy}} \right)^{\alpha_y} \left( \frac{z_{gx}}{z_1} \right)^{\alpha_x} V_{z_1x} \quad (1.3)$$

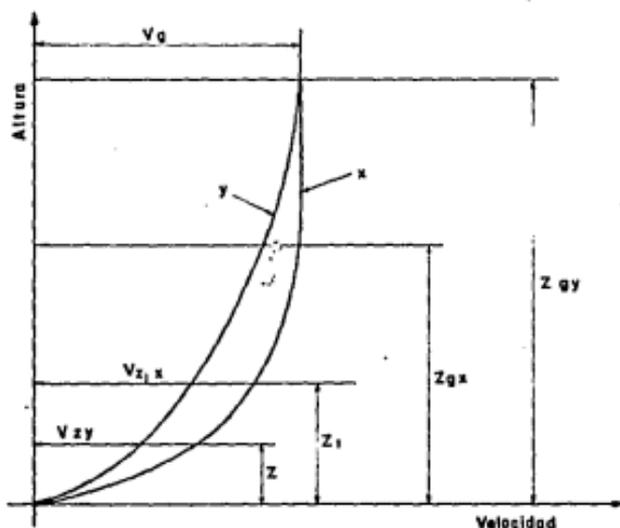


Figura 1.4 Perfiles de velocidades para dos tipos de terreno diferentes, Según Davenport [8].

EL MISMO DAVENPORT, A PARTIR DE UNA AMPLIA COLECCIÓN DE REGISTROS DE LOCALIDADES DE DIVERSOS PAÍSES, SUGIERE LOS VALORES LÍMITES QUE SE MUESTRAN EN LA TABLA I.1. AL USAR ÉSTOS VALORES, LAS VELOCIDADES  $V_z$  Y  $V_{z_1}$  DEBERÁN SER LAS CORRESPONDIENTES A PROMEDIOS HORARIOS DURANTE VIENTOS FUERTES.

TABLA I.1 VALORES DEL EXPONENTE  $\alpha$  Y  $Z_g$   
SUGERIDOS POR A.G. DAVENPORT [8].

TIPO DE TERRENO	$\alpha$	$Z_g$ (M)
(A) CAMPO ABIERTO CON MUY POCOS OBSTÁCULOS COMO SON CAMPOS DE PASTOREO O DE CULTIVO CON POCOS ÁRBOLES.	0.16	275
(B) TERRENO CUBIERTO CON OBSTÁCULOS UNIFORMES DE 10 A 15 M DE ALTURA COMO SON ZONAS RESIDENCIALES, POBLADOS PEQUEÑOS, PRADERAS CON ARBUSTOS PEQUEÑOS, CAMPOS CON MATORRALES, HILERAS DE ÁRBOLES Y VALLAS.	0.28	375
(C) TERRENOS CON GRANDES IRREGULARIDADES COMO SON CENTROS DE CIUDADES GRANDES O CAMPO MUY ACCIDENTADO CON BARRANCAS Y CAÑONES.	0.40	430

EL REGLAMENTO BRITÁNICO [3], A PARTIR DE MEDICIONES DE VIENTOS REALES EN EDIFICIOS LOCALIZADOS EN CENTROS DE CIUDADES [24, 25, 26, 27] PROPONE CUATRO CATEGORÍAS PARA TERRENOS CON TOPOGRAFÍAS DIFERENTES:

## CATEGORÍA

- |   |   |
|---|---|
| 1 | CAMPO ABIERTO SIN OBSTRUCCIONES.  |
| 2 | CAMPO ABIERTO CON POCOS ÁRBOLES O POCAS HILERAS DE ÁRBOLES.                                       |
| 3 | CAMPO CON MUCHOS ÁRBOLES O HILERAS DE ÁRBOLES, POBLADOS PEQUEÑOS Y SUBURBIOS DE CIUDADES GRANDES. |
| 4 | TERRENOS CON GRANDES Y FRECUENTES OBSTRUCCIONES COMO SON CENTROS DE CIUDADES GRANDES.             |

ASIMISMO, CONSIDERA TRES INTERVALOS DE TIEMPO SOBRE EL CUAL DEBEN PROMEDIARSE LAS VELOCIDADES MÁXIMAS. ESTE TIEMPO PROMEDIO ES DE 15 SEGUNDOS PARA EDIFICIOS DONDE UNA DE LAS DIMENSIONES, HORIZONTAL O VERTICAL, ES MAYOR DE 50 METROS; 5 SEGUNDOS PARA CUANDO NINGUNA DE LAS DIMENSIONES EXCEDE LOS 50 METROS; Y 3 SEGUNDOS PARA ELEMENTOS INDIVIDUALES COMO SON VENTANAS Y ELEMENTOS DE FACHADA O CUBIERTA.

LA EXPRESIÓN PROPUESTA POR ESTE REGLAMENTO ES LA SIGUIENTE:

$$V_{zt} = \frac{V_{Et}}{V_{E3}} \frac{V_{E3}}{V_{10,3}} V_{10,3} \left( \frac{z-Y}{10} \right)^{\alpha} \quad (1.4)$$

DONDE EL PRIMER SUBÍNDICE SE REFIERE A LA ALTURA DONDE SE ESTÁ CALCULANDO LA VELOCIDAD, Y EL SEGUNDO AL INTERVALO DE TIEMPO PROMEDIO QUE LE CORRESPONDA A LA ESTRUCTURA QUE SE ESTÉ CONSIDERANDO. EN LA FIGURA 1.5 SE MUESTRA EL SIGNIFICADO DEL RESTO DE LAS VARIABLES.

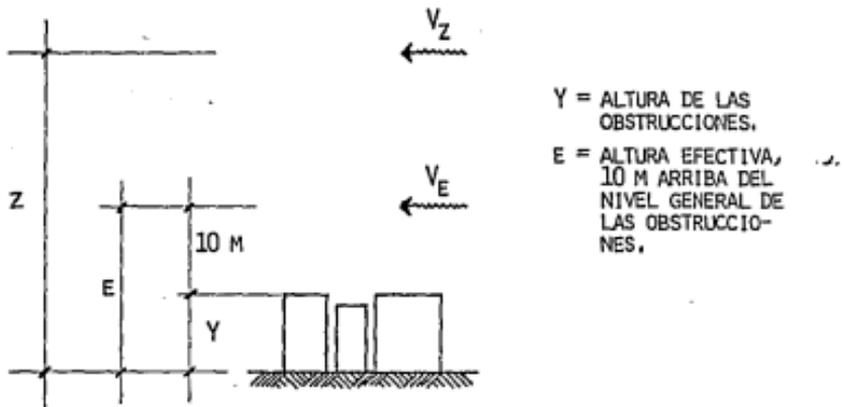


FIGURA 1.5

EN LA TABLA 1.2 SE MUESTRAN LOS VALORES PROPUESTOS EN ESTE REGLAMENTO, Y QUE DEBEN USARSE EN LA EC. (1.4).

TABLA 1.2

				$\frac{V_{ET}}{V_{E3}}$			EXPONENTE $\infty$		
CATEGORIA	Y (M)	E (M)	$\frac{V_{E3}}{V_{10,3}}$	T (SEGUNDOS)			T (SEGUNDOS)		
				3	5	15	3	5	15
1	0	10	1.00	1.00	0.95	0.90	0.080	0.090	0.100
2	2	12	0.98	1.00	0.95	0.90	0.085	0.095	0.105
3	10	20	0.95	1.00	0.95	0.90	0.090	0.100	0.110
4	25	35	0.94	1.00	0.95	0.90	0.090	0.105	0.115

EN LA FIGURA 1.6 SE HAN DIBUJADO LAS CURVAS PARA CENTRO DE CIUDAD, OBTENIDAS USANDO UNA VELOCIDAD INSTANTÁNEA  $V_{10,3} = 28$  M/SEG ( $V_{hr} = 15.58$  M/SEG) PARA CAMPO ABIERTO, Y EMPLEANDO LA EXPRESIÓN -- PROPUESTA POR MACKAY

$$\frac{V_t}{V_{4hr}} = 1.0 - 0.6226 \left( \frac{\sigma}{V} \right)^{1.2716} \log_e \frac{t}{T} \quad (1.5)$$

CON  $\sigma/V = 0.26$ , PARA OBTENER LA VELOCIDAD MEDIA EN UN TIEMPO DE 15 SEG, A USAR EN EL CRITERIO PROPUESTO POR DAVENPORT Y LA PROPUESTA POR EL REGLAMENTO INGLÉS.

### 1.3 PROPIEDADES DE LA TURBULENCIA

#### 1.3.1 RAFAGAS O TURBULENCIA

LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN UN PUNTO DEL ESPACIO Y EN UN DETERMINADO INSTANTE DE TIEMPO, ES UNA CANTIDAD VECTORIAL CON MAGNITUD Y DIRECCIÓN. LA MAGNITUD Y LA DIRECCIÓN DEL VIENTO SON VARIABLES, Y EN UN PUNTO ADYACENTE DEL ESPACIO Y/O EN EL SIGUIENTE INSTANTE DE TIEMPO, VARIARÁN LAS CARACTERÍSTICAS DEL VECTOR REPRESENTATIVO DE LA VELOCIDAD. EN LA FIGURA 1.7 SE MUESTRAN LOS VECTORES DE LAS VELOCIDADES EN TRES PUNTOS DEL ESPACIO EN DOS INSTANTES SUCE-SIVOS DE TIEMPO,  $t$  Y  $t + z$ , RESPECTIVAMENTE.

YA QUE LA VELOCIDAD DEL VIENTO ES UNA CANTIDAD ALEATORIA, TODOS ESTOS VALORES SERÁN, EN GENERAL, DIFERENTES UNOS DE OTROS Y VARIARÁN TANTO QUE ES NECESARIO UN TRATAMIENTO ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR LOS CAMBIOS DEL VIENTO.

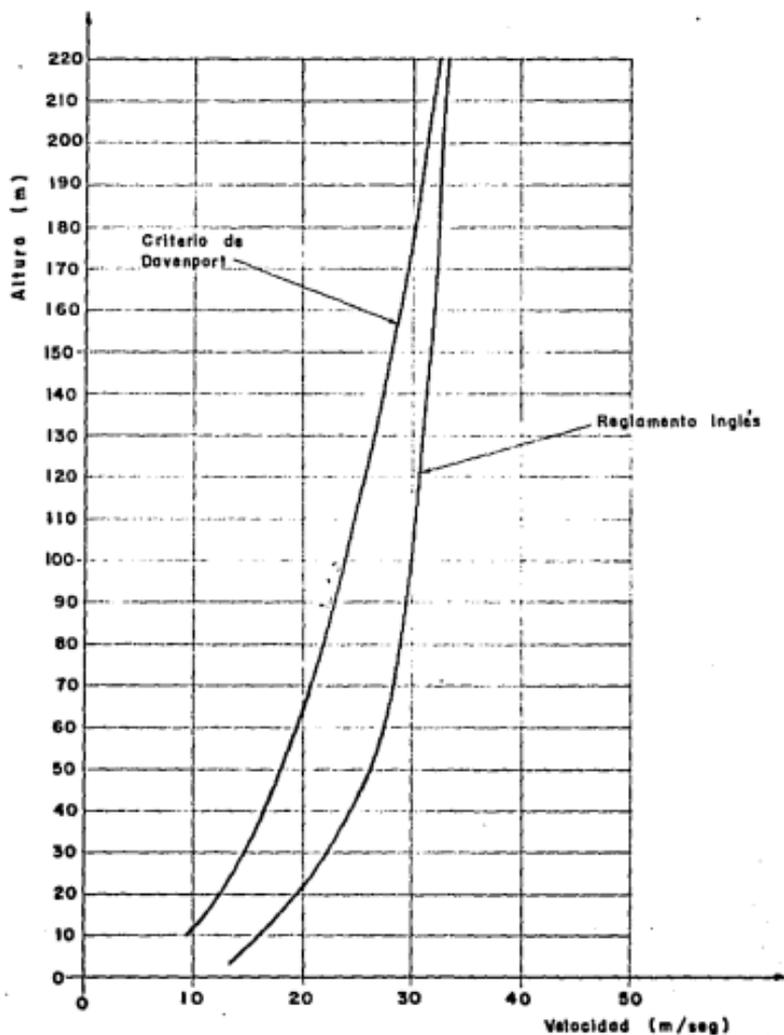


Figura 1.6 Perfiles de velocidades para centro de ciudad, con  $V_{0,3} = 28$  m/seg ; usando el criterio de Davenport y la propuesta por el Reglamento Inglés.

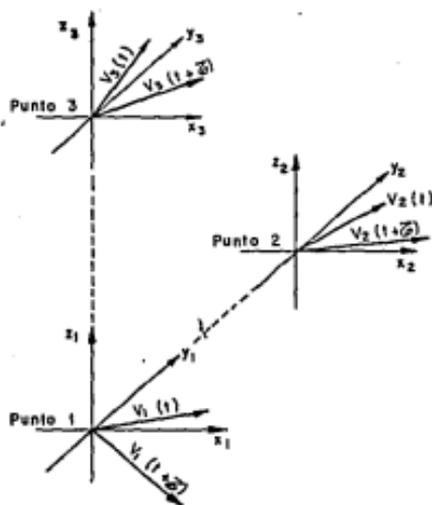


Figura 1.7 Vectores de velocidad en tres puntos del espacio en los tiempos  $t$  y  $t + \Delta t$

AL CONSIDERAR LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN UN SOLO PUNTO, EL VECTOR VELOCIDAD SE PUEDE SUSTITUIR POR SUS COMPONENTES PARALELAS AL SISTEMA COORDENADO XYZ, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 1.8.

LA MAGNITUD DEL VECTOR VELOCIDAD  $V(t)$  ES

$$|V(t)| = \{u^2(t) + v^2(t) + w^2(t)\}^{1/2} \quad (1.6)$$

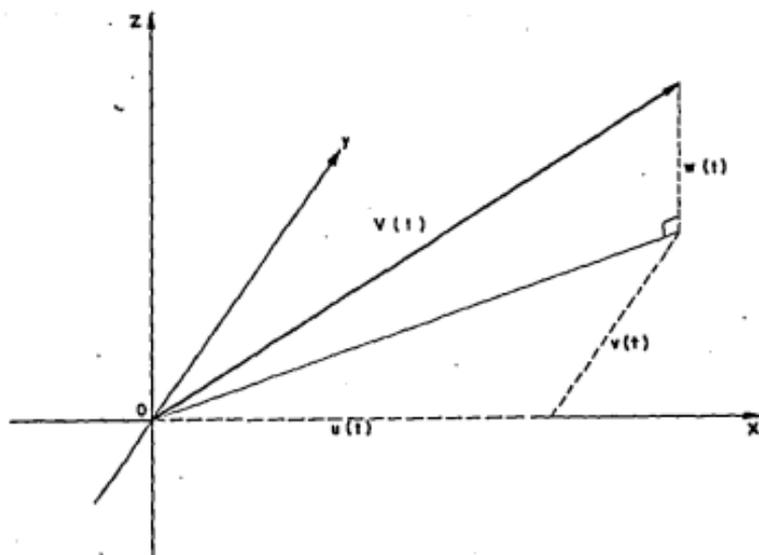


Figura 1.8 Componentes ortogonales del vector representativo de la velocidad del viento

LA COMPONENTE  $u(t)$  SE PUEDE SEPARAR EN LA SUMA DE UNA CANTIDAD MEDIA  $\bar{u}$ , INDEPENDIENTE DEL TIEMPO, Y DE OTRA FLUCTUANTE  $u'$ , DEPENDIENTE DEL TIEMPO. HACIENDO LA MISMA CONSIDERACIÓN PARA LAS COMPONENTES RESTANTES, SE OBTIENE:

$$\begin{aligned}
 u(t) &= \bar{u} + u' \\
 v(t) &= \bar{v} + v' \\
 w(t) &= \bar{w} + w'
 \end{aligned}
 \tag{1.7}$$

EN LA FIGURA 1.9 SE PUEDE OBSERVAR QUE LAS COMPONENTES MEDIAS FORMAN LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  $\bar{V}$ , LA CUAL RESULTA INDEPENDIENTE DEL TIEMPO EN MAGNITUD Y DIRECCIÓN, PARA UN PERÍODO DE OBSERVACIÓN FIJO.

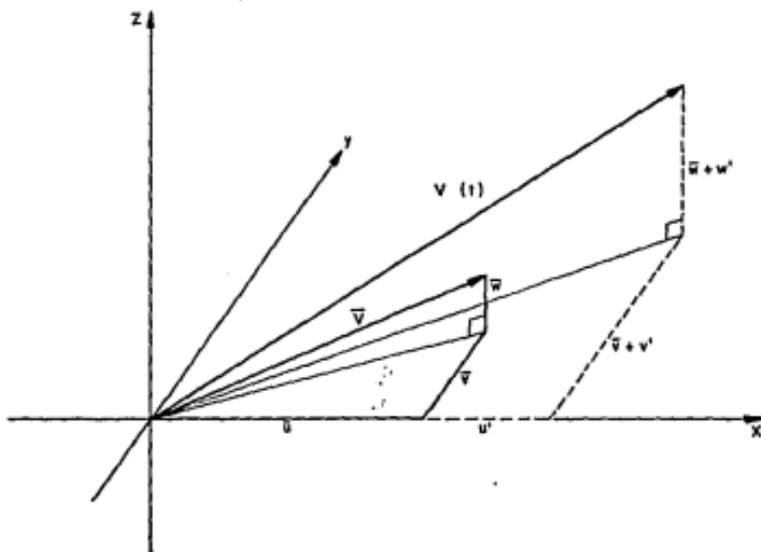


Figura 1.9 Componentes del vector velocidad del viento

EN LO QUE SIGUE, LA DIRECCIÓN DEL VECTOR VELOCIDAD MEDIA  $\bar{V}$  COINCIDIRÁ CON LA DEL EJE X (HORIZONTAL). EN LA FIGURA 1.10 SE MUESTRA ESTA ROTACIÓN. LAS COMPONENTES DEL VECTOR RÁFAGA SON FLUCTUANTES CON EL TIEMPO ALREDEDOR DE LA INVARIANTE VELOCIDAD MEDIA Y LAS LLAMAREMOS  $u'$  EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO,  $v'$  TRANSVERSAL A LA DIRECCIÓN DEL VIENTO (SOBRE EL PLANO HORIZONTAL), Y  $w'$  PERPENDICULAR A LA DIRECCIÓN DEL VIENTO, EN DIRECCIÓN VERTICAL.

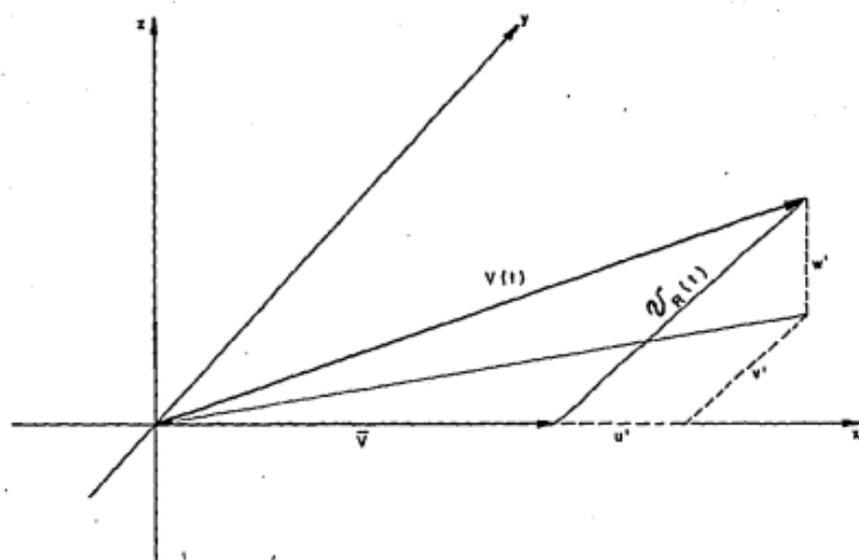


Figura 1.10 Componentes del vector ráfaga

LA VELOCIDAD INSTANTÁNEA DEL VIENTO  $V(t)$  ES LA SUMA VECTORIAL DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  $\bar{V}$ , MÁS SU DESVIACIÓN  $V_R(t)$ , ES DECIR

$$V(t) = \bar{V} + V_R(t) \quad (1.8)$$

Y LA MAGNITUD DEL VECTOR RÁFAGA ES

$$|V_R(t)| = \{(u')^2 + (v')^2 + (w')^2\}^{1/2} \quad (1.9)$$

PUESTO QUE LA VELOCIDAD MEDIA ES EL PROMEDIO DE LA VELOCIDAD TOTAL DEL VIENTO, SE INFIERE QUE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE LA RÁFAGA, SOBRE EL MISMO INTERVALO DE TIEMPO, ES CERO.

$$\frac{1}{T} \int_0^T v_R(t) dt = 0 \quad (1.10)$$

LA VARIANCIA DE LA VELOCIDAD DE RÁFAGA SE DEFINE COMO:

$$\begin{aligned} \sigma^2(v_R) &= \frac{1}{T} \int_0^T |v_R(t)|^2 dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \{(u')^2 + (v')^2 + (w')^2\} dt \\ &= \sigma^2(u') + \sigma^2(v') + \sigma^2(w') \end{aligned} \quad (1.11)$$

A PARTIR DE MEDICIONES CON INSTRUMENTOS CONVENCIONALES SE HA OBTENIDO QUE A 10 M SOBRE EL NIVEL DE TERRENO NATURAL  $\sigma(u') \approx 35(u')$  Y  $\sigma(w')$  ES BASTANTE MENOR. RESULTADOS EXPERIMENTALES [16] MUESTRAN QUE LA VARIACIÓN DE LA VARIANCIA DE LA VELOCIDAD DE RÁFAGA CON RESPECTO A LA ALTURA, DISMINUYE MUY LENTAMENTE.

PARA PROPÓSITOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL SE CONSIDERA QUE ES PEQUEÑA LA PÉRDIDA DE PRECISIÓN EN LOS RESULTADOS QUE SE OBTIENEN - AL SUPONER QUE LA VARIANCIA DE LA VELOCIDAD DE RÁFAGA ES INVARIANTE CON LA ALTURA, CON UN VALOR IGUAL AL VALOR MEDIO QUE SE OBTIENE A 10 M DE ALTURA SOBRE EL SUELO.

EL PROCEDIMIENTO SEGUIDO POR DAVENPORT [9] PARA DEFINIR LA VA-

RIANCIA DE LA VELOCIDAD DE RÁFAGA FUE POSTERIORMENTE MODIFICADO POR HARRIS [16], QUIEN LLEGÓ A OBTENER

$$\sigma(u) = 2.58K^{1/2}\bar{V}_{10} \doteq 0.19 \bar{V}_{10} \doteq \sigma(v_R) \quad (1.12)$$

DONDE  $K$  ES UN COEFICIENTE QUE DEPENDE DE LA RUGOSIDAD DEL TERRENO, CUYOS VALORES SE MUESTRAN EN LA TABLA 1.3. ESTE RESULTADO NOS MUESTRA QUE LA VARIANCIA DE LA VELOCIDAD DE RÁFAGA NO SOLO ES INDEPENDIENTE DE LA ALTURA, SINO TAMBIÉN DEL TIPO DE TERRENO Y QUE UN VALOR RAZONABLE PARA  $\sigma(v_R)$  ES EL QUE SE INDICA EN LA EC. (1.12)

TABLA 1.3 VALORES DEL COEFICIENTE  $K$ , SEGÚN DAVENPORT [9].

RUGOSIDAD DEL TERRENO	$K$
COSTAS	0.001 - 0.002
PRADERAS	0.003 - 0.005
SELVAS, BOSQUES, ZONAS ARBOLADAS Y ZONAS SUBURBANAS	0.015 - 0.030
CENTROS DE CIUDADES GRANDES	0.030 - 0.050

### 1.3.2 INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA

LA INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA ES UNA MEDIDA DE LA AMPLITUD DE LAS FLUCTUACIONES DE LA VELOCIDAD DENTRO DEL FLUJO Y SE REPRESENTA POR EL COCIENTE

$$I_z = \frac{\sigma(v_R)}{V_z} \quad (1.13)$$

YA QUE  $\sigma(v_R)$  ES INDICATIVO DE LA VARIACIÓN DE LA TURBULENCIA, Y ES PRÁCTICAMENTE CONSTANTE CON LA ALTURA, SE INFIERE QUE LA INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA DISMINUYE CON LA ALTURA, DEBIDO A QUE LA VELOCIDAD MEDIA AUMENTA CON ÉSTA. LA INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA TAMBIÉN VARÍA CON EL TIPO DE TERRENO. DAVENPORT OBTUVO LOS SIGUIENTES VALORES PARA UNA ALTURA DE 10 M PARA LOS TRES TIPOS DE TERRENO QUE ÉL CONSIDERA, EN VIENTOS MEDIOS HORARIOS

	$\sigma(v_R)/V_z$
TERRENO TIPO A	0.18
TERRENO TIPO B	0.32
TERRENO TIPO C	0.58

EN LOS MÉTODOS TRADICIONALES [10, 44, 46], PARA LA OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO SE MULTIPLICA EL VALOR DE LA VELOCIDAD MEDIA POR UN "FACTOR DE RÁFAGA", DEPENDIENTE DE LA NATURALEZA DEL SITIO, PARA OBTENER ASÍ LAS VELOCIDADES DE LA MÁXIMA RÁFAGA. ESTE PROCEDIMIENTO SUPONE QUE LA INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA ES LA MISMA PARA CUALQUIER SITIO Y ALTURA. LOS RESULTADOS ANTERIORES MUESTRAN QUE ESTE RAZONAMIENTO ES INCORRECTO.

### 1.3.3 CORRELACION Y ESPECTRO DE POTENCIA

PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CARGAS DINÁMICAS DEBIDAS AL VIENTO SE DEBE INCLUIR UNA DESCRIPCIÓN ADECUADA DE LA EVOLUCIÓN DE LA VELO-

CIDAD DE RÁFAGA EN EL TIEMPO Y SU VARIACIÓN EN EL ESPACIO.

