



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales
ACATLAN**

FUERZA DEL VIENTO EN ESTRUCTURAS

11-0028718

T E S I S
Que para obtener el Titulo de
INGENIERO CIVIL

Presenta:

CARLOS ARCE LEON

Sta. Cruz Acatlán, Edo. de México 1985.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A la memoria de mi padre:

Jesús Arce García.

A mi madre:

María León Vda. de Arce..

A mis hermanos:

Olga

Erac

Marisa

Hilda

Rocío

A los buenos amigos

Con especial agradecimiento a los ingenieros

Neftalí Rodríguez Cuevas y Víctor J. Palencia

Gómez por sus consejos y el apoyo que me han brindado.



Escuela Nacional
de Estudios Profesionales
Acatlán

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/031/1985

SR. CARLOS ARCE LEON
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e.

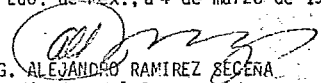
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 10 de septiembre de 1982, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Fuerza del Viento en Estructuras", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Referencias históricas del problema de viento.
- II.- Obtención de datos estadísticos.
- III.- Acción del viento.
- IV.- Efectos estáticos.
- V.- Ejemplos.
- VI.- Comparación de resultados.
- Conclusiones.

Asímismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. M. C. Neftalí Rodríguez Cuevas, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlán, Edo. de Méx., a 4 de marzo de 1985.


ING. ALEJANDRO RAMIREZ SECENA
Coordinador del Programa de Ingeniería de Acatlán

COORDINACION DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

ARS/rcm.

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.- REFERENCIAS HISTORICAS DEL PROBLEMA	
DEL VIENTO	4
I.1 INVESTIGACIONES ANTES DE 1880	4
I.1.1. Inicios de la Meteorología	4
I.1.2. Inicios de la Anemometría	7
I.1.3. Inicios de la Aerodinámica	11
I.1.4. Primeros trabajos sobre la fuerza del viento.	16
I.2. FALLA DEL PUENTE TAY, 1880.	17
I.3. INVESTIGACIONES DESPUES DE 1880.	19
I.3.1. Investigaciones realizadas en Europa	19
I.3.2. Investigaciones realizadas en México	30
CAPITULO II.- OBTENCION DE DATOS ESTADISTICOS	35
II.1 ORIGEN DEL VIENTO	35
II.2 TIPOS DE VIENTO	37
II.2.1. Vientos planetarios	37
II.2.2. Vientos locales	39
II.2.3. Vientos continentales	40
II.2.4. Vientos ciclónicos	42
II.3. INSTRUMENTOS DE MEDICION.	46
II.3.1. Anemómetros de placa de presión	46
II.3.2. Anemómetros de presión	48
II.3.3. Anemómetros rotatorios	53
II.4 ESTADISTICA DE EXTREMOS	55
II.4.1. Antecedentes	55
II.4.2. Aplicación	59

1-1-00 JB 71B

	Página
CAPITULO III.- ACCION DEL VIENTO	78
III.1 CONCEPTOS BASICOS	78
III.2 DIRECCION DEL VIENTO	83
III.3 VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA ALTURA	95
III.4 RAFAGAS	112
III.5 COEFICIENTE DE EMPUJE	117
III.6 EFECTOS DINAMICOS	122
 CAPITULO IV.- EFECTOS ESTATICOS	 128
IV.1 EFECTOS GENERALES DEL VIENTO	128
IV.1.1 Presion Directa	128
IV.1.2 Arrastre	129
IV.1.3 Succiones	129
IV.1.4 Balanceo	130
IV.1.5 Efectos armónicos	131
IV.1.6 Efectos sobre apéndices	132
IV.2 APLICACION DE FUERZAS LATERALES	132
IV.3 SISTEMAS DE RESISTENCIA LATERAL	136
IV.3.1 Sistemas de paneles	140
IV.3.2 Estructuras internamente re- forzadas	140
IV.3.3 Marcos rígidos	141
IV.3.4 Armaduras reforzadas exter- namente	142
IV.3.5 Elementos autosoportados	142
IV.4 DISEÑO PARA EFECTOS ESTATICOS - EQUIVALENTES.	142
 CAPITULO V. EJEMPLOS	 144
V.1. CARACTERISTICAS DE LOS REGLAMENTOS UTILIZADOS	144
V.1.1. Reglamento de Construcciones del Distrito Federal	144
V.1.2. Normas de la American Society of Civil Engineers	149
V.1.3. Normas del American National	

	Página
Standard Institute	153
V.2. ANALISIS POR VIENTO DE UN ALTO HORNO	159
V.2.1. Utilizando el RCDF	159
V.2.2. Utilizando las normas ASCE	164
V.2.3. Utilizando las normas ANSI	169
V.3. ANALISIS POR VIENTO DE UNA NAVE INDUSTRIAL	174
V.3.1. Análisis por carga muerta + carga viva	176
V.3.2. Utilizando el RCDF.	180
V.3.3. Utilizando las normas ASCE	188
V.3.4. Utilizando las normas ANSI	195
 CAPITULO VI.- COMPARACION DE RESULTADOS	 206
VI.1 ALTO HORNO	206
VI.2 NAVE INDUSTRIAL	210
 CONCLUSIONES	 213
 APENDICE 1	 216
 APENDICE 2	 224
 APENDICE 3	 227
 REFERENCIAS	 230