PARA LA DESCRIPCIÓN COMPLETA DE LAS PROPIEDADES PROMEDIO, ESPACIALES Y TEMPORALES DE LAS RÁFAGAS, SE REQUIERE DEL CONOCIMIENTO DE LAS RELACIONES DE CADA UNA DE LAS TRES COMPONENTES DE LA VELOCIDAD EN UN PUNTO  $(x', y', z')$  DEL ESPACIO, CON LAS CORRESPONDIENTES COMPONENTES EN OTRO PUNTO  $(x'', y'', z'')$ . ÉSTO NOS DA UNA IDEA DE LA DIFICULTAD DEL PROBLEMA, PUESTO QUE IMPLICA LA ESPECIFICACIÓN DE NUEVE FUNCIONES DIFERENTES, CADA UNA DE LAS CUALES DEPENDE DE SIETE VARIABLES:  $x', y', z', x'', y'', z''$  Y  $t$ .

EN LA MAYORÍA DE LOS PROBLEMAS PRÁCTICOS DE CARGAS DE VIENTO, SOLO SE REQUIERE DEL CONOCIMIENTO DE LA COMPONENTE LONGITUDINAL DEL VECTOR RÁFAGA  $\mu(t)$ . ASÍ, SOLO ES NECESARIO CONOCER UNA DE LAS NUEVE POSIBLES FUNCIONES.

POR LAS RAZONES ANTES MENCIONADAS, SE TRATARÁN ÚNICAMENTE LAS PROPIEDADES DE LA COMPONENTE LONGITUDINAL DE LAS RÁFAGAS.

SE DEFINE A LA FUNCIÓN DE AUTOCOVARIANCIA DE  $\mu(t)$  COMO:

$$C(\sigma) = \langle \mu(t) \mu(t + \sigma) \rangle_t \quad (1.14)$$

EL SÍMBOLO  $\langle \rangle_t$  DENOTA UN PROMEDIO CON RESPECTO AL TIEMPO. A PARTIR DE LA DEFINICIÓN ANTERIOR, PARA  $\sigma=0$  TENEMOS QUE

$$C(0) = \langle \mu^2(t) \rangle_t = \sigma^2(\mu) \quad (1.15)$$

O SEA  $C(0)$  ES IGUAL A LA VARIANCIA DE  $\mu(t)$ . CON FRECUENCIA SE USA UNA VERSIÓN NORMALIZADA DE  $C(\sigma)$ . ÉSTA SE CONOCE COMO FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN  $R(\sigma)$ , Y SE DEFINE POR

$$R(\tau) = \frac{C(\tau)}{C(0)} = \frac{C(\tau)}{\sigma^2(\mu)} \quad (1.16)$$

CONSECUENTEMENTE,  $R(\tau)$  ES ADIMENSIONAL Y TOMA EL VALOR DE 1 PARA  $\tau=0$ , MIENTRAS QUE PARA VALORES DE  $\tau$  MUY GRANDES, TIENDE A CERO.

EN LAS FIGURAS 1.11 Y 1.12 SE MUESTRAN DOS EJEMPLOS DE AUTOCORRELACIONES MEDIDAS EN DOS SITIOS DIFERENTES.

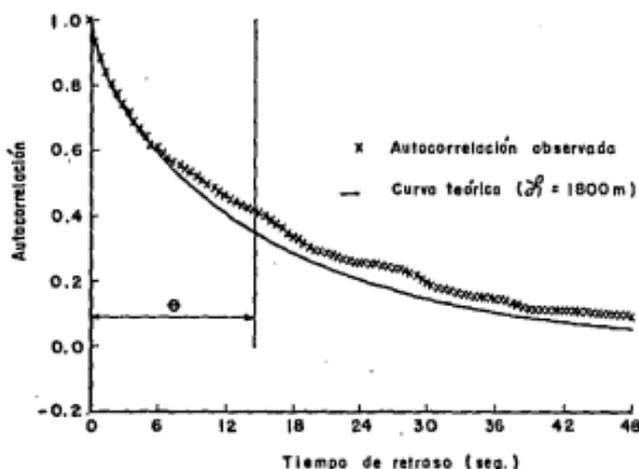


Figura 1.11 Función de autocorrelación para la componente longitudinal a 165.8m: de altura en campo abierto [16].

$R(\tau)$  ES UNA MEDIDA CUANTITATIVA OBTENIDA DE LA MEDICIÓN DE UNA DE LAS COMPONENTES DE LA RÁFAGA Y CORRELACIONA A LA DESVIACIÓN DE LA VELOCIDAD EN UN INSTANTE DADO DE TIEMPO CON EL VALOR DE -- ESA MISMA COMPONENTE, MEDIDA  $\tau$  SEGUNDOS DESPUÉS. SI  $\tau$  ES PEQUEÑO, EL SEGUNDO VALOR SERÁ PRÓXIMO AL PRIMERO. SI  $\tau$  ES GRANDE,

ENTONCES  $R(\tau) \approx 0$ , LOS DOS VALORES SERÁN INDEPENDIENTES Y EL PRIMER VALOR NO DARÁ NINGUNA INFORMACIÓN ACERCA DEL SEGUNDO VALOR.

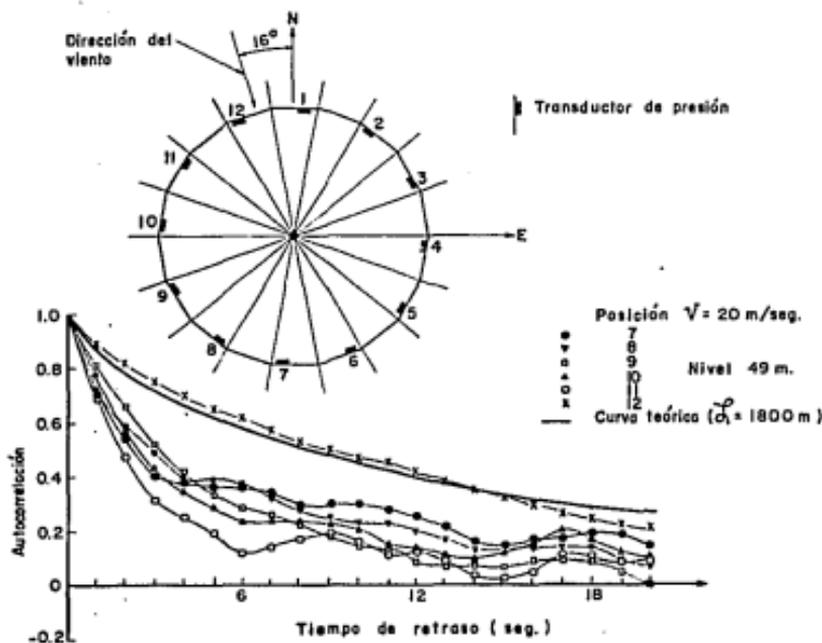


Figura 1.12 Curvas de autocorrelación [27].

DEFINIMOS "ESCALA DE TIEMPO"  $\theta$ , A

$$\theta = \int_0^{\infty} R(\tau) d\tau \quad (1.17)$$

ASÍ, PARA VALORES DE  $\tau < \theta$ , LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN PROPORCIONA INFORMACIÓN RAZONABLE ACERCA DEL SEGUNDO VALOR, Y SI  $\tau > \theta$  LA INFORMACIÓN ES POCO RELEVANTE.

OTRA FORMA DE DESCRIBIR LAS PROPIEDADES DE UN PROCESO ALEATORIO RECURRE AL USO DEL ESPECTRO DE POTENCIA. DAVENPORT OBTUVO QUE PARA VIENTOS FUERTES EL ESPECTRO DE LA COMPONENTE LONGITUDINAL DEL VIENTO, PARA DIVERSOS SITIOS Y BAJO CONDICIONES TOPOGRÁFICAS DIFERENTES, SE PUEDE REDUCIR A UNA CURVA SIMPLE, LA CUAL PUEDE SER AJUSTADA A UNA EXPRESIÓN ALGEBRAICA QUE CONTenga COMO PARÁMETROS LA VELOCIDAD MEDIA A 10 M DE ALTURA Y EL COEFICIENTE DE --ARRASTRE SUPERFICIAL  $\mathcal{K}$ .

PARA NORMALIZAR ESTE ESPECTRO INVARIANTE, AL PRODUCTO DE LA DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA  $S(m)$ , SE LE DIVIDE ENTRE LA VARIANCIa DEL FENÓMENO Y SE OBTIENE  $\pi S(m)/\mathcal{K} \bar{V}_{10}^2$ ; ÉSTA, DIBUJADA EN FUNCIÓN DEL INVERSO DE LA LONGITUD DE ONDA  $\pi/\bar{V}_{10}$ , PROPORCIONA EL ESPECTRO NORMALIZADO. EN LA LITERATURA SE MENCIONAN CON FRECUENCIA TRES VERSIONES DE ESPECTROS: A) EL PROPUESTO POR --DAVENPORT [9], B) UNA EXPRESIÓN MODIFICADA DEL ANTERIOR, PROPUESTA POR HARRIS [16] Y C) LOS PROPUESTOS POR SIMIU [36].

DAVENPORT SUGIRIÓ LA SIGUIENTE EXPRESIÓN

$$\frac{\tilde{\pi} S(m)}{\sigma^2(u)} = \frac{\tilde{\pi} S(m)}{\mathcal{K} \bar{V}_{10}^2} = \frac{4 \tilde{\pi}^2}{(1 + \tilde{\pi}^2)^4} \quad (1.18)$$

DONDE  $\tilde{\pi} = \pi \mathcal{L} / \bar{V}_{10}$ , Y  $\mathcal{L}$  ES UNA LONGITUD CUYO VALOR SUGIERE IGUAL A 1200 M.

LA EXPRESIÓN PROPUESTA POR HARRIS ES

$$\frac{\tilde{\pi} S(m)}{\mathcal{K} \bar{V}_{10}^2} = \frac{4 \tilde{\pi}}{(1 + \tilde{\pi}^2)^{5/6}} \quad (1.19)$$

QUE CORRESPONDE A LA FÓRMULA PROPUESTA POR VON KARMAN PARA TURBULENCIA EN TÚNEL DE VIENTO, DONDE  $R = 1800$ .

LAS EXPRESIONES (1.18) Y (1.19) SON INDEPENDIENTES DE LA ALTURA SOBRE EL TERRENO, LAS CUALES SE APROXIMAN A ESPECTROS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE EN DIVERSOS SITIOS [4, 6, 9, 11, 12, 20, 26, 27, 42, 43]. EN LA FIGURA 1.13 SE MUESTRAN AMBOS ESPECTROS PARA FINES COMPARATIVOS.

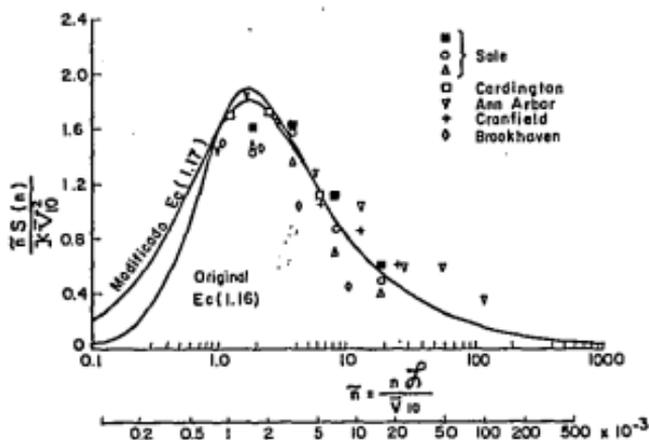


Figura 1.13 Comparación entre el espectro original y el modificado

SIMIU [36, 37], PROPONE DOS EXPRESIONES DISTINTAS PARA EL ESPECTRO, UNA VÁLIDA PARA LA ZONA DE ALTAS FRECUENCIAS, Y LA OTRA PARA LA DE BAJAS FRECUENCIAS. SUS EXPRESIONES HACEN DEPENDER A LA DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA DE LA ALTURA SOBRE EL TERRENO.

SE DEBE DESTACAR QUE EL ESPECTRO DE POTENCIA DESCRIBE EL CONTENIDO DE FRECUENCIAS DE LAS VELOCIDADES DE RÁFAGA, Y LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ASOCIADA A CADA FRECUENCIA. ASÍ, UN ESPECTRO DE

DENSIDAD DE POTENCIA DESCRIBE A LAS COMPONENTES PERIÓDICAS DEL MOVIMIENTO ALEATORIO DEL VIENTO. ASÍ, CON ÚNICAMENTE DOS PARÁMETROS ( $\bar{V}_{10}$  y  $K$ ) APROPIADOS PARA REPRESENTAR A UN SITIO, SE PUEDE DEFINIR EL ESPECTRO ESTANDAR QUE DESCRIBA EL MOVIMIENTO ALEATORIO DE LAS RÁFAGAS, EN UN PUNTO DEL ESPACIO Y A CUALQUIER ALTURA SOBRE EL TERRENO.

A PARTIR DE LA ESCALA DE TIEMPO SE PUEDE CALCULAR, POR INTEGRACIÓN DE LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN ESTANDAR, QUE

$$\theta = 0.084L / \bar{V}_{10} \quad (1.20)$$

ESPECTROS SIMILARES SE PUEDEN OBTENER PARA LAS OTRAS COMPONENTES DE VELOCIDADES DE LAS RÁFAGAS [20], PARA CAMPO ABIERTO.

#### 1.3.4 PROPIEDADES TEMPORALES Y ESPACIALES PROMEDIO DEL VECTOR RAFAGA.

PARA LAS PROPIEDADES PROMEDIO EN EL TIEMPO DE LAS COMPONENTES DEL VECTOR RÁFAGA, SE HA DEFINIDO LA "ESCALA DE TIEMPO" ( $\theta$ ), LA CUAL CARACTERIZA LA "MEMORIA DE TIEMPO" PROMEDIO DE UNA RÁFAGA. SIMILARMENTE, PARA LAS PROPIEDADES PROMEDIO ESPACIALES, SE PUEDEN DEFINIR ESCALAS DE LONGITUD QUE REPRESENTEN LAS DIMENSIONES PROMEDIO DE LAS RÁFAGAS. LA RELACIÓN ENTRE ESTAS ESCALAS DE LONGITUD Y LAS DIMENSIONES DE UNA ESTRUCTURA, ES UN FACTOR IMPORTANTE EN LA DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE LA ESTRUCTURA.

CONSIDÉRENSE DOS PUNTOS DEL ESPACIO ( $x', y', z'$ ) Y ( $x'', y'', z''$ ) Y POR CONVENIENCIA, ÉSTOS PUNTOS SE REPRESENTAN POR SUS VECTORES DE POSICIÓN  $\vec{r}'$  Y  $\vec{r}''$ . LA FUNCIÓN DE COVARIANCIA CRUZADA DE LA

COMPONENTE LONGITUDINAL DEL VECTOR RÁFAGA ENTRE LOS PUNTOS  $\vec{r}$  Y  $\vec{r}'$  SE DEFINE COMO

$$C(\vec{r}, \vec{r}', \tau) = \langle u(\vec{r}, t) u(\vec{r}', t + \tau) \rangle_t \quad (1.21)$$

CON ESTA NOTACIÓN SE PUEDE OBSERVAR QUE LA VARIANCIA DE LA COMPONENTE LONGITUDINAL, PREVIAMENTE REPRESENTADA POR  $\sigma^2(u)$  ES --  $C(\vec{r}, \vec{r}', 0)$ , Y QUE LA FUNCIÓN DE AUTOCOVARIANCIA ES  $C(\vec{r}, \vec{r}', \tau)$ . SI LA FUNCIÓN DE COVARIANCIA CRUZADA SE DIVIDE POR LA VARIANCIA DE LA COMPONENTE LONGITUDINAL, SE OBTIENE LA COVARIANCIA CRUZADA NORMALIZADA O CORRELACIÓN CRUZADA

$$CR(\vec{r}, \vec{r}', \tau) = C(\vec{r}, \vec{r}', \tau) / \sigma^2(u) \quad (1.22)$$

ASÍ,  $CR(\tau)$  ES ADIMENSIONAL Y SU VALOR SE ENCUENTRA ENTRE -1 Y +1 PARA TODOS LOS PUNTOS  $\vec{r}$  Y  $\vec{r}'$  CON UN TIEMPO DE RETRASO  $\tau$ . DE LA DISCUSIÓN PREVIA SOBRE EL SIGNIFICADO DE LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN, SE SIGUE QUE LA CORRELACIÓN CRUZADA ES UNA MEDIDA NUMÉRICA OBTENIDA DE LA MEDICIÓN DEL VALOR INSTANTÁNEO DE UNA DE LAS COMPONENTES DEL VECTOR RÁFAGA EN EL PUNTO  $\vec{r}$ , RESPECTO AL VALOR DE ESA MISMA COMPONENTE DE LA RÁFAGA EN EL PUNTO  $\vec{r}'$ , EN UN TIEMPO  $\tau$  POSTERIOR. PARA UN TIEMPO DE RETRASO NULO ( $\tau = 0$ ), LA CORRELACIÓN CRUZADA ES UNA MEDIDA DE LA RELACIÓN DE VALORES SIMULTÁNEOS DE LAS COMPONENTES DE LAS RÁFAGAS EN DOS PUNTOS DIFERENTES.

PARA OBTENER LAS CARGAS DE VIENTO DEPENDIENTES DE LA COMPONENTE LONGITUDINAL DE LAS RÁFAGAS, ES NECESARIO MEDIR ESTOS DATOS EXPERIMENTALMENTE, PARA OBTENER BUENOS RESULTADOS. SIN EMBARGO, CUANDO ALGUNO DE LOS DATOS REQUERIDOS SE ENCUENTRA MÁS ALLÁ DE --

LOS ALCANCES PRÁCTICOS EXPERIMENTALES, ES DIFÍCIL HACER APROXIMACIONES INGENIERILES SIN EL APOYO EN ALGÚN TRATAMIENTO TEÓRICO, AL CUAL PUEDAN RELACIONARSE LOS DATOS EXPERIMENTALES. TAL TRATAMIENTO TEÓRICO SE PUEDE OBTENER SI SE HACEN DOS HIPÓTESIS SIMPLIFICATORIAS ACERCA DE LA ESTRUCTURA DE LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA: LA PRIMERA DE ELLAS, QUE HA SIDO VERIFICADA POR EXPERIMENTOS, ES LA HIPÓTESIS DE TAYLOR, LA CUAL CONSIDERA QUE LA TURBULENCIA ES GENERADA POR UN EMPARRILLADO UNIFORME DE BARRAS EN UN TÚNEL DE VIENTO, Y SUPONE QUE LA COVARIANCIA CRUZADA ENTRE CUALESQUIERA DE LAS COMPONENTES DE LA TURBULENCIA, ENTRE DOS PUNTOS SEPARADOS UNA DISTANCIA  $S$  EN LA DIRECCIÓN DEL FLUJO, SERÁ IGUAL A LA COVARIANCIA CRUZADA MEDIDA EN UN PUNTO PARA UN TIEMPO DE RETRASO  $\tau$ , DADO POR

$$\tau = S / \bar{V} \quad (1.23)$$

DONDE  $\bar{V}$  ES LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN EL TÚNEL DE VIENTO. AL APLICAR ÉSTA HIPÓTESIS A LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA, ES NECESARIO RESTRINGIR LOS PUNTOS CONSIDERADOS A UN PLANO HORIZONTAL, A UNA ALTURA CONSTANTE SOBRE EL TERRENO NATURAL, DEBIDO AL CAMBIO DE LA VELOCIDAD MEDIA ( $\bar{V}$ ) CON LA ALTURA. AL USAR LA HIPÓTESIS DE TAYLOR

$$C(x', y', z', x'+s, y'', z''); \tau) = C(y', y''; \tau + \frac{S}{\bar{V}_z}) \quad (1.24)$$

EL RESULTADO DE ÉSTA HIPÓTESIS MUESTRA QUE LA DEPENDENCIA DE  $x'$  Y  $x''$  TIENDE A SER ELIMINADA.

LA IDEA FÍSICA EN QUE SE BASA TAYLOR, CONSIDERA QUE LA TURBULENCIA ES TRANSMITIDA POR EL FLUJO DE VELOCIDAD MEDIA, SIN INCRE-

MENTARSE EN DISTANCIAS CORTAS. ESTO ESTÁ CLARAMENTE DE ACUERDO -  
CON EL MODELO FÍSICO GENERAL DE VIENTOS FUERTES, EN CONDICIONES -  
DE ESTABILIDAD NEUTRAL.

LA SEGUNDA HIPÓTESIS ACEPTA QUE LA TURBULENCIA ES APROXIMADA--  
MENTE HOMOGÉNEA E ISOTRÓPICA (THI). ESTA TURBULENCIA ES UNA IDEA  
LIZACIÓN MATEMÁTICA QUE INDICA QUE LA TURBULENCIA SE DESARROLLA -  
EN UNA REGIÓN INFINITA, SIN FRONTERAS, Y CON UNA VARIACIÓN UNI--  
FORME EN LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA TURBULENTA POR UNIDAD DE VOLU--  
MEN. ESTO PUEDE SER REPRODUCIDO RAZONABLEMENTE EN EL LABORATORIO,  
POR LA TURBULENCIA GENERADA EN UN TÚNEL DE VIENTO, POR UN EMPARRI--  
LLADO UNIFORME DE BARRAS. ESTA ES LA RAZÓN POR LA CUAL LA MAYO--  
RÍA DE LOS ADELANTOS EN EL ESTUDIO DE LA TURBULENCIA, RECURREN A  
LA HIPÓTESIS DE THI.

DE LA SUPOSICIÓN DE THI, SE SIGUE QUE EN CADA PUNTO, LAS VARIAN--  
CIAS DE LAS TRES COMPONENTES DE LA VELOCIDAD DEBEN SER IGUALES, -  
ESTO ES

$$\sigma^2(u) = \sigma^2(v) = \sigma^2(w) \quad (1.25)$$

ADEMÁS, EL CAMPO DE LA TURBULENCIA RESULTA SER SIMÉTRICO ESFÉRICA  
MENTE, TAL QUE TODAS LAS COVARIANCIAS CRUZADAS, ETC., DEPENDEN --  
UNICAMENTE DE LA DISTANCIA QUE SEPARA LOS PUNTOS  $\vec{r}$  Y  $\vec{r}'$  Y NO DE -  
SUS POSICIONES ABSOLUTAS.

DE LA SIMETRÍA ESFÉRICA, SE SIGUE QUE LAS NUEVE AUTOCORRELACIO--  
NES Y CORRELACIONES CRUZADAS ENTRE LAS DIFERENTES COMPONENTES DE--  
LA VELOCIDAD EN DOS PUNTOS, PUEDEN ESCRIBIRSE EN TÉRMINOS DE DOS -

FUNCIONES BÁSICAS DE CORRELACIÓN  $f(r)$  Y  $g(r)$ , DE ACUERDO CON LA RELACIÓN .

$$CR(r) = \frac{f(r) - g(r)}{r^2} S_i S_j + g(r) \delta_{ij} \quad (1.26)$$

DONDE:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

EN LA FIGURA 1.14 SE HAN DIBUJADO LAS CORRELACIONES BÁSICAS. - EN LA NOTACIÓN ANTERIOR

$$\begin{aligned} f(r) &= CR(x', y', z', x'+r, y', z'; 0) \\ g(r) &= CR(x', y', z'; x', y'+r, z'; 0) \end{aligned} \quad (1.27)$$

$f(r)$  Y  $g(r)$  NO SON INDEPENDIENTES, PUES ESTÁN RELACIONADAS - POR

$$g(r) = f(r) + \frac{1}{2} r \frac{df(r)}{dr} \quad (1.28)$$

FINALMENTE, SI LA HIPÓTESIS DE TAYLOR SE APLICA A LA FUNCIÓN

$$f(r) = CR(x', y', z', x', y', z'; \varphi) = CR(\varphi) \quad (1.29)$$

DONDE  $\varphi = r/\sqrt{z}$ , LO QUE CONDUCE A LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN, PARA LA COMPONENTE LONGITUDINAL DE LA VELOCIDAD DE RÁFAGA EN UN PUNTO DEL ESPACIO.

YA QUE LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA SE GENERA POR LA PRESENCIA - DE RUGOSIDADES EN LA SUPERFICIE TERRESTRE, SE VIOLA LA HIPÓTESIS\_

DE THI, SIN EMBARGO, SE HA ENCONTRADO EXPERIMENTALMENTE QUE A GRANDES ALTURAS ARRIBA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA, LA TURBULENCIA TIENDE A CONVERTIRSE EN ISOTRÓPICA.

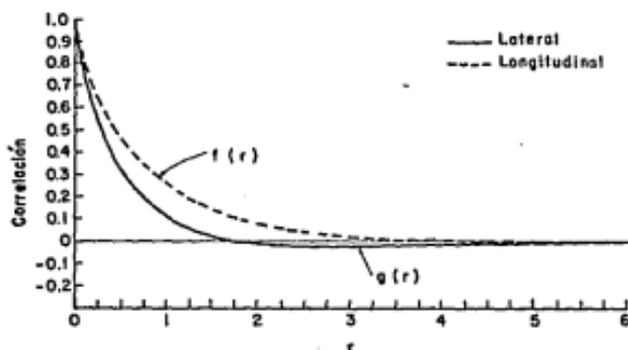


Figura 1.14 Correlaciones básicas para turbulencia homogénea e isotrópica (THI).

LA MAYOR PARTE DE LAS CARGAS DE VIENTO EN EDIFICIOS ALTOS ESTÁN DETERMINADAS POR LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y LA SUPOSICIÓN DE THI ES CONSERVADORA, ES DECIR, LAS COVARIANCIAS RESULTANTES LLEVAN A CALCULAR CARGAS MAYORES QUE LAS QUE SE OBTIENEN EN LA REALIDAD. MUCHAS DE LAS INVESTIGACIONES QUE SE HAN, Y SE ESTÁN DESARROLLANDO EN VARIOS PAÍSES, BUSCAN ENCONTRAR CORRECCIONES AL MODELO, PARA UNA MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA.

EN LA FIGURA 1.15 SE MUESTRA LA CORRELACIÓN CRUZADA PARA LA COMPONENTE LONGITUDINAL, CALCULADA DE MEDICIONES EN CAMPO ABIERTO, Y EN LA FIGURA 1.16 LA CORRELACIÓN CRUZADA EN UNA TORRE EN EL CENTRO DE UNA CIUDAD.

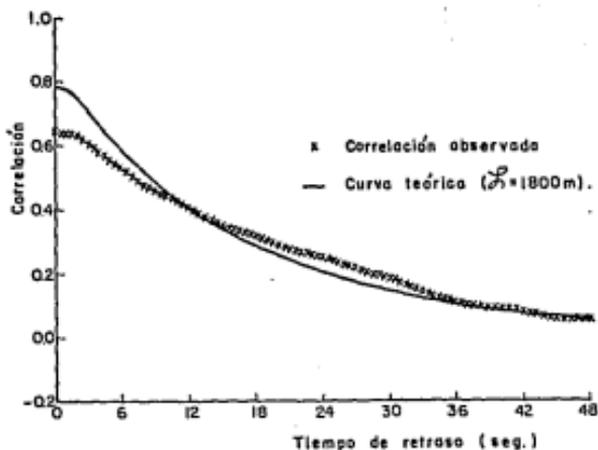


Figura 1.15 Correlación cruzada entre las componentes longitudinales a 34.1 y 17.3 metros de altura, en campo libre. [ 16 ]

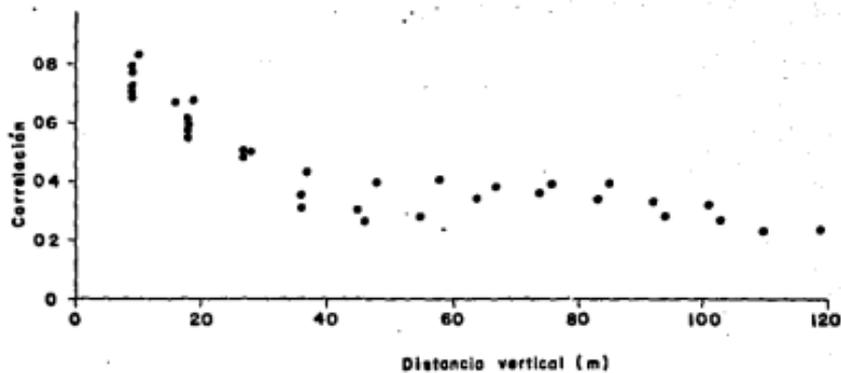


Figura 1.16 Coeficientes de correlación cruzada [27].

SE PUEDEN DEFINIR TRES ESCALAS DE LONGITUD DE LAS RÁFAGAS, UNA PARA CADA COMPONENTE, INTEGRANDO LA CORRELACIÓN CRUZADA PARA TIEMPO DE RETRASO NULO CON RESPECTO A LA SEPARACIÓN, EN CUALQUIERA DE LAS DIRECCIONES X, Y O Z. CADA UNA DE ESTAS ESCALAS DE LONGITUD, ES UNA MEDIDA DEL TAMAÑO PROMEDIO DE UNA RÁFAGA EN ESAS DIRECCIONES.

PARA LA COMPONENTE LONGITUDINAL  $L_1$ , SE SIGUE DE LAS DEFINICIONES DE  $f(r)$  Y  $g(r)$  (FIGURA 1.14), QUE LAS TRES ESCALAS DE LONGITUD ESTÁN DADAS POR

$$L_1 = \int_0^{\infty} f(r) dr \quad (1.30)$$

$$L_2 = L_3 = \int_0^{\infty} g(r) dr = \frac{L_1}{2} \quad (1.31)$$

$L_2$  Y  $L_3$  EN LAS DIRECCIONES TRANSVERSAL Y VERTICAL, RESPECTIVAMENTE. CON LA HIPÓTESIS DE TAYLOR, ESTAS ESCALAS DE LONGITUD SE PUEDEN RELACIONAR CON LA ESCALA DE TIEMPO DEL ESPECTRO ESTANDAR DE RÁFAGAS, MEDIANTE

$$L_1(z) = \bar{V}_z \theta = 0.084 \mathcal{L} \bar{V}_z / \bar{V}_{10} = 151.29 (z/10)^{\infty} \quad (1.32)$$

$$L_2(z) = L_3(z) = \frac{1}{2} L_1(z) \quad (1.33)$$

ESTAS ECUACIONES IMPLICAN QUE LAS ESCALAS DE LONGITUD SE INCREMENTAN CON LA ALTURA EN LA MISMA PROPORCIÓN QUE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO. LA FIGURA 1.17 MUESTRA EL CAMBIO EN LA ESCALA LONGITUDINAL CON LA ALTURA, PARA TRES TIPOS DIFERENTES DE TERRENOS.

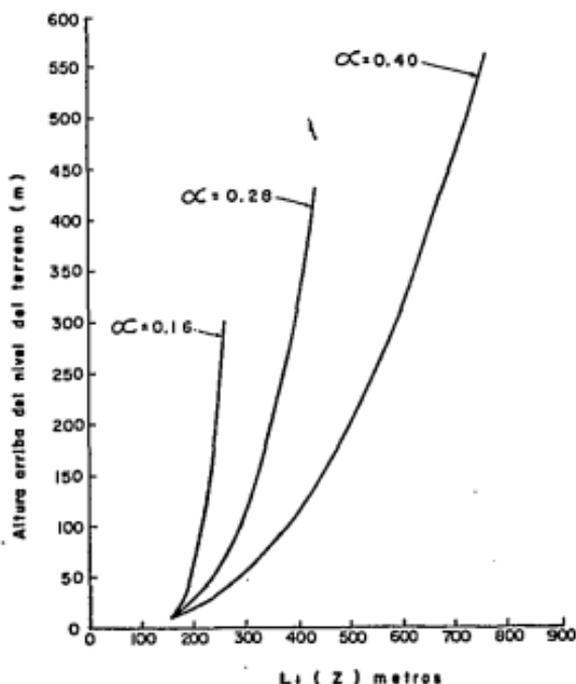


Figura 1.17 Escalas de longitud para la componente longitudinal, en terrenos de diferente topografía. [16].

MEDICIONES DE  $L_1(z)$  EN DOS SITIOS EN CAMPO ABIERTO SE MUESTRAN EN LAS TABLAS 1.4 Y 1.5. DESAFORTUNADAMENTE NO EXISTEN DATOS ESTADÍSTICOS SIMILARES EN CENTROS DE CIUDADES, EXISTIENDO SO-

LO ALGUNAS MEDICIONES [16, 22, 32];  $L_2$  Y  $L_3$  SON IGUALES A  $L_1/2$ , SOLO SI LA TURBULENCIA ES THI. MEDICIONES DE  $L_2$  A ALTURAS DE - 10 M EN CAMPO ABIERTO INDICAN QUE  $L_2/L_1 \approx 1/4$ , POR LO QUE ES RAZONABLE SUPONER QUE ESTE COCIENTE SE INCREMENTA HASTA LLEGAR A 1/2 A GRANDES ALTURAS ARRIBA DEL NIVEL DEL TERRENO.

PARA  $L_3$ , LA ASIMETRÍA EN EL FLUJO, CREADA POR LA PRESENCIA DE RUGOSIDADES EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA, HACE QUE AUMENTE HASTA EN DOS VECES  $L_3(z)$ , CON LA ALTURA, SI LA INTEGRACIÓN DE LAS CORRELACIONES CRUZADAS SE REALIZA RESPECTO A LA SEPARACIÓN EN SENTIDO DE ASCENDENTE  $L_3^+(z)$ , O DESCENDENTE  $L_3^-(z)$ .

TABLA 1.4 DIMENSIONES DE RÁFAGAS OBTENIDAS EXPERIMENTALMENTE [16].

ALTURA (M)	$L_3^+$	$L_3^-$	$\frac{1}{2}L_1$
18	57	9*	84
100	68	50	113
182	74*	71	126

\* VALORES ESTIMADOS.

TABLA I.5 DIMENSIONES DE RÁFAGAS OBTENIDAS EXPERIMENTALMENTE [22].

ALTURA (M)	$L_1$	$L_2$	$L_3$
61	555	193	94
43	450	170	86
28	386	133	75
13	230	62	60
10	205*	55*	56*

\* VALORES ESTIMADOS.

## 2. SIMULACION NUMERICA DE LA TURBULENCIA

### 2.1 EL VIENTO COMO PROCESO ESTOCASTICO.

LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN UN PUNTO CUALQUIERA DEL ESPACIO SE PUEDE MODELAR COMO UN PROCESO ESTOCÁSTICO MULTIVARIACIONAL [21, - 33, 35]. LAS CORRELACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES DEL PROCESO - SE DETERMINAN A PARTIR DE MEDICIONES DE VIENTOS REALES. EL PROCESO SE SIMULA EN UN ORDENADOR DIGITAL, EN EL DOMINIO DEL TIEMPO, - PARA CALCULAR LAS FUERZAS QUE PROVOCA EL VIENTO EN EDIFICIOS ALTOS. LAS VELOCIDADES DEL VIENTO LIBRE EN N PUNTOS DEL ESPACIO, - SE REPRESENTAN POR

$$\{V\}_m = \{\bar{V}\}_m + \{v_2(t)\}_m \quad (2.1)$$

DONDE  $\{V\}_m$  ES LA VELOCIDAD LONGITUDINAL TOTAL DEL VIENTO,  $\{\bar{V}\}_m$  ES LA VELOCIDAD MEDIA, Y  $\{v_2(t)\}_m$  ES EL VECTOR QUE REPRESENTA LA ACCIÓN TURBULENTE, CON VALOR MEDIO NULO. SE CONSIDERA AL VECTOR DE RÁFAGA  $\{v_2(t)\}_m$  FORMADO POR DOS COMPONENTES: LA PRIMERA  $\{u\}_m$ , QUE SE DENOMINARÁ DE RÁFAGAS GRANDES, CON UN CONTENIDO DE ENERGÍA EN FRE

CUENCIAS MENORES A LA MITAD DE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE EDIFICIOS ALTOS, CON VELOCIDADES ALTAMENTE CORRELACIONADAS Y CON GRAN EXTENSIÓN ESPACIAL; LA SEGUNDA COMPONENTE  $\{v\}_n$ , DE RÁFAGAS PEQUEÑAS, CON UNA PARTE IMPORTANTE DE SU ENERGÍA EN LAS FRECUENCIAS NATURALES ALTAS DE LAS ESTRUCTURAS, CON Poca CORRELACIÓN Y UNA MENOR EXTENSIÓN ESPACIAL, QUE CAUSA UNA RESPUESTA DINÁMICA CAPAZ DE PRODUCIR VIBRACIONES IMPORTANTES EN LOS EDIFICIOS. ASÍ, EL VECTOR VELOCIDAD SE REPRESENTARÁ POR

$$\{V\}_n = \{\bar{V}\}_n + \{\mu\}_n + \{v\}_n \quad (2.2)$$

LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN PARA LA COMPONENTE LONGITUDINAL DE LA VELOCIDAD DE RÁFAGAS GRANDES, SE PUEDE APROXIMAR [16] POR

$$R^{\mu_i}[\sigma] = e^{-\sigma/\theta} \quad \neq i \quad (2.3)$$

DONDE  $\theta$  ES LA ESCALA DE TIEMPO DEFINIDA EN 1.3.3.

LA FUNCIÓN DE CORRELACIÓN CRUZADA ENTRE ELEMENTOS  $\mu_i$  Y  $\mu_j$  DE RÁFAGAS GRANDES, PARA TIEMPO DE RETRASO NULO, DEFINE LOS VALORES SIMULTÁNEOS DE LAS COMPONENTES DE RÁFAGA  $i$  Y  $j$  DEL ESPACIO, MEDIANTE:

$$CR^{\mu_i \mu_j}[\sigma=0] = e^{-r_{ij}/\lambda} \quad \neq i \text{ y } j \quad (2.4)$$

DONDE  $r_{ij}$  ES LA DISTANCIA VERTICAL ENTRE LOS PUNTOS  $i$  Y  $j$ , Y  $\lambda$  ES LA ESCALA DE LONGITUD DE RÁFAGAS GRANDES.

LA CORRELACIÓN CRUZADA ENTRE ELEMENTOS  $v_i$  Y  $v_j$  DE RÁFAGAS PEQUEÑAS, CON TIEMPO DE RETRASO NULO ES

$$CR^{u_i v_j} [\tau = 0] = e^{-\tau_{ij}/\beta} \quad \forall i \text{ y } j \quad (2.5)$$

DONDE  $\beta$  ES LA ESCALA DE LONGITUD DE RÁFAGAS PEQUEÑAS.

## 2.2 PARAMETROS PARA MODELAR LA TURBULENCIA.

LOS PARÁMETROS  $\theta$ ,  $\lambda$ ,  $\beta$  Y  $\sigma^2[V_i]$  OBTENIDOS DE LA INTERPRETACIÓN MATEMÁTICA DE MEDICIONES DE VIENTO [16, 33], SE CALCULAN DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$\text{ESCALA DE TIEMPO: } \theta = \frac{A}{\bar{V}_{10}} = \frac{151.29}{\bar{V}_{10}} \quad (2.6)$$

ESCALA DE LONGITUD PARA RÁFAGAS GRANDES:

$$\lambda = \frac{1}{m} \left( \sum_{i=1}^m \bar{V}_i \right) \frac{\theta}{2} = \frac{\bar{V}^* \theta}{2} \quad (2.7)$$

ESCALA DE LONGITUD PARA RÁFAGAS PEQUEÑAS:

$$\beta = \frac{\bar{V}^*}{c f_i} \quad (2.8)$$

DONDE  $f < c < \beta$  PARA LA COMPONENTE LONGITUDINAL DEL VIENTO, Y  $f_i$  ES LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL PARA EDIFICIOS ALTOS, EN HERTZ.

## 2.3 SIMULACION DE RAFAGAS GRANDES.

EL VECTOR DE RÁFAGAS GRANDES  $\{u\}_m$ , SE OBTIENE PRIMERO AL GENERAR N PROCESOS DE VARIANCIA UNITARIA SIN CORRELACIÓN  $\{y\}_m$ , CUYAS AUTOCORRELACIONES ESTÁN DADAS POR LA EC. (2.3); POSTERIORMENTE SE

TRANSFORMAN EN N PROCESOS DE VARIANCIA UNITARIA CORRELACIONADOS -  
 $\{W\}_m$  CON CORRELACIONES CRUZADAS ESPECIFICADAS POR LA EC. (2.4). -  
 UN ELEMENTO DE  $\{y\}_m$  SE FORMA DE UNA COMBINACIÓN LINEAL MÓVIL DE K  
 NÚMEROS ALEATORIOS INCONEXOS, CON DISTRIBUCIÓN NORMAL, VALOR MEDIO  
 NULO Y VARIANCIA UNITARIA EN CADA INTERVALO DE TIEMPO  $\Delta t$ :

$$\begin{aligned} y[t] &= a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k \\ y[t + \Delta t] &= a_1 x_2 + a_2 x_3 + \dots + a_k x_{k+1} \\ &\vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$y[t + (k-1)\Delta t] = a_1 x_k + a_2 x_{k+1} + \dots + a_k x_{2k-1}$$

LAS CONSTANTES  $a_i$  SE OBTIENEN DE RESOLVER UN CONJUNTO DE -  
 ECUACIONES NO-LINEALES, FORMADA POR LAS COVARIANCIAS DEL PROCESO  
 $\{y\}_m$ , DE MANERA QUE CORRESPONDAN A LAS AUTOCORRELACIONES DEFINI-  
 DAS POR LA EC. (2.3). LA COVARIANCIA DE  $y_j[t]$  CON  $y_j[t + (j-1)\Delta t]$  ES:

$$\begin{aligned} \text{Cov}\{y_j[t], y_j[t + (j-1)\Delta t]\} &= a_1 a_j + a_2 a_{j+1} + \dots \\ &\dots + a_{k-j+1} a_k \end{aligned} \quad (2.10)$$

PARA  $j=1, 2, \dots, k$ . EL VALOR DE K SE ESCOGE POR CONVENIENCIA -  
 DE CÁLCULO. LA TABLA II.1 MUESTRA LOS VALORES DE  $a_i$  PARA  $k=17$ ,  
 PARA VALORES DEL COCIENTE  $\Delta t/\theta$  COMPRENDIDOS ENTRE 0.1 Y 3.2.

LOS N PROCESOS DE VARIANCIA UNITARIA CORRELACIONADOS  $\{W\}_m$ , SE  
 FORMAN MEDIANTE LA TRANSFORMACIÓN LINEAL SIGUIENTE:

TABLA II.1 Valores del coeficiente  $Q_{\lambda}$ , definidos por las ecs. (2.9),

$Q_{\lambda}$	$\Delta l/\theta$																																
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	
0.1	0.246	0.432	0.572	0.677	0.756	0.818	0.862	0.896	0.921	0.941	0.955	0.964	0.975	0.981	0.986	0.990	0.992	0.994	0.995	0.996	0.997	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
0.2	0.246	0.391	0.465	0.499	0.495	0.471	0.437	0.398	0.356	0.319	0.282	0.249	0.218	0.191	0.167	0.144	0.127	0.110	0.096	0.084	0.073	0.063	0.055	0.048	0.041	0.036	0.031	0.027	0.024	0.020	0.018	0.015	
0.3	0.245	0.354	0.385	0.347	0.324	0.272	0.222	0.177	0.139	0.105	0.084	0.064	0.049	0.037	0.028	0.021	0.016	0.012	0.009	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
0.4	0.245	0.321	0.316	0.270	0.212	0.157	0.113	0.079	0.054	0.037	0.025	0.016	0.011	0.007	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000												
0.5	0.244	0.290	0.259	0.199	0.138	0.091	0.057	0.035	0.021	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000																	
0.6	0.244	0.283	0.213	0.148	0.091	0.052	0.029	0.016	0.008	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000																			
0.7	0.243	0.238	0.175	0.108	0.059	0.030	0.015	0.007	0.003	0.001	0.001	0.000																					
0.8	0.243	0.216	0.143	0.079	0.039	0.017	0.007	0.003	0.001	0.000																							
0.9	0.243	0.195	0.118	0.058	0.025	0.010	0.004	0.001	0.000																								
0.10	0.242	0.177	0.097	0.043	0.017	0.006	0.002	0.001	0.000																								
0.11	0.242	0.160	0.078	0.032	0.011	0.003	0.001	0.000																									
0.12	0.241	0.148	0.065	0.029	0.007	0.002	0.000																										
0.13	0.241	0.131	0.053	0.017	0.005	0.001	0.000																										
0.14	0.240	0.119	0.044	0.013	0.005	0.001	0.000																										
0.15	0.240	0.109	0.034	0.009	0.002	0.000																											
0.16	0.239	0.098	0.030	0.007	0.001	0.000																											
0.17	0.239	0.088	0.024	0.005	0.001	0.000																											

$$\{W\}_m = [D] \{y\}_m \quad (2.11)$$

EN LA CUAL LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ TRIANGULAR INFERIOR  $[D]$ , SE OBTIENEN DE LA MATRIZ DE CORRELACIÓN CRUZADA DE  $\{W\}_m$ , DEFINIDA POR:

$$[CR^{W_i W_j}(\tau=0)] = [D][I][D]^T \quad (2.12)$$

LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ  $[CR]$  SE CALCULAN CON LA EC. (2.4). EL VECTOR DE RÁFAGAS GRANDES  $\{\mu\}_m$  SE CALCULA MEDIANTE

$$\{\mu\}_m = [\sigma^2(\mu)] \{W\}_m \quad (2.13)$$

### 2.3.1 ESPECTRO DE POTENCIA DE RAFAGAS GRANDES.

SEGÚN BENDAT [2], SI LA FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN ESTÁ REPRESENTADA POR UNA FUNCIÓN EXPONENCIAL, COMO LA EC. (2.3), ENTONCES LA FUNCIÓN DE DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA PUEDE APROXIMARSE -- POR

$$S_{RG}(\omega) = \frac{2A_K}{\pi} \int_0^{\infty} e^{-k|\tau|} \cos \omega \tau \, d\tau \quad (2.14)$$

$$= \frac{2K A_K}{K^2 + \omega^2}$$

CON  $K=1/\lambda$  y  $A_k = 4K \bar{V}_{10}^2$  SE LLEGA A ESTABLECER QUE

$$S_{RB}(f) = \frac{4K \bar{V}_{10}^2}{f} \frac{x}{1+x^2} \quad (2.15)$$

DONDE  $x = \omega \lambda = 2\pi f \lambda$  y  $\lambda = A/\bar{V}_{10} = 151.29/\bar{V}_{10}$

#### 2.4 SIMULACION DE RAFAGAS PEQUERAS.

EL VECTOR DE RAFAGAS PEQUEÑAS  $\{v\}_m$  SE OBTIENE DE GENERAR PRIMERO N PROCESOS SIN CORRELACION  $\{x_i\}$  EN INTERVALOS DE TIEMPO DISCRETOS,  $\Delta S$ . CADA PROCESO  $p[t]$  SE SIMULA POR LA SIGUIENTE SERIE:

$$p[t] = \sum_{j=0}^{N-1} \text{sgn}[S(\eta_j)] \{2|S(\eta_j)|\Delta\eta\}^{1/2} \cos(2\pi\eta_j t + \phi_j) \quad (2.16)$$

EN LA CUAL EL INTERVALO DE FRECUENCIAS  $\eta_j$  COMPRENDE EL DE LAS FRECUENCIAS NATURALES ALTAS DE LOS EDIFICIOS ALTOS. SI  $f_l$  Y  $f_u$  SON LA MENOR Y MAYOR FRECUENCIAS DEL EDIFICIO, EN LAS CUALES SE ESPERA UNA RESPUESTA IMPORTANTE DE LA ESTRUCTURA, LOS LÍMITES DEL INTERVALO DE FRECUENCIAS  $\eta_j$  SE PUEDEN TOMAR COMO  $\eta_l = f_l/2$  Y  $\eta_u = 2f_u$ . EN LA EC. (2.16),  $S(\eta_j)$  ES LA DIFERENCIA ENTRE EL VALOR CALCULADO CON EL ESPECTRO DE POTENCIA PROPUESTO POR HARRIS, EC. (1.19), Y EL CALCULADO PARA RAFAGAS GRANDES  $S_{RS}(\eta_j)$ . EL ÁNGULO DE FASE  $\phi_j$  SE REPRESENTA MEDIANTE DESVIACIONES ALEATORIAS -- UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS ENTRE 0 Y  $2\pi$ . ASÍ, LA EC. (2.16) -- FUERZA QUE EL VIENTO SIMULADO TENGA SU CONTENIDO DE ENERGÍA CERCA DE LAS FRECUENCIAS NATURALES DEL EDIFICIO, YA QUE EL CONTENIDO DE

ENERGÍA EN ESTAS FRECUENCIAS PUEDE AMPLIFICAR LA RESPUESTA EN ESTRUCTURAS CON POCO AMORTIGUAMIENTO. EL PROCESO  $p[t]$  SE TRANSFORMA EN N PROCESOS CORRELACIONADOS, MEDIANTE LA MATRIZ DE CORRELACION CRUZADA  $[CR]$ , CUYOS ELEMENTOS ESTÁN DADOS POR LA EC. (2.5).

## 2.5 SELECCION DE INTERVALOS DE TIEMPO $\Delta t$ Y $\Delta S$ .

SAUL [33] RECOMIENDA LOS SIGUIENTES VALORES PARA  $\Delta t$  Y  $\Delta S$  :

$$\Delta t = \frac{1}{f_i} \quad \text{y} \quad \Delta S = \frac{1}{\eta_u - \eta_l} \quad (2.17)$$

CON ESTA ELECCIÓN DE  $\Delta t$  SE LOGRA QUE LA MAYOR PARTE DE LA ENERGÍA DE RÁFAGAS GRANDES SE ENCUENTRE EN FRECUENCIAS INFERIORES A  $f_i$ . LA ELECCIÓN DE  $\Delta S$ , JUNTO CON UN ESPACIAMIENTO UNIFORME DE LAS FRECUENCIAS  $\eta_i$ , EN LA EC. (2.16), PERMITE LA SIMULACIÓN DEL PROCESO  $p[t]$ . EL VALOR DE  $N_i$  ES EL NÚMERO DE INTERVALOS DE TIEMPO  $\Delta S$  EN EL CUAL SE REALIZARÁ LA SIMULACIÓN.

PARA SER CONSISTENTE CON LOS VALORES NUMÉRICOS SUGERIDOS EN LAS ECS. (2.3) A (2.5), EL ESPECTRO DE VELOCIDADES DE VIENTO ELEGIDO PARA EL SITIO DEBERÁ SER EL OBTENIDO POR HARRIS, EC. (1.19).

LA CALIDAD DEL MODELO QUE REPRESENTA AL VIENTO DEPENDE DIRECTAMENTE DE LA ELECCIÓN ADECUADA DE LOS PARÁMETROS

$$\bar{V}_{10}, \alpha, \theta, \lambda, \beta, \kappa, \Delta t \text{ y } \Delta S$$

CON BASE EN LAS CONDICIONES DEL SITIO Y EN LA INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA DEL VIENTO QUE SE MODELA. EN LA FIGURA 2.1

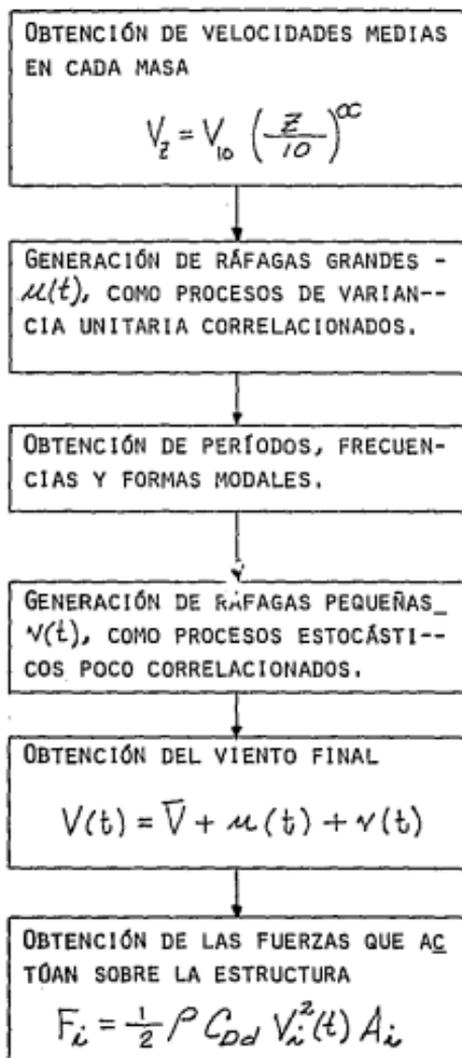


FIGURA 2.1 OBTENCIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN DE LAS FUERZAS DEL VIENTO.

SE MUESTRAN LAS DIFERENTES FASES DE LA SIMULACIÓN DEL CÁLCULO DE LAS FUERZAS DEL VIENTO EN EDIFICIOS ALTOS.

## 2.6 FUERZAS DEL VIENTO

LAS FUERZAS DEL VIENTO  $F_i$ , EN ÁREAS TRIBUTARIAS DE LAS MASAS DE UNA ESTRUCTURA, SE OBTIENEN DE LAS CORRESPONDIENTES VELOCIDADES  $V_i$ , POR MEDIO DE LA EXPRESIÓN

$$F_i = \frac{1}{2} \rho C_{od} A_i V_i^2 \quad (2.18)$$

DONDE  $\rho$  ES LA DENSIDAD DEL AIRE,  $A_i$  ES EL ÁREA TRIBUTARIA DE LA MASA  $i$ , Y  $C_{od}$  ES EL COEFICIENTE DE PRESIÓN DINÁMICA, QUE PARA LOS FINES DE SIMULACIÓN SE OBTIENE DE

$$C_{od} = \sqrt{\chi_a^2} C_0$$

DONDE  $\chi_a$  ES EL COEFICIENTE DE ADMITANCIA AERODINÁMICA OBTENIDO EN INVESTIGACIONES DE PRUEBAS DE CAMPO [39, 43]. ESTA EXPRESIÓN EMPÍRICA TIENE LA FORMA

$$\chi_a^2 = \frac{1}{1 + \left[ \frac{2\sqrt{A}}{T_0 V_{10}} \right]^{4/3}} \quad (2.19)$$

DONDE  $A$  ES EL ÁREA EXPUESTA TOTAL, Y  $T_0$  ES EL PERÍODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA.

EL COEFICIENTE PROMEDIO DE PRESIÓN  $C_D$  DEPENDE DE LA FORMA Y

DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA, ASÍ COMO DEL TIPO DE FLUJO QUE SE CONSIDERE, PUES PARA NÚMEROS DE REYNOLDS MAYORES DE  $10^5$  EL VALOR DEL COEFICIENTE  $C_D$  SE REDUCE NOTABLEMENTE [45]. EN INVESTIGACIONES REALIZADAS EN EDIFICIOS REALES [7, 25, 45] SE HA ENCONTRADO QUE LOS VALORES REALES DE  $C_D$  SON MENORES QUE LOS OBTENIDOS EN PRUEBAS CON MODELOS EN TÚNEL DE VIENTO CON FLUJO LÁMINAR [41]. PARA EL CASO EN ESTUDIO, DE EDIFICIOS EN FORMA DE PARALELEPÍPEDO, BAINES [1], OBTUVO LAS DISTRIBUCIONES DE PRESIÓN QUE SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS 2.2 Y 2.3.

ES INTERESANTE HACER NOTAR QUE EN INVESTIGACIONES EFECTUADAS EN EDIFICIOS REALES [24, 25, 26] SE HA ENCONTRADO Poca CORRELACIÓN ENTRE LA MÁXIMA PRESIÓN EN BARLOVENTO Y LA MÁXIMA SUCCIÓN EN SOTAVENTO, PUES COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 2.4 ESTOS MÁXIMOS NO SE PRODUCEN SIMULTANEAMENTE.

## 2.7 ANALISIS DINAMICO

UNA ESTRUCTURA ELÁSTICA SE PUEDE MODELAR COMO UN CONJUNTO DE ELEMENTOS UNIDOS EN LOS NUDOS; CADA UNO DE ÉSTOS PUEDE TENER SEIS GRADOS DE LIBERTAD. LOS DESPLAZAMIENTOS GENERALIZADOS PUEDEN REDUCIRSE MEDIANTE CONDENSACIÓN MATRICIAL A UN SISTEMA DINÁMICO DE "N" GRADOS DE LIBERTAD, DONDE N ES EL NÚMERO DE COORDENADAS SUFICIENTES PARA DEFINIR LAS FORMAS MODALES DE LA ESTRUCTURA. YA QUE EL VIENTO CONTIENE UNA PARTE IMPORTANTE DE SU ENERGÍA EN FRECUENCIAS MAYORES A LAS DE LOS PRIMEROS MODOS DE EDIFICIOS ALTOS, Y LOS DESPLAZAMIENTOS LATERALES DE LOS PISOS DOMINAN EL MOVIMIENTO, SE ELIGEN ÚNICAMENTE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES COMO GRADOS

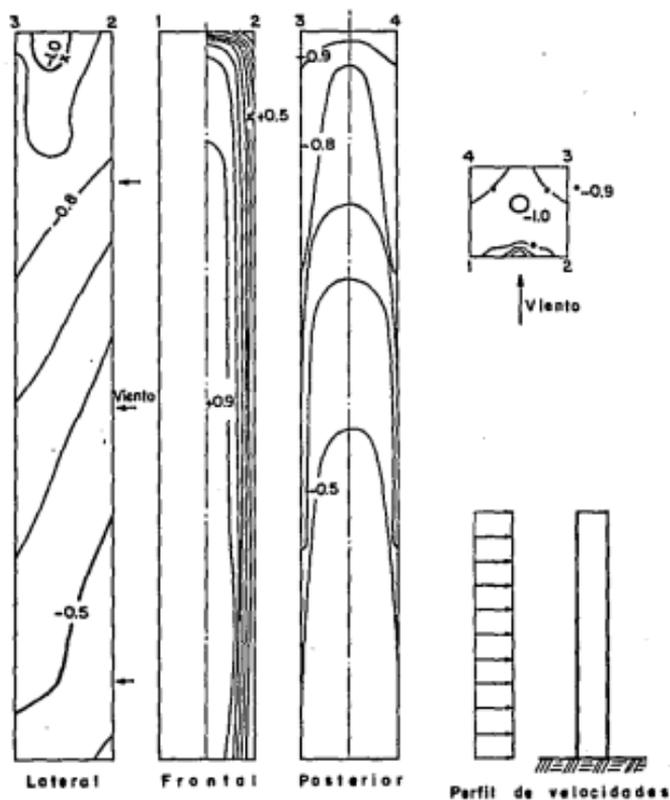


Figura 2.2 Distribución de presiones y succiones sobre las caras y parte superior de un modelo de edificio alto, en un campo de velocidades constantes [1].

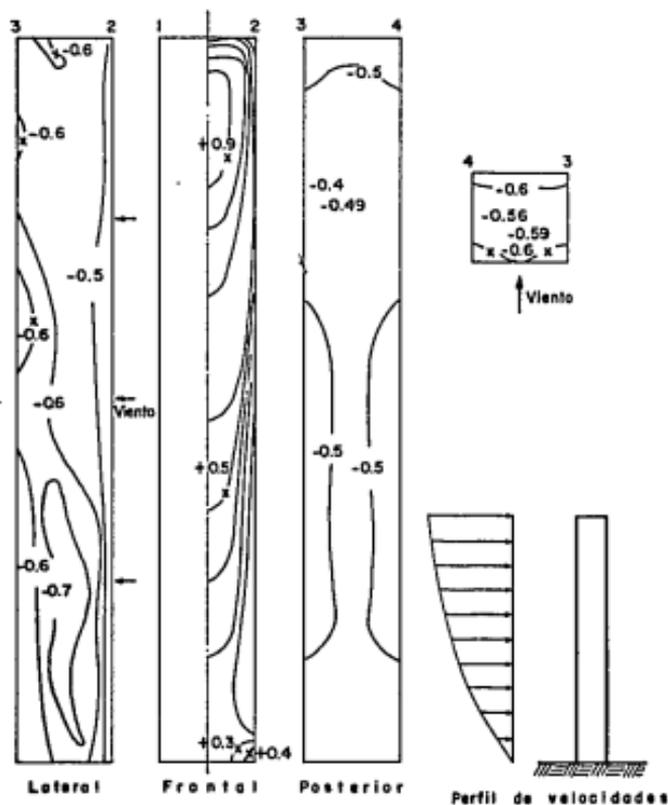


Figura 2.3 Distribución de presiones y succiones sobre las caras y parte superior de un modelo de edificio alto, en un campo de velocidades variables [1].

DE LIBERTAD DINÁMICOS, Y SE DESPRECIAN LAS DEFORMACIONES AXIALES Y LAS ROTACIONES DE LOS NUDOS, LAS CUALES PUEDEN SER IMPORTANTES EN EDIFICIOS ALTOS.

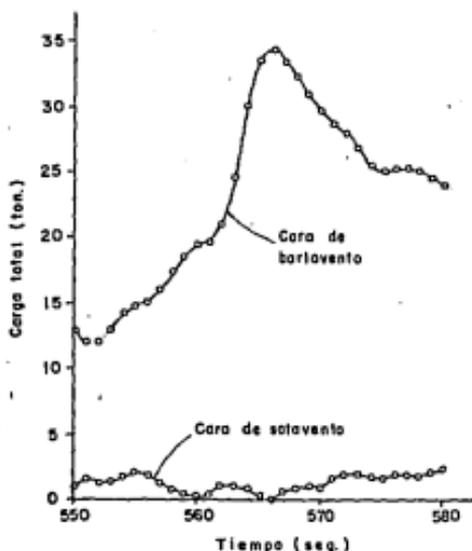


Figura 2.4 Presiones y succiones obtenidas para ráfagas con vientos máximos de 60 KPH. [24].

LAS ECUACIONES DEL MOVIMIENTO PARA UN EDIFICIO CON N GRADOS DE LIBERTAD, PARA CALCULAR LOS DESPLAZAMIENTOS LATERALES DE LOS PISOS, SON:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (2.20)$$

DONDE  $[M]$  ES LA MATRIZ DE MASAS;  $[K]$  ES LA MATRIZ DE RIGIDEZ DINÁMICA;  $\{F(t)\}$  ES EL VECTOR DE FUERZAS DEPENDIENTES DEL TIEMPO;  $\{x\}$ ,  $\{\dot{x}\}$ ,  $\{\ddot{x}\}$  SON LOS VECTORES DE DESPLAZAMIENTOS, VELOCIDADES Y

ACELERACIONES, RESPECTIVAMENTE.

LA MATRIZ DE AMORTIGUAMIENTOS  $[C]$  SE DEFINE DE MANERA QUE - - LAS ECUACIONES DEL MOVIMIENTO SE DESACOPLEN EN LOS MODOS NORMALES.

LAS CARACTERÍSTICAS DE AMORTIGUAMIENTO EN EDIFICIOS ALTOS SE DEBEN A LA INTERACCIÓN DE SUS COMPONENTES ESTRUCTURALES, AL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES Y A LA INTERACCIÓN DE LA ESTRUCTURA CON SU MEDIO AMBIENTE Y ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES. UN AMORTIGUAMIENTO VISCOZO EQUIVALENTE MODELA RAZONABLEMENTE LOS EFECTOS DE AMORTIGUAMIENTO Y ES MATEMÁTICAMENTE TRATABLE. EXISTEN VARIOS AMORTIGUAMIENTOS VISCOZOS QUE SE PUEDEN MODELAR COMO PROPORCIONALES A LA MATRIZ DE MASAS Y DE RIGIDECES, O COMO UNA COMBINACIÓN ESPECÍFICA DE ÉSTAS. EL MODELO DE DISIPACIÓN DE RAYLEIGH MEDIANTE UNA COMBINACIÓN LINEAL DE LA MATRIZ DE MASAS Y DE RIGIDECES, RESULTA SUFICIENTE SEGÚN NUESTROS CONOCIMIENTOS PARA REPRESENTAR EL AMORTIGUAMIENTO DE LOS MODOS SUPERIORES.

YA QUE LA MAYOR PARTE DE LA ENERGÍA DEL VIENTO ESTÁ CONCENTRADA EN EL INTERVALO DE FRECUENCIAS BAJAS DE EDIFICIOS ALTOS, EL EFECTO DEL AMORTIGUAMIENTO EN LOS MODOS SUPERIORES NO ES IMPORTANTE; SIN EMBARGO, LA CONTRIBUCIÓN DE LOS MODOS INFERIORES SIEMPRE DOMINA LAS CARACTERÍSTICAS DE DESPLAZAMIENTOS. EL AMORTIGUAMIENTO DE LOS MODOS SUPERIORES PUEDE SER UN PARÁMETRO IMPORTANTE EN EL CÁLCULO DE ACELERACIÓN Y SUS CAMBIOS, LOS CUALES ESTÁN DIRECTAMENTE RELACIONADOS CON LOS NIVELES DE COMODIDAD DE LAS PERSONAS. EN GENERAL, SE ENCUENTRA QUE EL AMORTIGUAMIENTO DE RAYLEIGH ES EL MÁS ADECUADO, YA QUE REPRESENTA LA PARTICIPACIÓN DE LAS MASAS

Y RIGIDECES EN LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA, ESPECIALMENTE CUANDO LA ESTRUCTURA SE MODELA COMO UN SISTEMA DINÁMICO DE N GRADOS DE LIBERTAD, OBTENIDO POR LA UNIÓN DE MASAS DISCRETAS CON RESORTES Y AMORTIGUADORES. LOS PORCENTAJES DE AMORTIGUAMIENTO CRÍTICO  $\xi_i$ , CORRESPONDIENTES A LOS MODOS INFERIORES, SE ESTIMAN O SE OBTIENEN DE MEDICIONES DURANTE PRUEBAS [18, 19, 40, 47], Y EL RESTO SE CALCULAN EN BASE A ÉSTOS.

EL AMORTIGUAMIENTO DE RAYLEIGH SE PUEDE ESCRIBIR COMO

$$[C] = b_0 [M] + b_1 [K] \quad (2.21)$$

DONDE LOS COEFICIENTES  $b_0$  Y  $b_1$  SE DEFINEN MEDIANTE:

$$b_0 = \frac{2\omega_1\omega_2(\xi_2\omega_1 - \xi_1\omega_2)}{\omega_1^2 - \omega_2^2}$$

$$b_1 = \frac{2(\xi_1\omega_1 - \xi_2\omega_2)}{\omega_1^2 + \omega_2^2} \quad (2.22)$$

LOS RESTANTES (N-2) COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO SE OBTIENEN DE

$$\xi_i = \frac{1}{2\omega_i} (b_0 + b_1\omega_i^2) \quad (2.23)$$

DONDE:  $\xi_i$  ES EL PORCENTAJE DE AMORTIGUAMIENTO CRÍTICO, CORRESPONDIENTE AL I-ÉSIMO MODO, Y  $\omega_i$  ES LA FRECUENCIA CIRCULAR DE VIBRACIÓN DEL I-ÉSIMO MODO.

A FIN DE OBTENER LA SOLUCIÓN DE LA EC. (2.20) SE SELECCIONÓ EL MÉTODO DE SUPERPOSICIÓN MODAL, YA QUE PERMITE VALUAR DE UNA MANERA

FÁCIL LA CONTRIBUCIÓN DE CADA UNO DE LOS MODOS EN LA RESPUESTA TOTAL.

AL PREMULPLICAR LA EC. (2.20) POR LA MATRIZ  $[A_{ij}]$ , DE FORMAS CARACTERÍSTICAS NORMALIZADAS, Y AL SUSTITUIR LA TRANSFORMACIÓN

$$\{x\} = [A_{ij}]\{z\} \quad (2.24)$$

SE OBTIENEN "N" ECUACIONES DEL MOVIMIENTO DESACOPLADAS, DEL TIPO:

$$\ddot{z}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{z}_i + \omega_i^2 z_i = F'_i(t) \quad (2.25)$$

DONDE  $F'_i(t) = \sum_{j=1}^n A_{ji} F_j(t)$

LA RESPUESTA SE OBTIENE EN FORMA CERRADA USANDO LA INTEGRAL DE DUHAMEL PARA UN INTERVALO DE TIEMPO FINITO, SUPONIENDO QUE LA FUNCIÓN EXCITADORA  $F'_i(t)$  ES LINEAL EN EL SUBINTERVALO DE TIEMPO  $\Delta t$ , CON LA APROXIMACIÓN

$$F'_i(t) = A_i + r_i t \quad (2.26)$$

DONDE  $A_i$  ES EL VALOR INICIAL DE LA FUNCIÓN EN EL SUBINTERVALO CONSIDERADO, Y  $r_i$  ES LA PENDIENTE DE LA RECTA QUE LO UNE CON EL VALOR FINAL.

LA SOLUCIÓN DE LA EC. (2.25), ASÍ COMO SU PRIMERA Y SEGUNDA DERIVADAS, PUEDEN ESCRIBIRSE COMO:

$$\begin{aligned} z_i(t) = \exp(-\xi_i \omega_i t) [C_1 \cos \omega_{di} t + C_2 \operatorname{Sen} \omega_{di} t] + \\ + \left[ -\Delta_i - \frac{2 \xi_i r_i}{\omega_i} + r_i t \right] / \omega_i^2 \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_i(t) = \exp(-\xi_i \omega_i t) \left\{ [-C_1 \operatorname{Sen} \omega_{di} t + C_2 \cos \omega_{di} t] \omega_{di} + \right. \\ \left. - \xi_i \omega_i [C_1 \cos \omega_{di} t + C_2 \operatorname{Sen} \omega_{di} t] \right\} + r_i / \omega_i^2 \end{aligned} \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned} \ddot{z}_i(t) = \exp(-\xi_i \omega_i t) \left\{ (\xi_i^2 \omega_i^2 - \omega_{di}^2) [C_1 \cos \omega_{di} t + C_2 \operatorname{Sen} \omega_{di} t] + \right. \\ \left. - 2 \xi_i \omega_i [-C_1 \operatorname{Sen} \omega_{di} t + C_2 \cos \omega_{di} t] \omega_{di} \right\} \end{aligned} \quad (2.29)$$

DONDE:

$$C_1 = z_{oi} - \frac{1}{\omega_i^2} \left[ -\Delta_i - \frac{2 \xi_i r_i}{\omega_i} \right] \quad (2.30)$$

$$C_2 = \frac{\dot{z}_{oi} + \xi_i C_1 \omega_i}{\omega_{di}} \quad (2.31)$$

Y  $\omega_{di} = \omega_i \sqrt{1 - \xi_i^2}$  ES LA FRECUENCIA AMORTIGUADA DEL I-ÉSIMO --  
MODO.

EL VECTOR DE CONDICIONES INICIALES ESTÁ DEFINIDO POR:

$$\begin{aligned} \{Z_0\} &= [A_{ij}][M]\{x_0\} \\ \{\dot{Z}_0\} &= [A_{ij}][M]\{\dot{x}_0\} \\ \{\ddot{Z}_0\} &= [A_{ij}][M]\{\ddot{x}_0\} \end{aligned} \quad (2.32)$$

LA TRANSFORMACIÓN INVERSA, EN COORDENADAS GENERALIZADAS, SE PUEDE ESCRIBIR COMO:

$$\begin{aligned} x_i &= \sum_{j=1}^n A_{ij} Z_j = \sum_{j=1}^n x_{ij} \\ \dot{x}_i &= \sum_{j=1}^n A_{ij} \dot{Z}_j = \sum_{j=1}^n \dot{x}_{ij} \\ \ddot{x}_i &= \sum_{j=1}^n A_{ij} \ddot{Z}_j = \sum_{j=1}^n \ddot{x}_{ij} \end{aligned} \quad (2.33)$$

TAL QUE  $x_{ij} = A_{ij} Z_j$  REPRESENTA LA CONTRIBUCIÓN DEL J-ÉSIMO MODO AL I-ÉSIMO DESPLAZAMIENTO, Y LA RESPUESTA TOTAL CONSISTE EN LA SUPERPOSICIÓN DE LOS N MODOS.

### 3. AUTOMATIZACION DEL CALCULO

#### 3.1 INTRODUCCION

SE DESARROLLÓ UN PROGRAMA PARA ORDENADOR DIGITAL CON EL QUE, A PARTIR DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y PARÁMETROS ESTADÍSTICOS QUE REPRESENTAN LAS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DEL SITIO -- DONDE SE PRETENDA CONSTRUIR LA ESTRUCTURA, SE OBTIENE LA RESPUESTA DINÁMICA (DESPLAZAMIENTOS, VELOCIDADES Y ACELERACIONES) DE LA ESTRUCTURA, ANTE LA ACCIÓN TURBULENTO DEL VIENTO. ESTE PROGRAMA CONSTA DE 1191 INSTRUCCIONES ESCRITAS EN LENGUAJE FORTRAN IV, HACIENDO USO DE TERMINALES REMOTAS DE LA BURROUGHS B-7800 DEL PUC-UNAM.

#### 3.2 DESCRIPCION DEL PROGRAMA PRINCIPAL Y SUBRUTINAS

EN LA FIGURA 3.1 SE MUESTRA EL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL; SE HACE DESPUÉS UNA BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS SUBRUTINAS USADAS EN ÉL, Y AL FINAL SE PROPORCIONA LA FORMA DE ENTRADA DE DATOS PARA HACER USO DEL PROGRAMA.

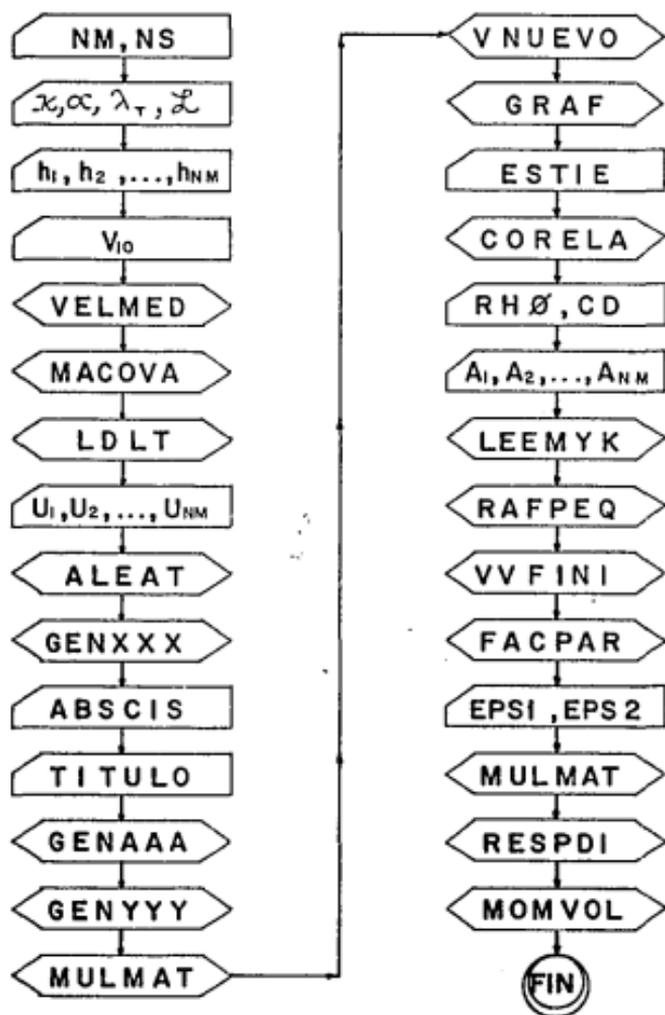


Figura 3.1 Diagrama de flujo del programa principal

### 3.2.1 SUBROUTINA VELMED.

OBTIENE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN CADA UNA DE LAS MASAS DE LA ESTRUCTURA, USANDO LA EC.(1.1).

### 3.2.2 SUBROUTINA MACOVA.

OBTIENE LA MATRIZ DE CORRELACIÓN CRUZADA PARA LOS VIENTOS QUE VAN A SER GENERADOS, USANDO LA EC.(2.4) O (2.5).

### 3.2.3 SUBROUTINA LDLT.

EFFECTÚA LA DESCOMPOSICIÓN DE UNA MATRIZ SIMÉTRICA EN EL PRODUCTO DE UNA TRIANGULAR INFERIOR POR LA MATRIZ IDENTIDAD Y POR -- UNA TRIANGULAR SUPERIOR.

### 3.2.4 SUBROUTINA ALEAT.

GENERA EL CONJUNTO DE NÚMEROS ALEATORIOS  $\{u_i\}$ , DISTRIBUIDOS UNIFORMEMENTE EN EL INTERVALO (0,1), MEDIANTE LA EXPRESIÓN:

$$u_i = \text{Parte fraccionaria de } \left[ (1 + u_{i-1})^5 \right] \quad (3.1)$$

PARA LO CUAL, EL USUARIO DEL PROGRAMA SELECCIONA LOS VALORES DE  $u_i$ , PARA CADA UNA DE LAS MASAS DE LA ESTRUCTURA, DENTRO DEL INTERVALO (0,1).

### 3.2.5 SUBROUTINA GENXXX.

A PARTIR DEL CONJUNTO  $\{u_i\}$ , GENERA EL CONJUNTO DE NÚMEROS -- ALEATORIOS  $\{x_i\}$ , CON DISTRIBUCIÓN NORMAL Y VARIANCIA UNITARIA, --

SIN CORRELACIÓN, MEDIANTE

$$x_i = \left( \sum_{k=1}^{12} u_{12i+k-12} - 6.0 \right) \sigma^2 + \text{VAM} \quad (3.2)$$

DONDE  $\sigma^2=1$  Y VAM (VALOR MEDIO) = 0.

### 3.2.6 SUBROUTINA GENAAA.

ESTA SUBROUTINA GENERA EL CONJUNTO DE NÚMEROS  $\{z_i\}$ , LOS CUALES SE OBTIENEN DE LA SOLUCIÓN DE UN SISTEMA DE ECUACIONES NO-LINEALES, EL CUAL SE FORMA POR LAS COVARIANCIAS DEL PROCESO  $\{y\}$ , E IGUALADAS A LAS AUTOCORRELACIONES DEFINIDAS EN LA EC.(2.3).

LA SOLUCIÓN DEL SISTEMA DE ECUACIONES NO-LINEALES RESULTÓ SER:

$$a_{i_i} = C_{i_i} \exp(-N_{i_i}/\alpha_{i_i}), \quad N_{i_i} = 0, 1, 2, \dots, K \quad (3.3)$$

donde

$$C_{i_i} = 1 - \exp(-2.325 \Delta t / \theta), \quad \Delta t / \theta = 0.1, 0.2, \dots, 3.2 \quad (3.4)$$

Y EL VALOR DE  $\alpha_{i_i}$  SE OBTIENE DE

$$\alpha_{i_i} = -2 / \ln r \quad (3.5)$$

DONDE  $r$  ES LA RAÍZ POSITIVA MÁS PRÓXIMA A B, EN LA EXPRESIÓN

$$B = r \left( 1 - \frac{1}{A} r^{16} \right) \quad (3.6)$$

CON  $A = 1/(C_2)^2$  Y  $B = (A-1)/A$

### 3.2.7 SUBROUTINA GENYYY.

SE GENERAN LOS N PROCESOS DE VARIANCIA UNITARIA  $\{y\}_m$ , REPRESENTADOS POR LAS ECS. (2.9), Y CUYAS AUTOCORRELACIONES ESTÁN DEFINIDAS POR LA EC. (2.3).

### 3.2.8 SUBROUTINA MULMAT.

GENERA N PROCESOS DE VARIANCIA UNITARIA  $\{W\}_m$ , CON CORRELACIONES CRUZADAS DEFINIDAS POR LA EC. (2.4), MEDIANTE LA EXPRESIÓN

$$\{W\}_n = [D]\{y\}_m \quad (3.7)$$

DONDE LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ TRIANGULAR INFERIOR [D], SE OBTUVIERON EN LA SUBROUTINA LDLT, AL EFECTUAR LA DESCOMPOSICIÓN

$$[C]^{W_i W_j} (\sigma=0) = [D][I][D]^T \quad (3.8)$$

Y LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ [C], SE OBTUVIERON CON LA EC. (2.4).

### 3.2.9. SUBROUTINA VNUEVO.

OBTIENE LOS VIENTOS FINALES DE RÁFAGAS GRANDES  $\{u\}_m$ , VERIFICANDO QUE LA VARIANCIA DE ÉSTOS SEA UNITARIA Y LA VELOCIDAD MEDIA NULA.

## 3.2.10 SUBROUTINA GRAF.

SUBROUTINA PARA LA GRAFICACIÓN DE HASTA NUEVE FUNCIONES EN LA MISMA GRÁFICA, SEGUIDA POR LA TABULACIÓN DE LOS VALORES DE LAS MISMAS FUNCIONES.

## 3.2.11 SUBROUTINA CORELA.

DADO EL PROCESO  $\{x_1\}, \{x_2\}, \dots, \{x_m\}$ , ESTA SUBROUTINA OBTIENE LOS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN  $r_{ij}$  ENTRE LOS VECTORES  $\{x_i\}$  Y  $\{x_j\}$ , LOS CUALES QUEDAN DEFINIDOS POR:

$$r_{ij} = \frac{S_{x_i x_j}}{S_{x_i} S_{x_j}} \quad (3.9)$$

DONDE

$$S_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2/n}{n-1}} \quad , \quad y$$

$$S_{x_i x_j} = \frac{1}{n-1} (\sum x_i x_j - \frac{1}{n} \sum x_i \sum x_j)$$

## 3.2.12 SUBROUTINA LEEMYK.

EN ESTA SUBROUTINA SE LEEN E IMPRIMEN LAS MATRICES DE MASAS Y RIGIDEZES DE LA ESTRUCTURA. A TRAVÉS DE LA SUBROUTINA MODAL, LA CUAL USA EL MÉTODO DE JACOBI, OBTIENE LAS FRECUENCIAS, PERÍODOS Y LA

MATRIZ  $[A_{ij}]$ , DE LAS FORMAS CARACTERÍSTICAS NORMALIZADAS.

### 3.2.13 SUBROUTINA RAFPEQ.

ESTA SUBROUTINA GENERA LOS VIENTOS DE RÁFAGAS PEQUEÑAS, LOS CUALES SE OBTIENEN GENERANDO PRIMERO N PROCESOS ESTOCÁSTICOS SIN CORRELACIÓN  $\{p\}_m$ , EN INTERVALOS DISCRETOS DE TIEMPO  $\Delta t$ , MEDIANTE LA EC.(2.16). SE OBTIENE LA MATRIZ DE COVARIANCIA [C] Y MEDIANTE LA DESCOMPOSICIÓN LDLT SE LLEGA A ESTABLECER LA MATRIZ [D], CON LA CUAL SE OBTIENEN LOS VIENTOS DE RÁFAGAS PEQUEÑAS, CORRELACIONADOS, A TRAVÉS DE

$$\{v\}_m = [D]\{p\} \quad (3.10)$$

SE VERIFICA QUE CADA UNO DE LOS VIENTOS GENERADOS POSEA VALOR MEDIO NULO. SE GRAFICAN LOS VIENTOS DE RÁFAGAS PEQUEÑAS Y SE OBTIENEN LOS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN, EN LA MISMA FORMA QUE SE HIZO PARA LOS VIENTOS DE RÁFAGAS GRANDES EN 3.2.11.

### 3.2.14 SUBROUTINA VVFINI.

ESTA SUBROUTINA HACE QUE LAS VARIANCIAS DE LAS VELOCIDADES DE REYNOLDS  $[\{v_r(t)\}_m = \{u\}_m + \{v\}_m]$  SEAN LAS INDICADAS POR LA EC.(1.12), PARA LLEGAR A OBTENER LAS VELOCIDADES DE LOS VIENTOS FINALES

$$\{V\}_m = \{\bar{V}\}_m + \{v_r(t)\}_m \quad (3.11)$$

SE GRAFICAN LOS VIENTOS FINALES QUE SE HAN GENERADO PARA CADA UNA

DE LAS MASAS DE LA ESTRUCTURA; Y SE OBTIENEN ADEMÁS LA MEDIA, DESVIACIÓN ESTANDAR E ÍNDICES DE TURBULENCIA DE LOS VIENTOS FINALES, ASÍ COMO LA MATRIZ DE CORRELACIÓN CRUZADA DE LOS MISMOS.

### 3.2.15 SUBROUTINA FACPAR.

SE OBTIENEN LAS FUERZAS PROVOCADAS POR EL VIENTO GENERADO EN CADA UNA DE LAS MASAS DE LA ESTRUCTURA, PARA CADA UNO DE LOS INSTANTES DE TIEMPO CONSIDERADOS, CON LA EC.(2.17); CON ÉSTAS Y LA MATRIZ  $[A_{ij}]$  DE FORMAS CARACTERÍSTICAS NORMALIZADAS, SE OBTIENEN PARA TODOS LOS INSTANTES DE TIEMPO LOS FACTORES DE PARTICIPACIÓN DE CADA UNO DE LOS MODOS, MEDIANTE LA EXPRESIÓN:

$$\phi_j = \frac{\sum_{i=1}^{NM} F_i A_{ij}}{w_j^2} \quad (3.12)$$

### 3.2.16 SUBROUTINA RESPDI.

EN ESTA SUBROUTINA SE EFECTÚA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE LA ESTRUCTURA, BAJO LA ACCIÓN DE LOS VIENTOS FINALES OBTENIDOS EN LA SUBROUTINA VVFINI. EL PROCEDIMIENTO ES EL SIGUIENTE:

- (A) CON LOS VALORES DE  $\xi_1$  Y  $\xi_2$  QUE SE LE PROPORCIONAN AL PROGRAMA, Y MEDIANTE LA EC.(2.23), SE OBTIENEN LOS PORCENTAJES DE AMORTIGUAMIENTO PARA LOS MODOS RESTANTES. SE IMPRIME  $\xi_i$ .
- (B) CON LOS FACTORES DE PARTICIPACIÓN DE CADA MODO, SE OBTIENEN LOS VALORES DE:



AL SUSTITUIR ESTOS VALORES EN LAS ECS. (2.30) Y (2.31) SE OBTIENEN  $C_1$  Y  $C_2$ , LOS CUALES AL SER SUSTITUIDOS EN LAS ECS. -- (2.27) A (2.29) GENERAN LOS VECTORES  $\{z_i(t)\}$ ,  $\{\dot{z}_i(t)\}$  Y  $\{\ddot{z}_i(t)\}$ . CON ESTOS VECTORES, Y USANDO LAS ECS. (2.33), SE OBTIENEN LOS VECTORES DE DESPLAZAMIENTO  $\{x_i\}$ , VELOCIDAD  $\{\dot{x}_i\}$  Y ACELERACIÓN  $\{\ddot{x}_i\}$  PARA EL PUNTO FINAL DE SUBINTERVALO, LOS QUE SIRVEN DE CONDICIONES INICIALES PARA EL SIGUIENTE SUBINTERVALO. ESTE PROCEDIMIENTO SE REPITE HASTA LLEGAR AL FINAL DEL INTERVALO.

- (E) SE GRAFICAN LOS DESPLAZAMIENTOS, VELOCIDADES Y ACELERACIONES EN SU VARIACIÓN CON EL TIEMPO, PARA CADA UNA DE LAS MASAS.

### 3.2.17 SUBRUTINA MOMVOL

CON LAS FUERZAS OBTENIDAS EN LA SUBRUTINA FACPAR PARA CADA UNA DE LAS MASAS, SE OBTIENE EL CORTANTE EÓLICO EN LA BASE DEL EDIFICIO, ASÍ COMO EL MOMENTO DE VOLTEO, EN SU VARIACIÓN CON EL TIEMPO.

## 3.3 INSTRUCTIVO PARA USUARIOS DEL PROGRAMA

### 3.3.1 NOMENCLATURA Y MODELO USADO.

EN LA FIGURA 4.1 SE MUESTRA EL MODELO MECÁNICO, CON LA NOMENCLATURA USADA. LAS MATRICES DE MASAS Y RIGIDECESES DE ESTE MODELO SON DE LA FORMA:

$$[M] =$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

$$[K] =$$

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & \dots & K_{1,NM} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & \dots & K_{2,NM} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & \dots & \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ K_{NM,1} & \dots & & & K_{NM,NM} \end{bmatrix}$$

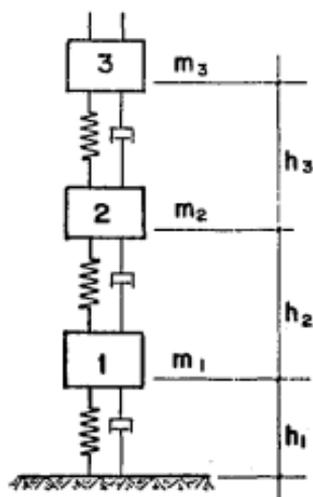
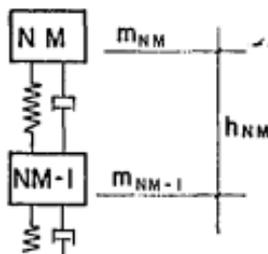


Figura 4.1

### 3.3.2 ENTRADA DE DATOS.

PARA HACER USO DEL PROGRAMA POR MEDIO DE UNA TERMINAL REMOTA - DE LA BURROUGHS B-7800 DEL PUC-UNAM, CON EL LENGUAJE CANDE, SE DEBERÁ FORMAR UN CAMPO DE DATOS CON EL NOMBRE AMAVIZCA. EN ESTE CAMPO DEBEN EXISTIR LOS DOCE TIPOS DE DATOS QUE A CONTINUACIÓN SE DESCRIBEN.

TODOS LOS FORMATOS PARA ENTRADA DE DATOS SON LIBRES. ASÍ, CUANDO SE REQUIERA PROPORCIONAR UN SOLO DATO, ÉSTE PODRÁ ESCRIBIRSE EN LA POSICIÓN QUE SE DESEE DENTRO DEL RENGLÓN Y CUANDO SE PROPORCIONEN VARIOS DATOS EN UN RENGLÓN, PODRÁN IR LO ESPACIADOS QUE SE DESEE, SOLO SEPARADOS POR COMAS.

#### 3.3.2.1 RENGLON A.

NM, NSAL

DONDE NM ES EL NÚMERO DE MASAS DE LA ESTRUCTURA, Y NSAL ES EL NÚMERO DE ESPACIOS QUE SE DESEAN EN LA GRAFICACIÓN DE LOS VIENTOS GENERADOS ( $NSAL \geq 1$ ).

#### 3.3.2.2 RENGLON B.

$\alpha, \alpha, \lambda, \mathcal{L}$

$\alpha$  ES EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL TERRENO (VER TABLA I.3),  $\alpha$  ES EL EXPONENTE A USAR EN LA LEY DE POTENCIA DE VARIACIÓN DEL VIENTO CON LA ALTURA,  $\lambda = 112.3$ , Y  $\mathcal{L}$  ES LA ESCALA DE TURBULENCIA ( $\mathcal{L} = 1800$ ).

## 3.3.2.3 RENGLONES C.

$$h_i \quad i=1,2, \dots, NM$$

DISTANCIAS ENTRE MASAS, DE ABAJO HACIA ARRIBA, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 4.1, PROPORCIONANDO UN SOLO DATO POR RENGLÓN.

## 3.3.2.4 RENGLON D.

$$\bar{V}_{10}$$

VELOCIDAD DE DISEÑO A 10 M. DE ALTURA, EN M/SEG.

## 3.3.2.5 RENGLONES E.

$$u_i \quad i=1,2, \dots, NM$$

NÚMEROS ELEGIDOS AL AZAR DENTRO DEL INTERVALO (0,1), DIFERENTES PARA CADA MASA. UN SOLO DATO POR RENGLÓN.

## 3.3.2.6 RENGLON F.

TIEMPO NORMALIZADO A TETA/ 10

ESTE LETRERO APARECERÁ AL PIÉ DE LAS GRÁFICAS DE SALIDA.

## 3.3.2.7 RENGLONES G.

$$MASA_i \quad i=1,2, \dots, NM$$

MASA<sub>i</sub> ≡ NOMBRE CON QUE SE BAUTIZA A CADA UNA DE LAS MASAS DE LA ESTRUCTURA, DE ABAJO HACIA ARRIBA Y UN SOLO LETRERO POR RENGLÓN.

## 3.3.2.8 RENGLON H.

## ESTIE

LA ESCALA DE TIEMPO SE OBTIENE MEDIANTE LA EXPRESIÓN:

$$\text{ESTIE} = \theta / 11.41093$$

## 3.3.2.9 RENGLON I.

## RHØ, CD

RHØ ES EL COEFICIENTE QUE SE USARÁ EN LA EXPRESIÓN  $p = RHØ \cdot C_D V^2$  (ASF, PARA EL D.F., RHØ = 0.0055), Y CD ES EL COEFICIENTE DE EMPUJE TOTAL (PRESIÓN MÁS SUCCIÓN), OBTENIDO DE PRUEBAS EN TÚNEL DE VIENTO CON FLUJO LÁMINAR.

## 3.3.2.10 RENGLONES J.

$$A_i \quad i = 1, 2, \dots, NM$$

ÁREAS TRIBUTARIAS POR MASA, EN  $M^2$ , DE ABAJO HACIA ARRIBA, PROPORCIONANDO UN SOLO DATO POR RENGLÓN.

## 3.3.2.11 RENGLONES K.

$$m_i \quad i = 1, 2, \dots, NM$$

VALORES DE LAS MASAS EN  $\text{TON-SEG}^2/M$ , DE ABAJO HACIA ARRIBA, PROPORCIONANDO UN SOLO DATO POR RENGLÓN.

## 3.3.2.12 RENGLONES L.

$$K_{i1}, K_{i2}, \dots, K_{i,MM} \quad i = 1, 2, \dots, MM$$

MATRIZ DE RIGIDECES DE LA ESTRUCTURA EN TON/M, RENGLÓN POR RENGLÓN. EN CADA RENGLÓN HABRÁ TANTOS DATOS COMO MASAS TENGA LA ESTRUCTURA.

#### 4. EJEMPLOS DE APLICACION

##### 4.1 DESCRIPCION DE LOS EDIFICIOS.

DOS EDIFICIOS, A Y B, DE 9 Y 40 PISOS RESPECTIVAMENTE, SE ANALIZARON POR VIENTO, OBTENIENDO LAS RESPUESTAS DINÁMICAS DEBIDAS A LOS VIENTOS SIMULADOS, COMO SE PROPONE EN EL PRESENTE TRABAJO.

EN EL EDIFICIO A, DE CONCRETO, SE CONSIDERA QUE LA ESTRUCTURA ES DE CORTANTE, POR LO QUE LA MATRIZ DE RIGIDECES (TABLA IV.3) SE OBTUVO CONSIDERANDO QUE LA RIGIDEZ DEL SISTEMA DE PISO ERA MUY -- GRANDE CON RESPECTO A LAS RIGIDECES DE LAS COLUMNAS. LA MATRIZ DE MASAS SE FORMÓ CON LAS MASAS TOTALES DE CADA PISO. EN LA FIGURA 4.1 Y TABLAS IV.1 Y IV.5 SE MUESTRAN LAS PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VIENTOS.

DEL EDIFICIO B, DE ACERO, SE CONSIDERA UN MARCO PLANO DE LA ESTRUCTURA, CON 205 NUDOS, 371 MIEMBROS Y 615 GRADOS DE LIBERTAD. -- DESPRECIANDO LAS DEFORMACIONES AXIALES, LA MATRIZ DE RIGIDECES -- (TABLA IV.4) DE LA ESTRUCTURA FUE CONDENSADA A NUEVE GRADOS DE LIBERTAD DINÁMICOS, CORRESPONDIENTES A LOS DESPLAZAMIENTOS LATERALES

DEL PRIMERO Y CADA CINCO PISOS. LA MATRIZ DE MASAS SE FORMÓ POR VOLUMENES TRIBUTARIOS. EN LA FIGURA 4.2 Y TABLAS IV.2 Y IV.5 SE MUESTRAN LAS DIMENSIONES DEL EDIFICIO Y LOS PARÁMETROS DEL VIENTO.

AMBOS EDIFICIOS SE ANALIZAN PARA LAS CONDICIONES EXTREMAS DE CAMPO ABIERTO Y CENTRO DE CIUDAD, PARA LAS VELOCIDADES DE DISEÑO DE 9.13 Y 28.0 M/SEG A 10 M DE ALTURA.

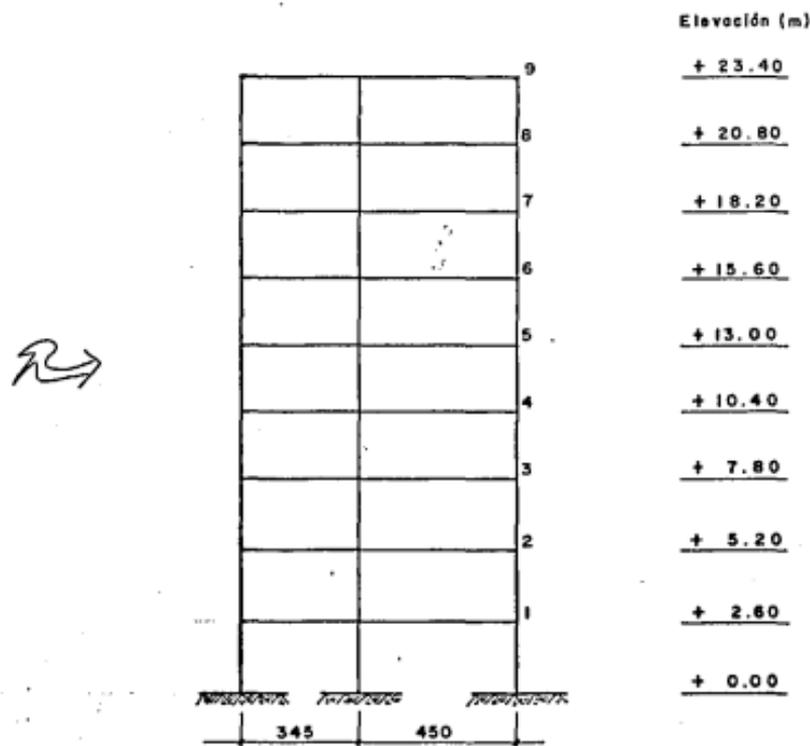


Figura 4.1 Elevación esquemática del edificio A.

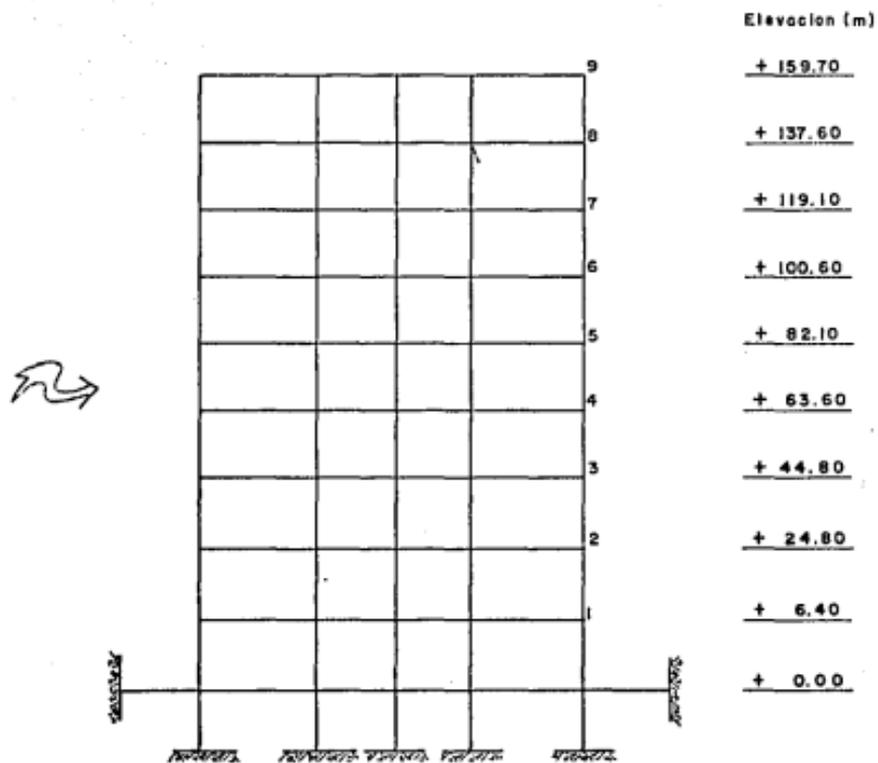


Figura 4.2 Elevación esquemática del edificio B.

NO. DE MASA	MASA (TON-SEG <sup>2</sup> /M)	$h_w$ (M)	AREA EXPUESTA (M <sup>2</sup> )	$\mu_1$	$\bar{V}$ (M/SEG) CAMPO ABIERTO		$\bar{V}$ (M/SEG) CENTRO DE CIUDAD	
					$\bar{V}_{10} = 9.13$	$\bar{V}_{10} = 28.0$	$\bar{V}_{10} = 9.13$	$\bar{V}_{10} = 28.0$
1	18,367	2.6	24.7	0.1	7.36	22.57	5.31	16.28
2	18,367	2.6	49.4	0.2	8.23	25.22	7.02	21.52
3	18,367	2.6	49.4	0.3	8.77	26.91	8.26	25.34
4	18,367	2.6	49.4	0.4	9.19	28.18	9.28	28.45
5	18,367	2.6	49.4	0.5	9.52	29.20	10.15	31.12
6	18,367	2.6	49.4	0.6	9.80	30.06	10.92	33.49
7	18,367	2.6	49.4	0.7	10.05	30.82	11.62	35.63
8	18,367	2.6	49.4	0.8	10.27	31.48	12.26	37.60
9	18,367	2.6	24.7	0.9	10.46	32.08	12.86	39.42

TABLA IV.1 PARÁMETROS DEL VIENTO Y PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO A.

NO. DE MASA	MASA (TON-SEG <sup>2</sup> /M)	$h_z$ (M)	AREA EXPUESTA (M <sup>2</sup> )	$\mu_z$	$\bar{V}$ (M/SEG) CAMPO ABIERTO		$\bar{V}$ (M/SEG) CENTRO DE CIUDAD	
					$\bar{V}_{10} = 9.13$	$\bar{V}_{10} = 28.0$	$\bar{V}_{10} = 9.13$	$\bar{V}_{10} = 28.0$
1	45668.0	6.4	17.0	0.1	8.50	26.07	7.63	23.40
2	61060.0	18.4	31.37	0.2	10.56	32.38	13.16	40.36
3	61060.0	20.0	28.59	0.3	11.61	35.59	16.70	51.20
4	61060.0	18.8	28.59	0.4	12.28	37.65	19.22	58.96
5	61060.0	18.5	28.59	0.5	12.79	39.22	21.31	65.34
6	61060.0	18.5	28.82	0.6	13.21	40.51	23.12	70.91
7	61060.0	18.5	29.98	0.7	13.57	41.62	24.75	75.89
8	61060.0	18.5	29.67	0.8	13.89	42.59	26.23	80.44
9	31702.0	22.1	19.16	0.9	14.22	43.62	27.85	85.41

TABLA IV.2 PARÁMETROS DEL VIENTO Y PROPIEDADES ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO B.

7780.0	- 2465.0	0	0	0	0	0	0	0
	4481.0	- 2016.0	0	0	0	0	0	0
		3894.0	- 1878.0	0	0	0	0	0
			3705.0	- 1827.0	0	0	0	0
				3629.0	- 1802.0	0	0	0
					3563.0	- 1761.0	0	0
S	I	M	E	T	R	I	C	A
						3368.0	- 1607.0	0
							2570.0	- 963.0
								963.0

TABLA IV.3 MATRIZ DE RIGIDEZES DEL EDIFICIO A.

14645464.0	-5006420.0	434760.0	-38940.0	3160.0	-200.0	0	0	0
	6886750.0	-3165340.0	287160.0	-23610.0	1730.0	-1020.0	0	0
		5785563.0	-3201220.0	267280.0	-19570.0	1220.0	-100.0	0
			5816410.0	-3088280.0	229050.0	-14070.0	610.0	0
				5571660.0	-2900920.0	179210.0	-7850.0	200.0
					5058100.	-2474620.0	108670.0	-2140.0
	S	I	N	E	T	R	I	C
						4266870.	-1998470.0	39960.0
							2802450.0	-905300.0
								867380.0

TABLA IV.4 MATRIZ DE RIGIDECES DEL EDIFICIO B.

EDIFICIO	EXPOSICION	$\bar{V}_{10}$ (M/SEG.)	$\infty$	$\kappa$	$\xi_1$	$\xi_2$	ESTIE	RHØ	$C_D$
A	CAMPO ABIERTO	9.13	0.16	0.005	0.05	0.025	1.4107	0.0055	1.23
		28.0							
	CENTRO DE CIUDAD	9.13	0.4025	0.03					
		28.0							
B	CAMPO ABIERTO	9.13	0.16	0.005	0.015	0.0075	1.4522	0.0055	1.23
		28.0							
	CENTRO DE CIUDAD	9.13	0.4025	0.03					
		28.0							

TABLA IV.5 PARÁMETROS DEL VIENTO Y PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LOS EDIFICIOS A Y B.

#### 4.2 DATOS DE ENTRADA AL PROGRAMA.

EN LAS TABLAS IV.6 Y IV.7 SE MUESTRAN DOS CAMPOS DE DATOS PARA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA, EL PRIMERO CORRESPONDE AL EDIFICIO A, MIENTRAS QUE EL SEGUNDO AL EDIFICIO B.

#### 4.3 RESULTADOS DEL ANALISIS.

SE PRESENTAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA CUANDO  $\bar{V}_{10} = 28.0$  - M/SEG , EN LOS SIGUIENTES CASOS:

- (A) EDIFICIO A EN CENTRO DE CIUDAD;
- (B) EDIFICIO B EN CAMPO ABIERTO; Y
- (C) EDIFICIO B EN CENTRO DE CIUDAD.

EN LAS TABLAS IV.8 Y IV.12 SE MUESTRAN LAS FRECUENCIAS, PERÍODOS Y PORCENTAJES DE AMORTIGUAMIENTO CRÍTICOS OBTENIDOS EN LOS ANÁLISIS DINÁMICOS DE LOS EDIFICIOS.

EN LAS FIGURAS 4.3, 4.5 Y 4.7 SE MUESTRAN LOS VIENTOS GENERADOS PARA LOS TRES CASOS EN CONSIDERACIÓN, DONDE SE OBSERVA QUE LA INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA ES BAJA EN CAMPO ABIERTO Y ALTA PARA CENTRO DE CIUDAD. EN LAS TABLAS IV.13 Y IV.16 SE OBSERVA QUE LA CORRELACIÓN ES BUENA, EXCEPTO EN LA TABLA IV.9 DONDE LA CORRELACIÓN ES MUY ALTA, DEBIDO A QUE LA ESCALA DE TURBULENCIA USADA ES MUCHO MAYOR QUE LA ALTURA DEL EDIFICIO. EN LAS FIGURAS 4.11 A 4.14 SE MUESTRAN, PARA DIFERENTES TIEMPOS, LAS FLUCTUACIONES DEL PERFIL DE VELOCIDADES ALREDEDOR DEL PERFIL DE VELOCIDADES MEDIAS,



TIEMPO	ACUMULADO	4	TETA/10
100	9	1	
200	0.005	0.16	112.3, 1°03.0
300	6.4		
400	18.4		
500	20.0		
600	15.5		
700	18.5		
800	18.5		
900	18.5		
1000	18.5		
1100	22.1		
1200	22.0		
1300	0.1		
1400	0.0		
1500	0.0		
1600	0.4		
1700	0.5		
1800	0.6		
1900	0.7		
2000	0.8		
2100	0.9		
2200	1.0		
2300	1.1		
2400	1.2		
2500	1.3		
2600	1.4		
2700	1.5		
2800	1.6		
2900	1.7		
3000	1.8		
3100	1.9		
3200	2.0		
3300	2.1		
3400	2.2		
3500	2.3		
3600	2.4		
3700	2.5		
3800	2.6		
3900	2.7		
4000	2.8		
4100	2.9		
4200	3.0		
4300	3.1		
4400	3.2		
4500	3.3		
4600	3.4		
4700	3.5		
4800	3.6		
4900	3.7		
5000	3.8		
5100	3.9		
5200	4.0		
5300	4.1		
5400	4.2		
5500	4.3		
5600	4.4		
5700	4.5		
5800	4.6		
5900	4.7		
6000	4.8		
6100	4.9		
6200	5.0		
6300	5.1		
6400	5.2		
6500	5.3		
6600	5.4		
6700	5.5		
6800	5.6		
6900	5.7		
7000	5.8		
7100	5.9		
7200	6.0		
7300	6.1		
7400	6.2		
7500	6.3		
7600	6.4		
7700	6.5		
7800	6.6		
7900	6.7		
8000	6.8		
8100	6.9		
8200	7.0		
8300	7.1		
8400	7.2		
8500	7.3		
8600	7.4		
8700	7.5		
8800	7.6		
8900	7.7		
9000	7.8		
9100	7.9		
9200	8.0		
9300	8.1		
9400	8.2		
9500	8.3		
9600	8.4		
9700	8.5		
9800	8.6		
9900	8.7		
10000	8.8		

TABLA IV.7 CAMPO DE DATOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA (EDIFICIO B).

EN LAS TABLAS IV.10, IV.14 Y IV.17 DE FACTORES DE PARTICIPACIÓN MODAL, SE OBSERVA QUE PREDOMINA LA CONTRIBUCIÓN DEL PRIMER MODO - EN LA RESPUESTA TOTAL.

EN LAS FIGURAS 4.4, 4.6 Y 4.8 SE MUESTRAN LOS DESPLAZAMIENTOS DE LOS PISOS DE LOS EDIFICIOS. EN LAS FIGURAS 4.9 Y 4.10 SE MUESTRAN LAS VELOCIDADES Y ACELERACIONES, RESPECTIVAMENTE, PARA LOS PISOS DEL EDIFICIO B EN CENTRO DE CIUDAD, Y LAS TABLAS IV.11, IV.15 Y IV.18 MUESTRAN LOS CORTANTES Y MOMENTOS EÓLICOS EN LAS BASES DE LOS EDIFICIOS A Y B, EN SU VARIACIÓN CON EL TIEMPO.

#### 4.4 DISCUSION DE RESULTADOS.

LOS VIENTOS GENERADOS CON EL MODELO PROPUESTO SON BASTANTE RAZONABLES, PUES LAS CARACTERÍSTICAS DE ESTOS VIENTOS, COMO SON LA VARIANCIA Y LA INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA, CONCUERDAN CON VALORES OBSERVADOS EN VARIOS SITIOS CON TOPOGRAFÍAS DIFERENTES.

EN LAS TABLAS IV.19 A IV.22 SE HAN RESUMIDO LOS RESULTADOS MÁS IMPORTANTES PARA EL INGENIERO ESTRUCTURISTA, DE LOS EDIFICIOS A Y B PARA LAS CONDICIONES EXTREMAS DE EXPOSICIÓN QUE SE HAN CONSIDERADO. EN LAS TABLAS IV.19, IV.21 Y IV.22 SE PUEDE APRECIAR QUE EL COCIENTE  $M_{m\acute{a}x}/M_{est}$  ES APROXIMADAMENTE EL CUADRADO DEL COCIENTE  $V_{m\acute{a}x}/\bar{V}$  Y EL COCIENTE  $Y_{m\acute{a}x}/Y_{est}$  PARECE NO TENER NINGUNA RELACIÓN CON LOS ANTERIORES. EN LA TABLA IV.20 SE OBSERVAN LOS MÁXIMOS VALORES OBTENIDOS PARA LOS COCIENTES  $Y_{m\acute{a}x}/Y_{est}$ ,  $V_{m\acute{a}x}/\bar{V}$  Y  $M_{m\acute{a}x}/M_{est}$ , LOS CUALES CORRESPONDEN AL EDIFICIO A EN CENTRO DE CIUDAD; UNA DE LAS RAZONES POR LA QUE ESTOS COCIENTES DIFIEREN DE LOS OBTENIDOS PARA LOS CASOS RESTANTES, PUEDE SER EL HECHO DE HA-

BER CONSIDERADO EL MISMO VALOR DE  $C_D$  QUE PARA EL EDIFICIO B, -- PUES COMO SE MENCIONÓ EN CAPÍTULOS ANTERIORES, DE OBSERVACIONES - EN EDIFICIOS REALES, SE HA OBTENIDO QUE PARA UNA TOPOGRAFÍA DADA, EL VALOR DE  $C_D$  DEPENDE DE LA ALTURA Y DIMENSIONES TRANSVERSALES - DEL EDIFICIO, SIENDO ESTE TIPO DE MEDICIONES A LA FECHA MUY REDUCIDO.

EN LA ACTUALIDAD DIVERSOS AUTORES DEFINEN COMO "FACTOR DE RÁFAGA" AL COCIENTE  $\frac{Y_{máx}/est}{Y}$ , EL CUAL, EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS, ES DIFERENTE PARA CADA UNA DE LAS MASAS DE LA ESTRUCTURA; ADEMÁS, SI SE CONSIDERA EL VALOR MÁXIMO, O MÍNIMO, O EL PROMEDIO, ÉSTE PARECE NO TENER NINGUNA RELACIÓN CON LOS COCIENTES  $\frac{V_{máx}}{V}$  Y  $\frac{M_{máx}}{M_{est}}$  POR LO QUE DEBERÍA USARSE "OTRO FACTOR DE RÁFAGA" PARA LOS ELEMENTOS MECÁNICOS MÁXIMOS. POR OTRO LADO EL INGENIERO ESTRUCTURISTA ESTÁ PARTICULARMENTE INTERESADO EN DOS ASPECTOS: DEFORMACIONES MÁXIMAS RELATIVAS ENTRE PISOS CONSECUTIVOS Y MÁXIMOS ELEMENTOS MECÁNICOS, LOS CUALES, EXCEPTO RARAS EXCEPCIONES NUNCA PODRÁ ESTIMAR, CON UN PORCENTAJE DE ERROR RAZONABLE USANDO EL CRITERIO ACTUAL DE "FACTOR DE RÁFAGA".

MODO	FRECUENCIA (RAD/SEG)	PERIODO (SEG)	AMORTIGUAMIENTO (EN PORCIENTO)
1	1.8305434	3.4324154	0.05
2	5.1505554	1.2199044	0.025
3	8.0360074	0.78187899	0.02363
4	10.787062	0.58247421	0.02532
5	13.458362	0.46686106	0.02802
6	15.892427	0.39535719	0.03095
7	17.932083	0.35038792	0.03361
8	19.377976	0.3244363	0.03558
9	22.516047	0.27905365	0.04000

TABLA IV.8 FRECUENCIAS, PERÍODOS Y PORCENTAJES DE AMORTIGUAMIENTO CRÍTICOS DE LOS MODOS DE VIBRACIÓN DEL EDIFICIO A.

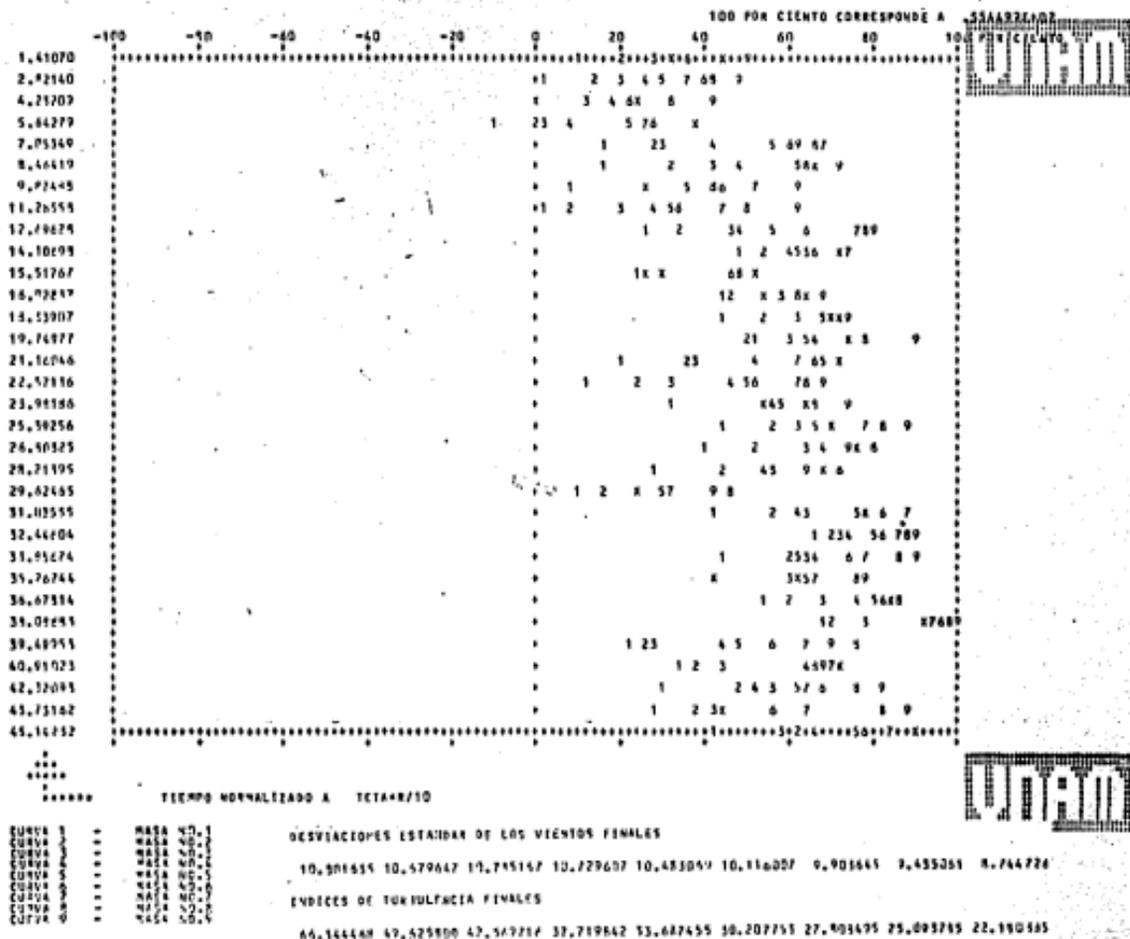


FIGURA 4.3 VIENTOS FINALES PARA EDIFICIO A EN CENTRO DE CIUDAD CON  $\bar{V}_{10} = 28.0$  M/SEG.

MATRIZ DE CORRELACIÓN :

1.000000	0.947495	0.956720	0.944416	0.853213	0.877227	0.876526	0.854120	0.856746
0.947495	1.000000	0.966875	0.935521	0.895850	0.925848	0.920612	0.985750	0.870142
0.956720	0.966875	1.000000	0.953855	0.994797	0.907151	0.901296	0.867675	0.854033
0.944416	0.935521	0.953855	1.000000	0.966409	0.937152	0.920046	0.877490	0.867735
0.853213	0.895850	0.994797	0.966409	1.000000	0.963208	0.925295	0.887028	0.931035
0.877227	0.925848	0.907151	0.937152	0.963208	1.000000	0.962922	0.913621	0.876577
0.876526	0.920612	0.901296	0.920046	0.925295	0.962922	1.000000	0.933947	0.905818
0.854120	0.870142	0.867675	0.867735	0.887028	0.913621	0.933947	1.000000	0.945854
0.856746	0.870142	0.854033	0.867735	0.831035	0.876577	0.905818	0.945854	1.000000

TABLA IV.9 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LOS VIENTOS FINALES DE LA FIGURA 4.3.



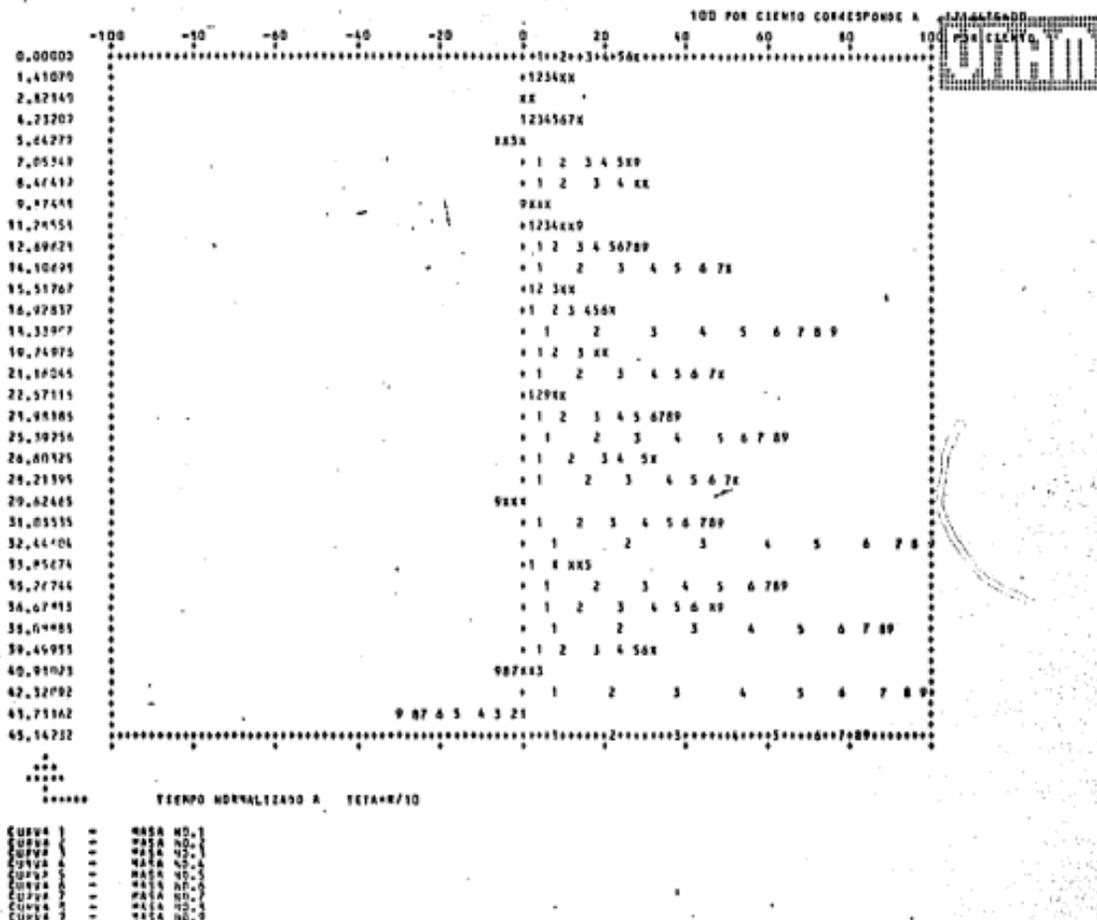


FIGURA 4.4 DESPLAZAMIENTOS DE LAS MASAS DEL EDIFICIO A EN CENTRO DE CIUDAD CON  $\bar{V}_{10} = 28.0$  M/SEG.

\*\*\*\*\*  
 MOMENTOS DE VOLTEO  
 \*\*\*\*\*

T	VE	MV	PTO. APL. VE
1	.277677E+02	.442256E+03	15.3955
2	.111833E+02	.182502E+03	16.3351
3	.914633E+01	.155544E+03	14.9647
4	.452550E+01	.812211E+02	17.9647
5	.472455E+01	.495514E+02	13.9553
6	.244455E+02	.395977E+02	16.3351
7	.257777E+02	.442256E+03	15.3955
8	.111833E+02	.182502E+03	16.3351
9	.112351E+02	.183555E+03	17.4351
10	.324944E+02	.535555E+03	16.2222
11	.324944E+02	.535555E+03	14.4351
12	.153355E+02	.222222E+03	15.5055
13	.309777E+02	.433745E+03	14.1455
14	.403030E+02	.588777E+03	14.2355
15	.422766E+02	.617777E+03	14.7142
16	.302755E+02	.475447E+03	15.7199
17	.227755E+02	.375447E+03	16.4599
18	.732277E+01	.468447E+03	14.5599
19	.552266E+02	.567777E+03	14.7599
20	.445151E+02	.455744E+03	14.5499
21	.344412E+02	.507744E+03	14.5499
22	.811136E+01	.135599E+03	16.4599
23	.481074E+02	.707999E+03	14.7199
24	.585448E+02	.822999E+03	14.7199
25	.455448E+02	.655555E+03	14.7199
26	.362290E+02	.533777E+03	14.7199
27	.542290E+02	.734666E+03	14.4599
28	.733222E+02	.113433E+04	14.2990
29	.255054E+02	.422274E+03	15.3774
30	.354577E+02	.531443E+03	14.9899
31	.352297E+02	.532257E+03	15.1955
32	.294311E+02	.433874E+03	16.5066
33	.509990E+02	.757575E+03	15.047

TABLA IV.11 VARIACIÓN DE CORTANTES Y MOMENTOS EÓLICOS EN LA BASE DEL EDIFICIO A EN CENTRO DE CIUDAD CON  $V_{10} = 28.0$  M/SEG.

MODO	FRECUENCIA (RAD/SEG)	PERIODO (SEG)	AMORTIGUAMIENTO (EN PORCIENTO)
1	1.1247388	5.5863508	0.015
2	3.1165260	2.0160863	0.0075
3	4.8472686	1.2962321	0.007011
4	6.5275296	0.9625671	0.007460
5	8.3709682	0.75059243	0.008343
6	10.138838	0.61971455	0.009372
7	11.892550	0.5283295	0.010491
8	13.598002	0.4620668	0.011637
9	22.301049	0.2817439	0.017880

**TABLA IV.12** FRECUENCIAS, PERÍODOS Y PORCENTAJES DE AMORTIGUAMIENTO  
 CRÍTICOS DE LOS MODOS DE VIBRACIÓN DEL EDIFICIO B.



MATRIZ DE CORRELACION :

1.000000	0.926212	0.701397	0.780182	0.574652	0.610102	0.489359	0.643348	0.417721
0.926937	1.000000	0.896345	0.701655	0.672506	0.667757	0.531686	0.600795	0.337073
0.701397	0.896345	1.000000	0.911378	0.657485	0.577520	0.503254	0.659054	0.373856
0.780182	0.701655	0.911378	1.000000	0.795622	0.743513	0.659257	0.638792	0.395125
0.574652	0.672306	0.657485	0.795622	1.000000	0.555458	0.729655	0.596776	0.379011
0.610102	0.667757	0.672820	0.746513	0.565555	1.000000	0.553180	0.446465	0.473721
0.489359	0.531686	0.593254	0.659257	0.729655	0.553180	1.000000	0.767258	0.691464
0.643348	0.600795	0.659054	0.638192	0.596776	0.646465	0.767258	1.000000	0.829041
0.417721	0.337073	0.373856	0.396105	0.378011	0.473721	0.691464	0.829041	1.000000

TABLA IV.13 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LOS VIENTOS FINALES DE LA FIGURA 4.5.

\*\*\*\*\*  
 FACTORES DE PARTICIPACION  
 \*\*\*\*\*

T	MODO 1	MODO 2	MODO 3	MODO 4	MODO 5	MODO 6	MODO 7	MODO 8	MODO 9
0	80947-08	87931-32	10295-02	72277-01	72655-01	16700-01	77230-04	88736-04	75858-04
1	32711-01	51501-01	17679-04	65227-01	15547-01	18241-01	88437-04	14011-04	70972-04
2	5102-01	5102-01	1144-01	1144-01	1144-01	1144-01	1144-01	1144-01	1144-01
3	31121-01	57777-02	25571-03	27470-01	25111-01	35511-01	71500-04	71500-04	59542-04
4	53301-01	77310-01	22471-03	22157-01	25517-01	19741-01	80910-04	57340-04	55740-04
5	24001-01	24047-01	14441-01	14441-01	14441-01	14441-01	14441-01	14441-01	14441-01
6	4101-01	77370-04	21100-01	10071-01	10071-01	10071-01	10071-01	10071-01	10071-01
7	12021-01	24111-01	11420-01	55551-01	77747-01	77747-01	77747-01	77747-01	77747-01
8	12021-01	85051-04	17551-01	84850-01	73001-01	73001-01	73001-01	73001-01	73001-01
9	7411-01	77371-02	14420-01	10031-01	77371-01	77371-01	77371-01	77371-01	77371-01
10	4101-01	21272-02	11817-01	79771-01	72277-01	72277-01	72277-01	72277-01	72277-01
11	12021-01	21272-02	11817-01	79771-01	72277-01	72277-01	72277-01	72277-01	72277-01
12	77747-01	61210-02	24571-01	70750-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01
13	77747-01	61210-02	24571-01	70750-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01
14	77747-01	61210-02	24571-01	70750-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01
15	72641-01	61210-02	24571-01	70750-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01
16	72641-01	61210-02	24571-01	70750-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01
17	72641-01	61210-02	24571-01	70750-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01
18	04571-01	61210-02	24571-01	70750-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01	70201-01
19	05271-01	71111-01	77071-01	40271-01	25471-01	25471-01	25471-01	25471-01	25471-01
20	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
21	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
22	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
23	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
24	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
25	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
26	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
27	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
28	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
29	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
30	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
31	72741-01	51251-01	12511-01	55271-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01	10771-01
32	02837-01	71411-02	10520-04	72310-01	31291-01	28960-01	74542-04	54711-04	89210-04

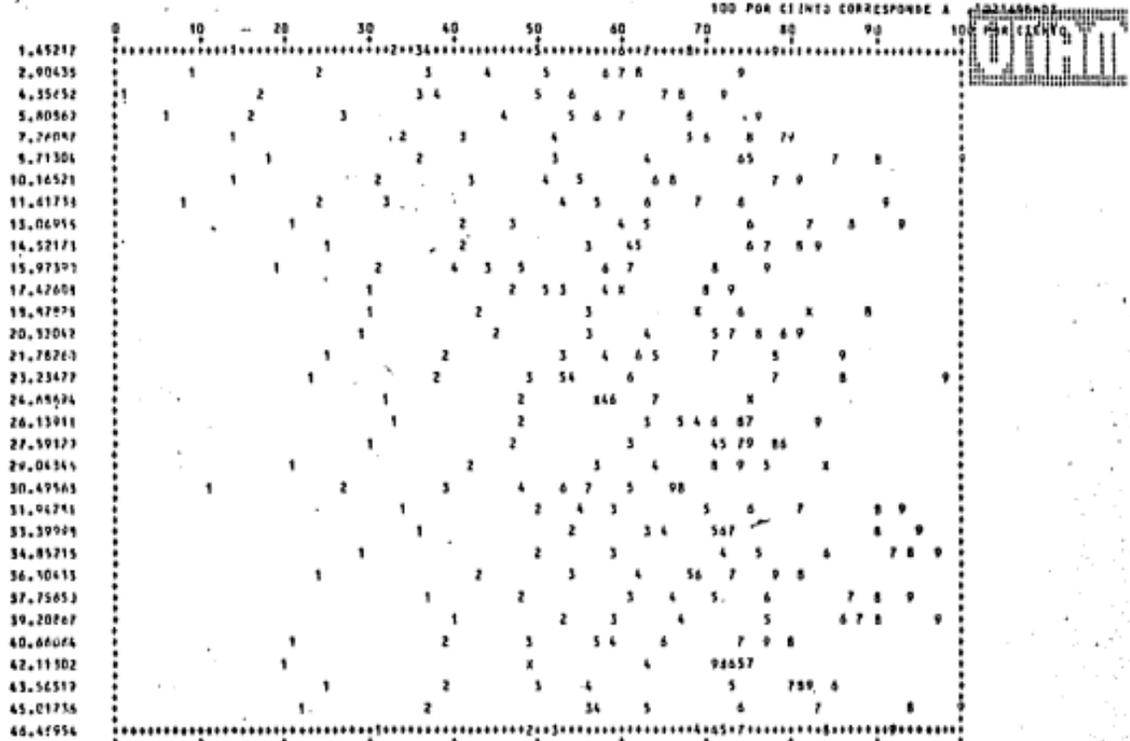
TABLA IV.14 FACTORES DE PARTICIPACION PARA EL EDIFICIO B, EN CAMPO ABIERTO CON  $V_{10} = 28.0$  M/SEG.



\*\*\*\*\*  
 MOMENTOS DE VOLTEO  
 \*\*\*\*\*

T	VE	MV	PTO. APL. VE
1	274335E+02	272279	92.582
2	25549E+02	214557	95.144
3	255256E+02	204133	94.862
4	207327E+02	200336	98.088
5	211077E+02	207729	98.533
6	240213E+02	255597	94.394
7	232673E+02	252246	97.070
8	255613E+02	254455	25.107
9	255333E+02	254127	20.631
10	255333E+02	254127	25.743
11	1435E+02	226292	21.395
12	20476E+02	215391	23.559
13	203205E+02	227122	26.560
14	242977E+02	207729	20.876
15	274335E+02	244320	42.558
16	277744E+02	272279	27.975
17	255355E+02	252246	25.757
18	255355E+02	252246	25.757
19	255355E+02	252246	25.757
20	255355E+02	252246	25.757
21	255355E+02	252246	25.757
22	255355E+02	252246	25.757
23	255355E+02	252246	25.757
24	255355E+02	252246	25.757
25	255355E+02	252246	25.757
26	255355E+02	252246	25.757
27	255355E+02	252246	25.757
28	255355E+02	252246	25.757
29	255355E+02	252246	25.757
30	255355E+02	252246	25.757
31	255355E+02	252246	25.757
32	255355E+02	252246	25.757
33	255355E+02	252246	25.757
34	255355E+02	252246	25.757
35	255355E+02	252246	25.757
36	255355E+02	252246	25.757
37	255355E+02	252246	25.757
38	255355E+02	252246	25.757
39	255355E+02	252246	25.757
40	255355E+02	252246	25.757
41	255355E+02	252246	25.757
42	255355E+02	252246	25.757
43	255355E+02	252246	25.757
44	255355E+02	252246	25.757
45	255355E+02	252246	25.757
46	255355E+02	252246	25.757
47	255355E+02	252246	25.757
48	255355E+02	252246	25.757
49	255355E+02	252246	25.757
50	255355E+02	252246	25.757

TABLA IV.15 VARIACIÓN DE CORTANTES Y MOMENTOS EÓLICOS EN LA BASE DEL EDIFICIO B EN CAMPO ABIERTO CON  $V_{10} = 28.0$  M/SEG.



\*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

TIEMPO NORMALIZADO A TETA/10

EURVA 1 = W58 N0-0  
 EURVA 2 = W58 N0-0  
 EURVA 3 = W58 N0-0  
 EURVA 4 = W58 N0-0  
 EURVA 5 = W58 N0-0  
 EURVA 6 = W58 N0-0  
 EURVA 7 = W58 N0-0  
 EURVA 8 = W58 N0-0  
 EURVA 9 = W58 N0-0

DESVIACIONES ESTANDBN DE LOS VIENTOS FINALES  
 9.905159 10.302599 2.354576 9.221743 9.383749 9.719056 9.552727 9.467902 9.053860  
 INDICES DE TURBULENCIA FINALES  
 42.376556 79.527245 10.744106 16.449033 16.361349 13.707455 12.596784 11.770314 81.654758

FIGURA 4.7 VIENTOS FINALES PARA EDIFICIO B EN CENTRO DE CIUDAD CON  $\bar{V}_{10} = 28.0$  M/SEG.

MATRIZ DE CORRELACION :

1.000000	0.957013	0.902292	0.760376	0.572853	0.606453	0.491344	0.640414	0.415457
0.957013	1.077770	0.901225	0.977014	0.657213	0.655629	0.536370	0.406734	0.352907
0.902292	0.901225	1.000000	0.711612	0.454477	0.672449	0.545923	0.656420	0.371563
0.760376	0.977014	0.711612	1.000000	0.777045	0.744067	0.664250	0.640304	0.397108
0.572853	0.657213	0.454477	0.777045	1.000000	0.567093	0.755018	0.601430	0.577814
0.606453	0.655629	0.672449	0.744067	0.567093	1.000000	0.654644	0.645829	0.466777
0.491344	0.536370	0.545923	0.664250	0.755018	0.654644	1.000000	0.772265	0.663760
0.640414	0.406734	0.656420	0.640304	0.601430	0.645829	0.772265	1.000000	0.832939
0.415457	0.352907	0.371563	0.397108	0.577814	0.466777	0.663760	0.832939	1.000000

TABLA IV.16 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LOS VIENTOS FINALES DE LA FIGURA 4.7.

\*\*\*\*\*  
 FACTORES DE PARTICIPACION  
 \*\*\*\*\*

	MOD0 1	MOD0 2	MOD0 3	MOD0 4	MOD0 5	MOD0 6	MOD0 7	MOD0 8	MOD0 9
0	19557+02	24518-01	48632-02	24492-02	11577-02	62512-01	11078-01	41222-03	22352-03
1	18131+00	74118-01	43251-02	44192-02	27211-01	55241-01	25101-02	26018-02	66212-02
2	10571+00	12717-02	48271-02	14411-02	92261-03	17272-01	9218-01	12018-01	66212-02
3	9217+05	18818-01	11101-02	11101-02	24161-01	52167-01	24167-01	24167-01	66212-02
4	17451+02	24117-01	16421-02	14101-02	12911-01	52167-01	24167-01	24167-01	66212-02
5	17021+04	12271-02	65121-02	13331-02	17131-02	35170-01	44292-01	44292-01	66212-02
6	15517+00	27161-01	43271-02	23371-02	14271-02	72122-01	12121-02	17121-02	66212-02
7	15241+00	27161-01	43271-02	23371-02	14271-02	72122-01	12121-02	17121-02	66212-02
8	21121+00	65071-01	65071-01	13722-02	14222-02	24271-01	27271-01	24145-01	66212-02
9	13242+00	24271-01	43671-02	22271-02	12401-02	62127-01	24271-01	24271-01	66212-02
10	15271+00	16271-01	43671-02	14811-02	24271-01	43671-01	16271-01	16271-01	66212-02
11	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
12	21271+00	22271-01	43271-02	20111-02	16511-02	21271-01	24401-01	10271-01	66212-02
13	19371+05	97471-01	43111-02	14811-02	24271-01	43671-01	16271-01	16271-01	66212-02
14	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
15	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
16	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
17	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
18	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
19	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
20	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
21	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
22	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
23	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
24	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
25	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
26	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
27	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
28	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
29	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
30	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
31	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02
32	17411+00	18111-01	75141-02	21111-02	11111-01	52551-01	24141-01	24141-01	66212-02

TABLA IV.17 FACTORES DE PARTICIPACION PARA EL EDIFICIO B, EN CENTRO DE CIUDAD CON  $V_{10} = 28.0$  M/SEG.



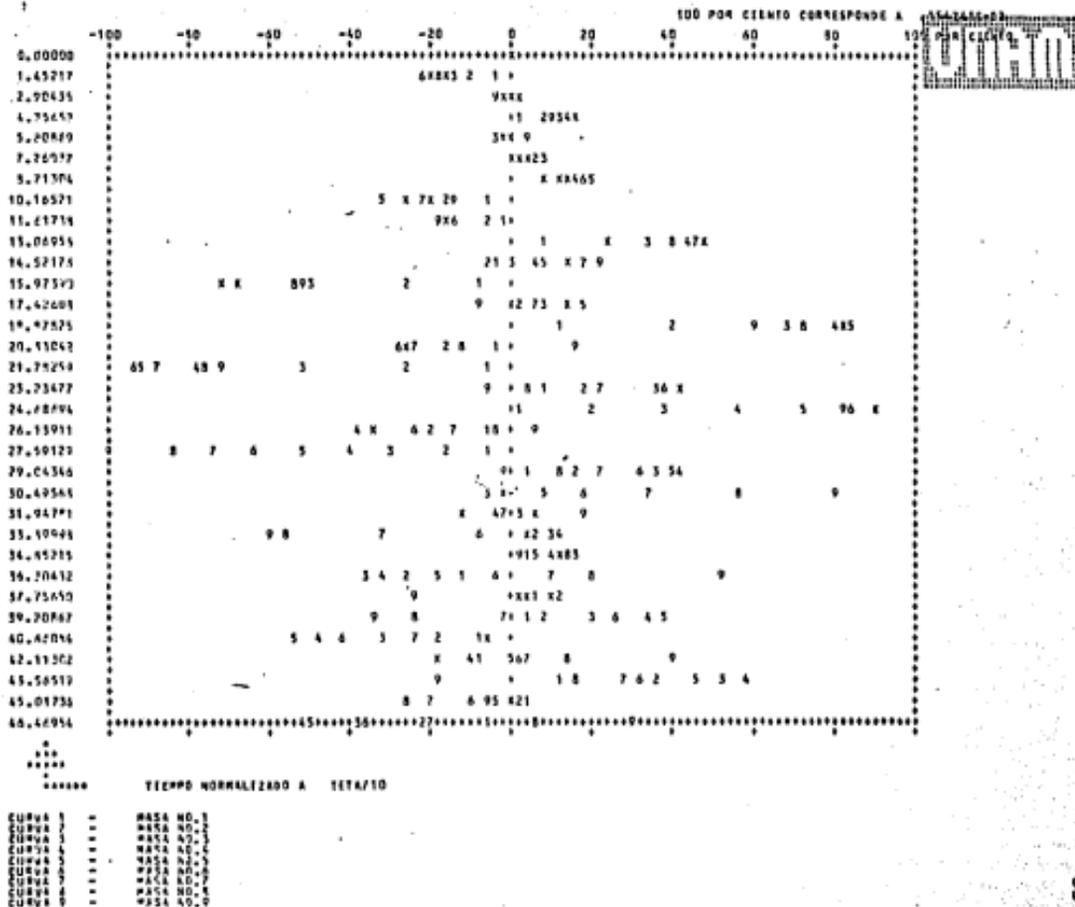


FIGURA 4.9 VELOCIDADES DE LAS MASAS DEL EDIFICIO B EN CENTRO DE CIUDAD CON  $\bar{V}_{10} = 28.0$  M/SEG.

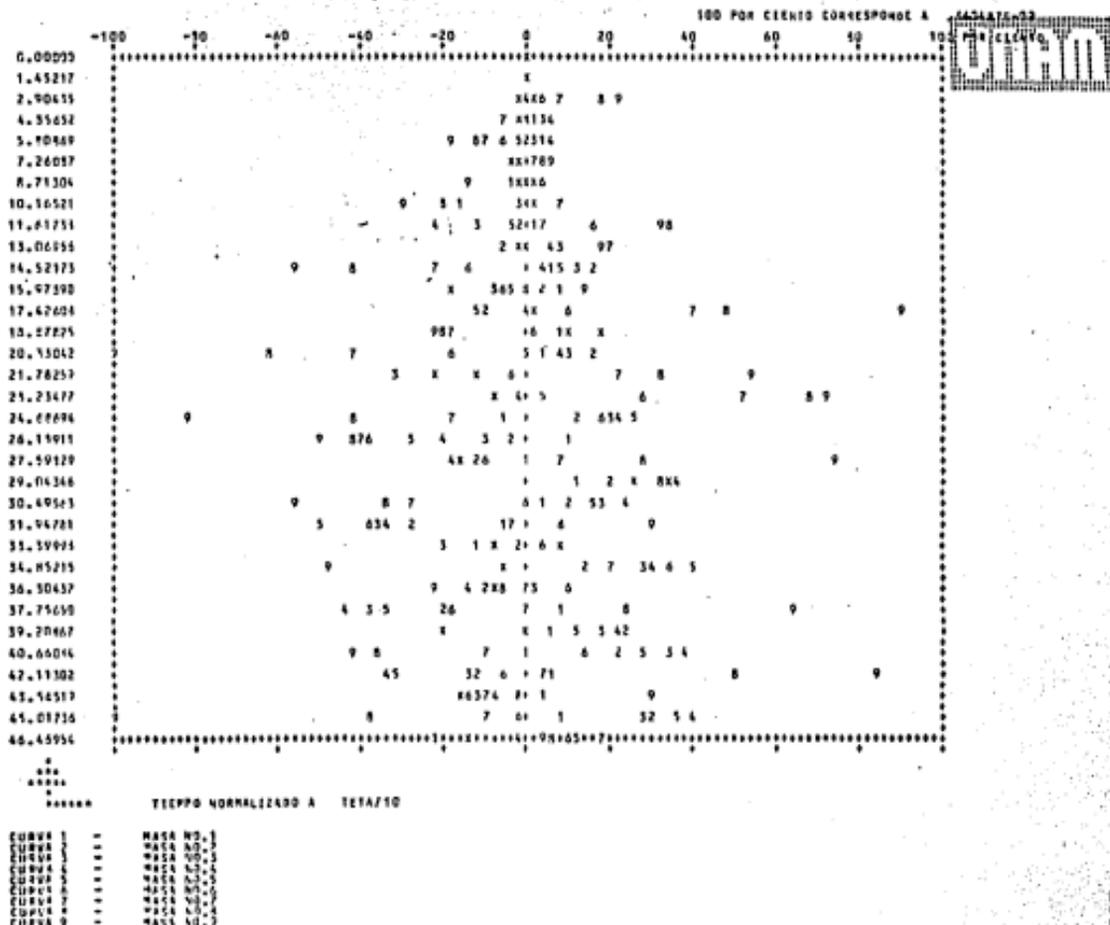


FIGURA 4.10 ACCELERACIONES DE LAS MASAS DEL EDIFICIO B EN CENTRO DE CIUDAD CON  $V_{10} = 28.0$  M/SEG.

\*\*\*\*\*  
 MOMENTOS DE VOLTEO  
 \*\*\*\*\*

T	VE	MV	PTO. APL. VE
1	3769992E+02	3704235E+04	104.267
2	5722000E+02	5632333E+04	113.457
3	5326555E+02	5227944E+04	109.517
4	5137555E+02	5055555E+04	117.057
5	5373999E+02	5100000E+04	113.406
6	7477777E+02	7422222E+04	106.916
7	1045577E+02	1122222E+04	103.175
8	4422222E+02	4422222E+04	107.284
9	4213000E+02	4222222E+04	113.506
10	4422222E+02	4422222E+04	107.572
11	4422222E+02	4422222E+04	102.515
12	4422222E+02	4422222E+04	108.674
13	4422222E+02	4422222E+04	97.554
14	4422222E+02	4422222E+04	102.027
15	4422222E+02	4422222E+04	99.277
16	4422222E+02	4422222E+04	102.225
17	4422222E+02	4422222E+04	103.015
18	4422222E+02	4422222E+04	110.503
19	4422222E+02	4422222E+04	97.267
20	4422222E+02	4422222E+04	94.631
21	4422222E+02	4422222E+04	94.631
22	4422222E+02	4422222E+04	95.555
23	4422222E+02	4422222E+04	105.271
24	4422222E+02	4422222E+04	105.271
25	4422222E+02	4422222E+04	105.271
26	4422222E+02	4422222E+04	105.271
27	4422222E+02	4422222E+04	105.271
28	4422222E+02	4422222E+04	105.271
29	4422222E+02	4422222E+04	105.271
30	4422222E+02	4422222E+04	105.271
31	4422222E+02	4422222E+04	105.271
32	4422222E+02	4422222E+04	105.271
33	4422222E+02	4422222E+04	105.271
34	4422222E+02	4422222E+04	105.271
35	4422222E+02	4422222E+04	105.271
36	4422222E+02	4422222E+04	105.271
37	4422222E+02	4422222E+04	105.271
38	4422222E+02	4422222E+04	105.271
39	4422222E+02	4422222E+04	105.271
40	4422222E+02	4422222E+04	105.271
41	4422222E+02	4422222E+04	105.271
42	4422222E+02	4422222E+04	105.271
43	4422222E+02	4422222E+04	105.271
44	4422222E+02	4422222E+04	105.271
45	4422222E+02	4422222E+04	105.271
46	4422222E+02	4422222E+04	105.271
47	4422222E+02	4422222E+04	105.271
48	4422222E+02	4422222E+04	105.271
49	4422222E+02	4422222E+04	105.271
50	4422222E+02	4422222E+04	105.271
51	4422222E+02	4422222E+04	105.271
52	4422222E+02	4422222E+04	105.271
53	4422222E+02	4422222E+04	105.271
54	4422222E+02	4422222E+04	105.271
55	4422222E+02	4422222E+04	105.271
56	4422222E+02	4422222E+04	105.271
57	4422222E+02	4422222E+04	105.271
58	4422222E+02	4422222E+04	105.271
59	4422222E+02	4422222E+04	105.271
60	4422222E+02	4422222E+04	105.271
61	4422222E+02	4422222E+04	105.271
62	4422222E+02	4422222E+04	105.271
63	4422222E+02	4422222E+04	105.271
64	4422222E+02	4422222E+04	105.271
65	4422222E+02	4422222E+04	105.271
66	4422222E+02	4422222E+04	105.271
67	4422222E+02	4422222E+04	105.271
68	4422222E+02	4422222E+04	105.271
69	4422222E+02	4422222E+04	105.271
70	4422222E+02	4422222E+04	105.271
71	4422222E+02	4422222E+04	105.271
72	4422222E+02	4422222E+04	105.271
73	4422222E+02	4422222E+04	105.271
74	4422222E+02	4422222E+04	105.271
75	4422222E+02	4422222E+04	105.271
76	4422222E+02	4422222E+04	105.271
77	4422222E+02	4422222E+04	105.271
78	4422222E+02	4422222E+04	105.271
79	4422222E+02	4422222E+04	105.271
80	4422222E+02	4422222E+04	105.271
81	4422222E+02	4422222E+04	105.271
82	4422222E+02	4422222E+04	105.271
83	4422222E+02	4422222E+04	105.271
84	4422222E+02	4422222E+04	105.271
85	4422222E+02	4422222E+04	105.271
86	4422222E+02	4422222E+04	105.271
87	4422222E+02	4422222E+04	105.271
88	4422222E+02	4422222E+04	105.271
89	4422222E+02	4422222E+04	105.271
90	4422222E+02	4422222E+04	105.271
91	4422222E+02	4422222E+04	105.271
92	4422222E+02	4422222E+04	105.271
93	4422222E+02	4422222E+04	105.271
94	4422222E+02	4422222E+04	105.271
95	4422222E+02	4422222E+04	105.271
96	4422222E+02	4422222E+04	105.271
97	4422222E+02	4422222E+04	105.271
98	4422222E+02	4422222E+04	105.271
99	4422222E+02	4422222E+04	105.271
100	4422222E+02	4422222E+04	105.271
101	4422222E+02	4422222E+04	105.271

TABLA IV.18 VARIACIÓN DE CORTANTES Y MOMENTOS EÓLICOS EN LA BASE DEL EDIFICIO B EN CENTRO DE CIUDAD CON  $V_{10} = 28.0$  M/SEG.

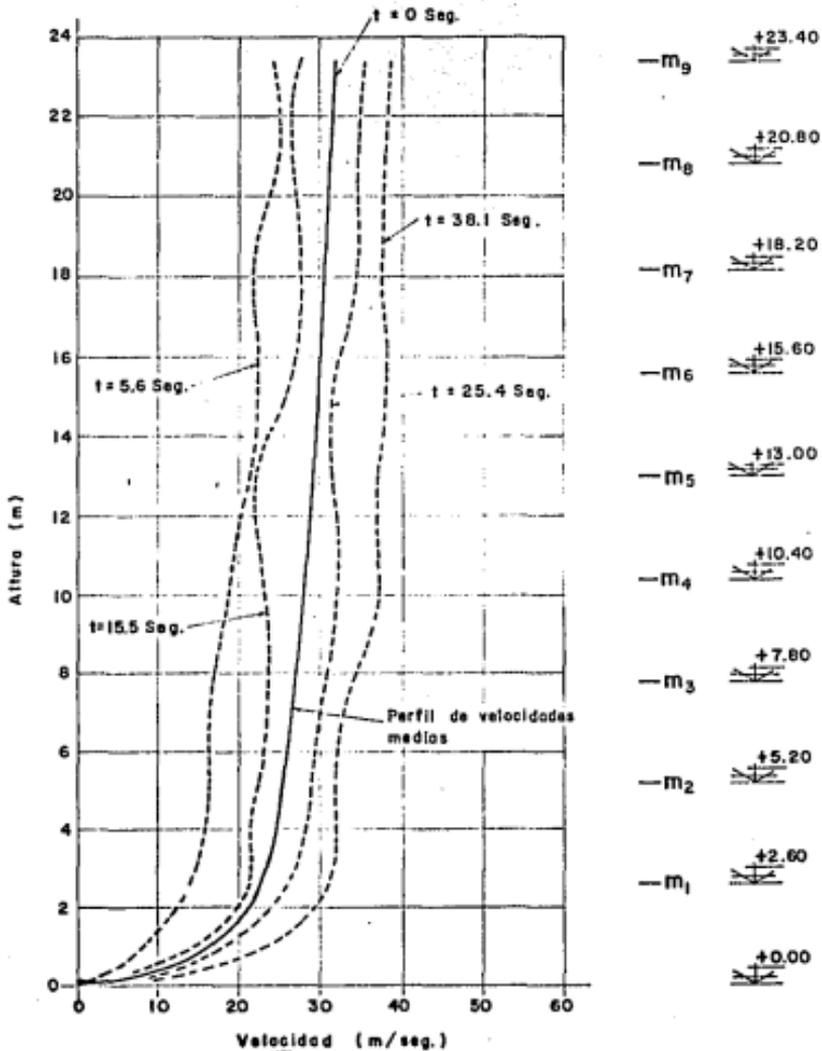


Figura 4.11 Fluctuaciones del perfil de velocidades, edificio A en campo abierto con  $\bar{V}_{10} = 28.0$  m/seg.

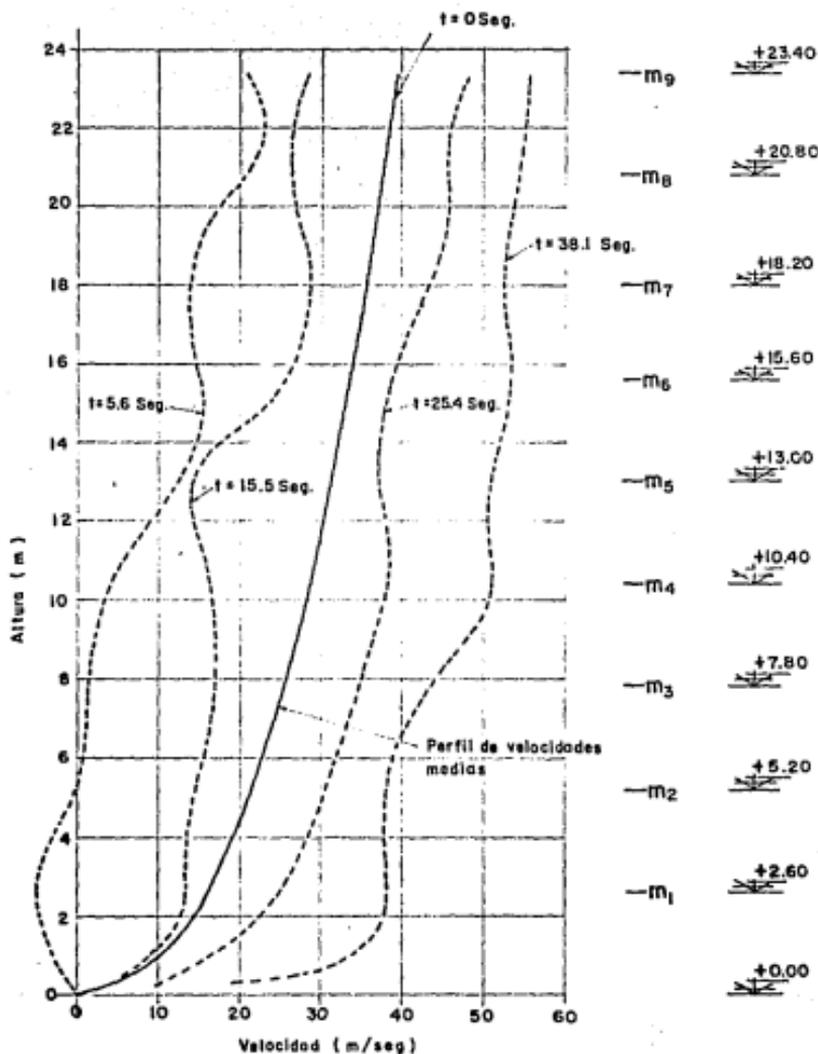


Figura 4.12 Fluctuaciones del perfil de velocidades, edificio A en centro de ciudad con  $\bar{V}_{10}=28.0$  m/seg.

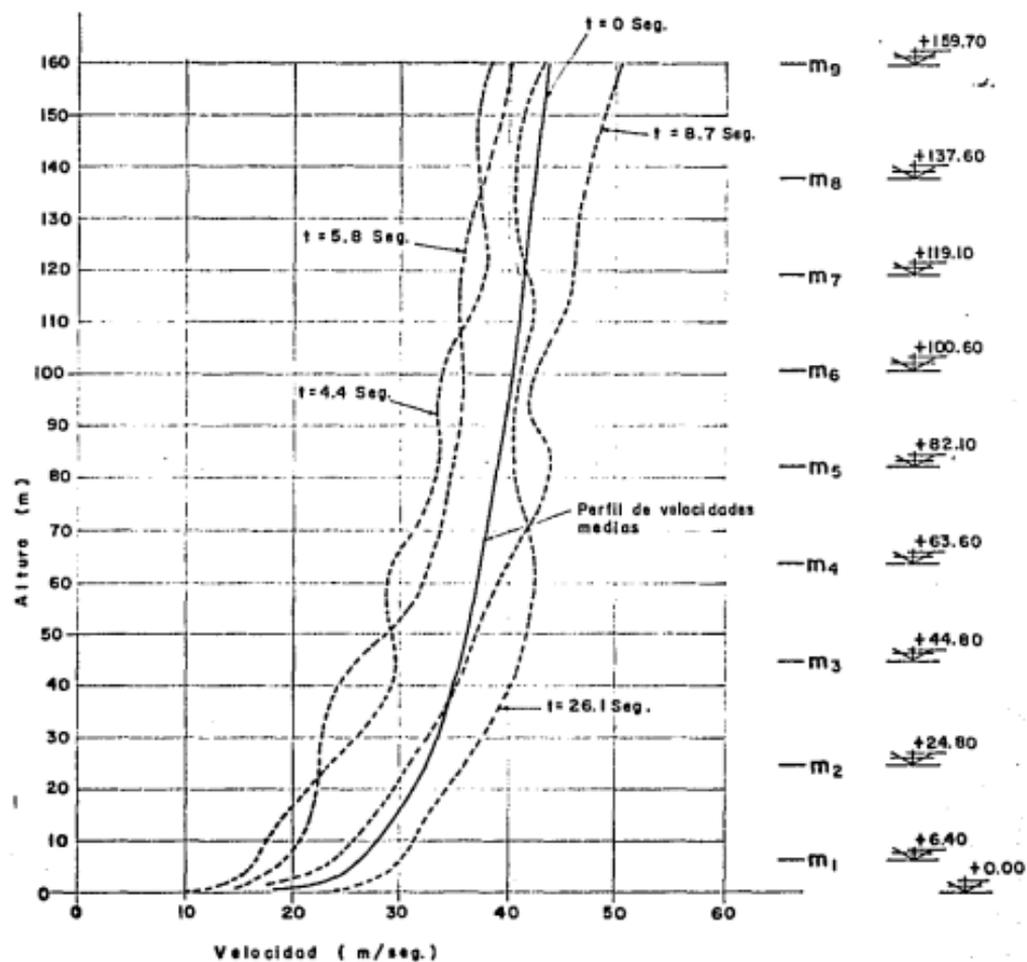


Figura 4.13 Fluctuaciones del perfil de velocidades, edificio B en campo abierto con  $\bar{V}_{10} = 28.0$  m/seg.

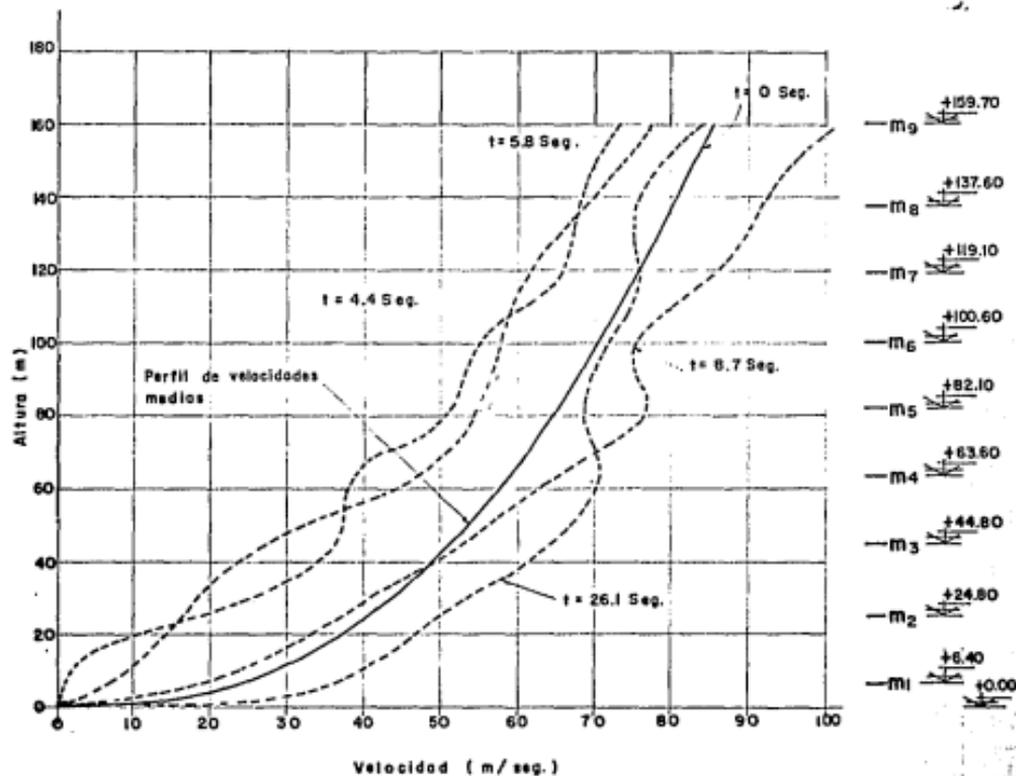


Figura 4.14 Fluctuaciones del perfil de velocidades, edificio B en centro de ciudad con  $\bar{V}_{10} = 28.0$  m/seg.

EDIFICIO BAJO EN CAMPO ABIERTO				
	$\bar{V}_{10} = 9.13 \text{ M/SEG.}$		$\bar{V}_{10} = 28.0 \text{ M/SEG.}$	
MASA No.	$\frac{Y_{m\acute{a}x}}{Y_{est}}$	$\frac{V_{m\acute{a}x}}{\bar{V}}$	$\frac{Y_{m\acute{a}x}}{Y_{est}}$	$\frac{V_{m\acute{a}x}}{\bar{V}}$
1	1.76	1.40	1.75	1.40
2	1.78	1.27	1.77	1.28
3	1.82	1.29	1.81	1.28
4	1.85	1.32	1.84	1.32
5	1.89	1.27	1.88	1.27
6	1.93	1.28	1.91	1.27
7	1.96	1.23	1.94	1.22
8	1.99	1.23	1.97	1.21
9	2.01	1.23	2.00	1.20
	$\frac{VE_{m\acute{a}x}}{VE_{est}} = 1.61$		$\frac{VE_{m\acute{a}x}}{VE_{est}} = 1.59$	
	$\frac{M_{m\acute{a}x}}{M_{est}} = 1.58$		$\frac{M_{m\acute{a}x}}{M_{est}} = 1.55$	

TABLA IV.19.

## EDIFICIO BAJO EN CENTRO DE CIUDAD

	$\bar{V}_{10} = 9.13 \text{ M/SEG.}$		$\bar{V}_{10} = 28.0 \text{ M/SEG.}$	
MASA No.	$\frac{Y_{max}}{Y_{est}}$	$\frac{V_{max}}{\bar{V}}$	$\frac{Y_{max}}{Y_{est}}$	$\frac{V_{max}}{\bar{V}}$
1	2.80	2.35	2.66	2.34
2	2.83	1.78	2.73	1.81
3	2.89	1.75	2.84	1.72
4	2.98	1.77	2.96	1.79
5	3.10	1.63	3.09	1.63
6	3.22	1.61	3.20	1.59
7	3.33	1.49	3.31	1.47
8	3.42	1.47	3.40	1.44
9	3.49	1.46	3.47	1.41
	$\frac{VE_{max}}{VE_{est}} = 2.60$		$\frac{VE_{max}}{VE_{est}} = 2.54$	
	$\frac{M_{max}}{M_{est}} = 2.43$		$\frac{M_{max}}{M_{est}} = 2.36$	

TABLA IV.20.

EDIFICIO ALTO EN CAMPO ABIERTO				
	$V_{10} = 9.13 \text{ M/SEG.}$		$V_{10} = 28.0 \text{ M/SEG.}$	
MASA No.	$\frac{Y_{\text{máx}}}{Y_{\text{est}}}$	$\frac{V_{\text{máx}}}{\bar{V}}$	$\frac{Y_{\text{máx}}}{Y_{\text{est}}}$	$\frac{V_{\text{máx}}}{\bar{V}}$
1	1.64	1.30	1.57	1.28
2	1.69	1.19	1.61	1.19
3	1.76	1.16	1.68	1.15
4	1.82	1.15	1.74	1.15
5	1.87	1.15	1.79	1.15
6	1.93	1.18	1.84	1.18
7	1.97	1.18	1.88	1.18
8	2.01	1.17	1.91	1.15
9	2.06	1.16	1.96	1.16
	$\frac{VE_{\text{máx}}}{VE_{\text{est}}} = 1.33$ $\frac{M_{\text{máx}}}{M_{\text{est}}} = 1.33$		$\frac{VE_{\text{máx}}}{VE_{\text{est}}} = 1.31$ $\frac{M_{\text{máx}}}{M_{\text{est}}} = 1.32$	

TABLA IV.21

EDIFICIO ALTO EN CENTRO DE CIUDAD				
	$\bar{V}_{10} = 9.13 \text{ M/SEG.}$		$\bar{V}_{10} = 28.0 \text{ M/SEG.}$	
MASA No.	$\frac{Y_{max}}{Y_{est}}$	$\frac{V_{max}}{\bar{V}}$	$\frac{Y_{max}}{Y_{est}}$	$\frac{V_{max}}{\bar{V}}$
1	1.82	1.80	1.72	1.76
2	1.90	1.37	1.79	1.36
3	2.02	1.27	1.91	1.26
4	2.14	1.24	2.02	1.24
5	2.25	1.24	2.12	1.21
6	2.36	1.26	2.23	1.24
7	2.46	1.24	2.32	1.24
8	2.54	1.22	2.39	1.20
9	2.70	1.20	2.54	1.20
	$\frac{VE_{max}}{VE_{est}} = 1.48$ $\frac{M_{max}}{M_{est}} = 1.47$		$\frac{VE_{max}}{VE_{est}} = 1.46$ $\frac{M_{max}}{M_{est}} = 1.45$	

TABLA IV.22.

## 5. COMENTARIOS FINALES

ALGUNOS AUTORES PROPONEN EL USO DE LA LEY LOGARÍTMICA EN LUGAR DE LA LEY DE POTENCIA, PARA OBTENER EL PERFIL DE VELOCIDADES MEDIAS. SE HA ENCONTRADO QUE LA DIFERENCIA QUE SE OBTIENE CON ESTAS LEYES, PARA ALTURAS DE ALREDEDOR DE 200 M, ES MENOR DEL 5% PARA TERRENOS CON TOPOGRAFÍAS SIMILARES, SIENDO ADEMÁS LA LEY DE POTENCIA DE MÁS FÁCIL MANEJO. AL USAR LA LEY DE POTENCIA, SOLO SE REQUIERE DE DOS PARÁMETROS,  $\bar{V}_0$  Y  $CC$ , PARA DEFINIR EL PERFIL DE VELOCIDADES MEDIAS Y CARACTERÍSTICAS DE LA TURBULENCIA EN UN SITIO DADO. EXISTEN MEDICIONES EN CAMPO ABIERTO EN DIVERSOS PAÍSES, CON LAS QUE HAN LLEGADO A ESTABLECER LOS VALORES DE ESTOS PARÁMETROS; SIN EMBARGO, PARA SITIOS COMO SON ZONAS SUBURBANAS O CENTROS DE CIUDADES GRANDES, LAS MEDICIONES SON MUY ESCASAS, Y LOS VALORES QUE HAN SIDO PUBLICADOS, SE HAN OBTENIDO GENERALMENTE DURANTE VIENTOS FUERTES, EN DIFERENTES ALTURAS Y SITIOS DE UNA MISMA CIUDAD.

ÁCERCA DE LAS PROPIEDADES TEMPORALES Y ESPACIALES DE LAS RÁFAGAS, EXISTEN POCAS MEDICIONES DE VIENTOS REALES, Y LA MAYOR PARTE

DE LAS QUE SE HAN REALIZADO, LO HAN SIDO EN CAMPO ABIERTO.

EL MODELO USADO PARA REPRESENTAR LA TURBULENCIA ATMOSFÉRICA - CERCA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA, CONSIDERA UN FLUJO MEDIO CU YA VELOCIDAD AUMENTA CON LA ALTURA, Y AL CUAL SE LE SUPERPONEN LAS FLUCTUACIONES DE LA TURBULENCIA. ESTE MODELO ADMITE UN TRATAMIENTO ESTADÍSTICO, Y DE OTROS MÉTODOS DE ANÁLISIS USADOS EN PROBLEMAS QUE INVOLUCRAN FENÓMENOS ALEATORIOS. EL VIENTO ES SIMULADO COMO UN PROCESO ESTOCÁSTICO, ESTACIONARIO Y ERGÓDICO. -- ASÍ, LAS PROPIEDADES DEL VIENTO PERMITEN UNA MEJOR SIMULACIÓN, Y LOS RESULTADOS DE PRUEBAS DE TÚNEL DE VIENTO PUEDEN SER ESCALADOS A SITUACIONES DE ESTRUCTURAS REALES. ESTE MODELO, QUE ES EL UTILIZADO EN EL PRESENTE TRABAJO PARA GENERAR VIENTOS, PROPORCIONA BUENOS RESULTADOS, PUES DE ACUERDO A MEDICIONES RECIENTES, LOS VIENTOS GENERADOS SÍ REPRESENTAN DIFERENTES CONDICIONES DE EXPOSICIÓN DE UNA ESTRUCTURA.

UNA APROXIMACIÓN MÁS RACIONAL RELACIONARÍA LAS PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DE LAS CARGAS ALEATORIAS CON LAS PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL, PERO ES DIFÍCIL ASEGURAR QUE LA APROXIMACIÓN OBTENIDA CON ESTE MÉTODO SEA MEJOR, DEBIDO A QUE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA DETERMINAR ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES QUE CARACTERIZAN AL VIENTO SON MUY REDUCIDAS.

ENTRE LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FUERZAS PROVOCADAS POR EL VIENTO SOBRE LAS ESTRUCTURAS ESTÁN: LA VELOCIDAD MEDIA DE DISEÑO A 10 M DE ALTURA, EL VALOR DEL EXPONENTE

TE  $C_D$ , EL VALOR DEL COEFICIENTE DE PRESIÓN TOTAL ( $C_D$ ) Y EL VALOR DE LA ADMITANCIA AERODINÁMICA ( $\chi_a$ ). LA ELECCIÓN DEL VALOR DE CADA UNO DE ELLOS SE DEBE HACER CIUDADOSAMENTE, PARA EL SITIO DONDE SE CONSTRUIRÁ LA ESTRUCTURA. PARA LA ADECUADA DETERMINACIÓN DEL EXPONENTE  $C_D$  SE REQUIERE DE MEDICIONES DEL PERFIL MEDIO DE VELOCIDADES EN EL SITIO DONDE SE PRETENDE CONSTRUIR LA ESTRUCTURA.

LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE PRESIÓN TOTAL  $C_D$ , QUE ACTUALMENTE SE USAN EN EL DISEÑO DE EDIFICIOS, NORMALMENTE SE OBTIENEN DE PRUEBAS EN TÚNEL DE VIENTO DONDE SE GENERA FLUJO LAMINAR; ASÍ, LOS COEFICIENTES  $C_D$  RESULTAN MAYORES QUE LOS OBTENIDOS EN MEDICIONES DE CAMPO EN EDIFICIOS REALES, DONDE ADEMÁS SE HA OBSERVADO QUE LAS PRESIONES EN BARLOVENTO TIENEN MUY Poca CORRELACIÓN CON LAS SUCCIONES EN SOTAVENTO. LOS COEFICIENTES  $C_D$  DEPENDEN DE LA FORMA Y TAMAÑO DE LA ESTRUCTURA, DEL TIPO DE FLUJO QUE SE CONSIDERE Y DEL CONTENIDO DE FRECUENCIAS DE LAS RÁFAGAS.

LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA DETERMINAR EL VALOR DEL COEFICIENTE DE ADMITANCIA AERODINÁMICA  $\chi_a$  SON MUY REDUCIDAS, Y LO QUE SE CONOCE SOBRE AMORTIGUAMIENTO AERODINÁMICO DE GRANDES ESTRUCTURAS EN FLUJO TURBULENTO ES AÓN MENOS.

OTRO ASPECTO IMPORTANTE QUE EN EL PRESENTE TRABAJO NO SE HA CONSIDERADO, POR TRATARSE EXCLUSIVAMENTE CON VIBRACIONES LONGITUDINALES, ES LA VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE ATAQUE DEL VIENTO Y LA MODIFICACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LA TURBULENCIA Y DEL VALOR MEDIO DE LA VELOCIDAD EN UNA DIRECCIÓN PREESTABLECIDA.

OTRO FACTOR IMPORTANTE EN EL DISEÑO DE EDIFICIOS ALTOS, ADEMÁS DE LA RESISTENCIA Y ECONOMÍA EN LA CONSTRUCCIÓN, ES LA EXISTENCIA DE MOVIMIENTOS IMPORTANTES Y SU INFLUENCIA EN LA FUNCIONALIDAD Y USO DE LA ESTRUCTURA, PUES EL NÚMERO DE EDIFICIOS ALTOS QUE HAN LLEGADO A LA FALLA [23] ES BASTANTE REDUCIDO. LA AMPLITUD Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO ACEPTABLE DIFERIRÁN PARA HOSPITALES, HABITACIÓN, OFICINAS, ALMACENES, FÁBRICAS, ETC. ASÍ, EN HOSPITALES Y EDIFICIOS PARA HABITACIÓN DONDE LOS TRATAMIENTOS MÉDICOS SON IMPORTANTES, O SE DESCANSA Y RELAJA, EL EFECTO DEL MOVIMIENTO PUEDE LIMITAR SU USO. POR OTRO LADO, DONDE LA GENTE NO HABITA LA CONSTRUCCIÓN, LAS CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO PUEDEN SER MAYORES, DEBIDO A QUE LOS OBJETOS NO SUFREN POR EL MOVIMIENTO. EL MOVIMIENTO COMO RESULTADO DE UN VIENTO O SISMO SEVERO, PUEDE OCURRIR POCAS VECES EN UN AÑO, Y EN CONDICIONES NORMALES DEBE SER LO MÁS BAJO POSIBLE; A LA FECHA, SON RELATIVAMENTE POCAS LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA DEFINIR LOS LÍMITES ACEPTABLES DEL MOVIMIENTO [5, 15].

## 6. REFERENCIAS

1. BAINES, W.D., *Effects of Velocity Distribution on Wind Loads and Flow Patterns on Buildings*, PROCEEDINGS, SYMPOSIUM No. 16, WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, ENGLAND 1963, UPLICADO EN 1965
2. BENDAT, J.S., *Principles and Application of Random Noise Theory*, JOHN WILEY AND SONS, INC., NEW YORK, 1958
3. BRITISH STANDARD CODE OF PRACTICE, CP3: CHAPTER V: PART 2: 1972, *Wind Loads*, LONDON, BRITISH STANDARDS INSTITUTION
4. BUSH, N.E. Y PANOFSKY, H.A., *Recent Spectra of Atmospheric Turbulence*, QU. JNL. ROY. MET. SOC., VOL. 94, 1968
5. CHANG, FU-KUEI, *Wind and Movement in Tall Buildings*, TRANSACTIONS ASCE, VOL. 133, 1968
6. DALGLIESH, W.A., WRIGHT, W. Y SCHRIEVER, W.R., *Wind Pressure Measurements on a Full-Scale High-Rise Office Buildings*, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, UNIVERSITY OF TORONTO PRESS, TORONTO, 1968
7. DALGLIESH, W.A., *Experience with Wind Pressure Measurements on a Full-Scale Building*, PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL MEETING CONCERNING WIND LOADS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, BUILDING SCIENCE SERIES 30, NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, WASHINGTON, D.C., 1970
8. DAVENPORT, A.G., *Rationale for Determining Design Wind Velocities*, JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION, ASCE, VOL. 86, No. ST5, MAY, 1960
9. DAVENPORT, A.G., *The Spectrum of Horizontal Gustiness Near the Ground in High Winds*, QU. JNL. ROY. MET. SOC., VOL. 87, 1961

10. DAVENPORT, A.G., *Gust Loading Factors*, JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION, ASCE, VOL. 93, No. ST3, JUNE, 1967
11. DAVENPORT, A.G., *The Dependence of Wind Loads on Meteorological Parameters*, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, UNIVERSITY OF TORONTO PRESS, TORONTO, 1968
12. DUCHÈNE-MARULLAZ, P., *Full-Scale Measurements of Atmospheric Turbulence in a Suburban Area*, PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, HEATHROW, 1975, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, PUBLICADO EN 1977
13. GHIOCEL, D. Y LUNGU, D., *Wind Snow and Temperature Effects on Structures Based on Probability*, ABACUS PRESS, 1975
14. GOULD, P.L. Y ABU-SITTA, S.H., *Dynamic Response of Structures to Wind and Earthquake Loadings*, JOHN WILEY AND SONS, INC., NEW YORK, 1980
15. HANSEN, R.J., REED, J.W. Y VANMARCKE, E.H., *Human Response to Wind-Induced Motion of Buildings*, JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION, ASCE, VOL. 99, No. ST7, JULY, 1973
16. HARRIS, R.I., *The Nature of the Wind*, THE MODERN DESIGN OF WIND-SENSITIVE STRUCTURES (PROCEEDINGS OF THE SEMINAR HELD ON 18 JUNE 1970 AT THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS), - CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION, 1971
17. HOUGHTON, E.L. Y CARRUTHERS, N.B., *Wind Forces on Buildings and Structures*, EDWARD ARNOLD LTD, 1976
18. JEARY, A.P. Y SPARKS, P.R., *Some Observations on the Dynamic Sway Characteristics of Concrete Structures*, BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT CURRENT PAPER 7/78, BUILDING RESEARCH STATION, GARSTON, WATFORD, U.K., 1978
19. JEARY, A.P., EDITOR, *The Dynamic Behaviour of the Arts Tower, University of Sheffield and its Implications*, BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT CURRENT PAPER 48/78, BUILDING RESEARCH STATION, GARSTON, WATFORD, U.K., 1978
20. KAIMAL, J.C. ET AL., *Spectral Characteristics of Surface-Layer Turbulence*, QU. JNL. ROY. MET. SOC., VOL. 98, 1972
21. LIN, Y.K. Y HOLMES, P.J., *Stochastic Analysis of Wind-Loaded Structures*, JOURNAL OF THE ENGINEERING MECHANICS DIVISION, ASCE, VOL.104, No. EM2, APRIL, 1978
22. MACKAY, S. Y PIUS, K.L.KO., *Spatial Configuration of Gusts*, PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND

EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, HEATHROW, 1975, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, PUBLICADO EN 1977

23. MINOR, J.E., MEHTA, K.C. Y McDONALD, J.R., *Failures of Structures Due to Extreme Winds*, JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION, ASCE, VOL. 98, No. ST11, Nov., 1972
24. NEWBERRY, C.W., EATON, K.J. Y MAYNE, J.R., *The Nature of Gust Loading on Tall Buildings*, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, UNIVERSITY OF TORONTO PRESS, TORONTO, 1968
25. NEWBERRY, C.W., EATON, K.J. Y MAYNE, J.R., *Wind Loading of a Tall Building in a Urban Environment*, BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT CURRENT PAPER 59/68, BUILDING RESEARCH STATION, GARSTON, WATFORD, U.K., 1968
26. NEWBERRY, C.W., EATON, K.J. Y MAYNE, J.R., *Wind Loading on Tall Buildings-Further Results from Royex House*, BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT CURRENT PAPER 29/73, BUILDING RESEARCH STATION, GARSTON, WATFORD, U.K., 1973
27. NEWBERRY, C.W., EATON, K.J. Y MAYNE, J.R., *Wind Pressure and Strain Measurements at the Post Office Tower*, BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT CURRENT PAPER 30/73, BUILDING RESEARCH STATION, GARSTON, WATFORD, U.K., 1973
28. RODRÍGUEZ CUEVAS, N., *Variación de la Velocidad del Viento con la Altura en un Punto*, INFORME No. 47, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, MÉXICO, D.F., 1961
29. RODRÍGUEZ CUEVAS, N., *Desplazamientos de Estructuras Simples bajo la Acción de Vientos Máximos Registrados en la Cd. de México*, INFORME No. 280, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, MÉXICO, D.F., 1971
30. RODRÍGUEZ CUEVAS, N., *Periodicidad en el Movimiento del Aire*, INFORME No. 327, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, MÉXICO, D.F., 1974
31. RODRÍGUEZ CUEVAS, N., *Turbulencia del Aire y sus Efectos en Estructuras*, INFORME No. 329, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, MÉXICO, D.F., 1974
32. RODRÍGUEZ CUEVAS, N., *Medición de la Velocidad del Viento sobre el Edificio Prisma*, INFORME No. 346, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, MÉXICO, D.F. 1975
33. SAUL, W.E., JAYACHANDRAN, P. Y PEYROT, A.H., *Response to Stochastic Wind of N-Degree Tall Buildings*, JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION, ASCE, VOL. 78, No. ST5, MAY, 1976
34. SHERLOCK, R.H., *Variation of Wind Velocity and Gusts with Height*, PROCEEDINGS ASCE, VOL. 78, No. 126, 1952

35. SHINOZUKA, M. Y LEVY, R., *Digital Generation of Along-Wind Velocity Field*, JOURNAL OF THE ENGINEERING MECHANICS DIVISION, ASCE, VOL. 103, NO. EM4, AGO., 1977
36. SIMIU, E., *Wind Spectra and Dynamic Along-Wind Response*, JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION, ASCE, VOL. 100, NO. ST9, SEPT., 1974
37. SIMIU, E., Y SCANLAN, R.H., *Wind Effects on Structures*, JOHN WILEY AND SONS, INC., NEW YORK, 1978
38. SINGER, I.A., BUSCHY, N.E. Y FRIZZOLA, J.A., *The Micrometeorology of the Turbulent Flow Field in the Atmospheric Boundary Layer*, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, UNIVERSITY OF TORONTO PRESS, TORONTO, 1968
39. SMART, H.R., STEVENS, L.K. Y JOUBERT, P.N., *Dynamic Structural Response to Natural Wind*, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, UNIVERSITY OF TORONTO PRESS, TORONTO, 1968
40. TRIFUNAC, M.C., *Wind and Microtremor Induced Vibrations of a Twenty-Two Story Steel Frame Building*, EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH LABORATORY, CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, PASADENA, CALIFORNIA, 1970
41. TASK COMMITTEE ON WIND FORCES, COMMITTEE ON LOADS AND STRESSES, *Wind Forces on Structures*, TRANSACTIONS ASCE, VOL. 126, PARTE II, 1961
42. VAN DER HOVEN, I., *Power Spectrum to Horizontal Wind Speed in the Frequency Range from 0.0007 to 900 Cycles per Hour*, JNL. MET. VOL. 14, 1957
43. VAN KOTEN, H., *Wind Measurements of High Buildings in the Netherlands*, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, UNIVERSITY OF TORONTO PRESS, TORONTO, 1968
44. VELLOZZI, J. Y COHEN, E., *Gust Response Factors*, JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION, ASCE, VOL. 94, NO. ST6, JUNE, 1968
45. VELLOZZI, J. Y COHEN, E., *Dynamic Response of Tall Flexible Structures to Wind Loading*, PROCEEDING OF THE TECHNICAL MEETING CONCERNING WIND LOADS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, BUILDING SCIENCE SERIES 30, NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, WASHINGTON, D.C., 1970
46. VICKERY, B.J., *On the Reability of Gust Loading Factors*, PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL MEETING CONCERNING WIND LOADS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, BUILDING SCIENCE SERIES 30,

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, WASHINGTON, D.C., 1970

47. WARD, H.S. Y CRAWFORD, R., *Wind Induced Vibrations and Building Modes*, BULL. SEIS. SOC. AMER., NO. 56, 1966