"Te doy gracias ¡Oh Dios Creador! porque me has otorgado la alegría de ver lo que has hecho, recreándome en la obra de tus manos. He terminado este trabajo al - - cual he sido llamado. He puesto en él - todas las fuerzas del espíritu que me diste. He podido descubrir la grandeza de tus obras a los hombres que leerán estas páginas, en la medida en que mi mente limitada logró comprender algo de tu reino infinito".

Kepler.

I N T R O D U C C I O N

La evolución del hombre puede entenderse a través de su constante afán por comprender las situaciones que le rodean. El viento como problema estructural y también como recurso energético ha llamado la atención de grandes investigadores científicos. Leonardo da Vinci, por ejemplo, presenta en algunos bocetos una estructura-habitación resistente a la acción del viento.

Conocer el comportamiento de las masas de aire y su distribución en la superficie terrestre representa un gran problema, ya que no siempre se pueden reproducir los factores que las afectan en los modelos de estudio. De hecho no se conocen perfectamente todos los factores que intervienen en el proceso.

Los avances logrados en la investigación se reflejan en la elaboración o modificación de normas y reglamentos. A los diseñadores les interesa conocer una metodología para resolver los problemas que constantemente se les presentan, dejando en un segundo término el origen de esa metodología.

El objeto de este trabajo es presentar la forma en que se realizan los estudios de viento, así como comparar los criterios de algunos reglamentos.

En los cursos de estructuras se habla poco o nada del viento como carga estructural. Es así que al iniciarse en el ejercicio de la profesión se conoce que hay un reglamento de diseño por viento y nada más, no se tiene idea de donde surge el reglamento. Se otorga mayor importancia al sismo, en los programas de estudio se incluye una materia donde se conocen las teorías acerca de los sismos y como estudiar sus efectos en las estructuras. De tal forma se conoce de donde han salido los espectros de diseño y demás factores incluidos en el reglamento de diseño por sismo.

Resulta lógico el que se haya otorgado mayor importancia a un tipo de análisis, si se piensa en las características de las estructuras. En una estructura pesada el sismo tiene mayor importancia, la estabilidad ante el viento es garantizada por el peso propio. Actualmente se renuevan constantemente los materiales y procesos de construcción, buscando el abatimiento de los costos. Constantemente es necesario salvar grandes claros y los materiales utilizados son más ligeros. Para estructuras de este tipo el viento resulta ser la carga crítica, ya que por su ligereza las fuerzas de inercia originadas en un movimiento sísmico son mínimas.

Debido a una serie de limitaciones se presenta el fenómeno de viento representado como flujo laminar y sólo se consi-

deran efectos estáticos en las estructuras.

En el capítulo 1 se presenta como se fueron orientando las investigaciones en diversas materias hasta enfocar al viento como un problema específico. El capítulo 2 trata sobre las ideas clásicas de distribución de viento en la tierra. Los diferentes instrumentos con que se registra la acción del viento y la forma en que se analizan dichos registros. En el capítulo 3 se establecen conceptos sobre el viento a partir de la mecánica de fluidos, se hacen consideraciones sobre la dirección, velocidad y ráfagas de viento y la distribución de presiones en las estructuras. En el capítulo 4 se mencionan los efectos del viento y los sistemas estructurales con los que se pueden resistir cargas laterales. En el capítulo 5 y 6 se analizan y comparan los resultados de dos estructuras utilizando tres distintos reglamentos.

C A P I T U L O I
REFERENCIAS HISTORICAS SOBRE
EL PROBLEMA DEL VIENTO.

La investigación sobre el viento desde el punto de vista - de la Ingeniería Civil se inicia con la falla del puente Tay (1880), donde se hizo evidente el escaso conocimiento acerca de la naturaleza del viento y sus efectos sobre las obras civiles. A partir de entonces se han desarrollado diversos programas de investigación orientados a determinar en forma precisa la compleja naturaleza del viento.

I.1. INVESTIGACIONES ANTES DE 1880

I.1.1. METEOROLOGIA (inicios.)

Se considera la Meteorología dividida en dos grandes períodos, el primero es la etapa primitiva donde se realizaron observaciones eventuales de algunos fenómenos extraordinarios, sin establecer controles o reportes de ninguna especie. El segundo período, se caracteriza por la observación sistemática, se subdivide según se hayan empleado o no instrumentos de observación. Los pueblos antiguos, viviendo en su mayoría al aire libre, recogieron una serie de observaciones, empíricas,

agrupándolas en la llamada meteorología popular. En Atenas existió una "Torre de los Vientos" pero, no había un sistema fijo de observaciones. A finales de la edad media, con W. Merle de Oxford y Driby, en 1337 y 1344 comienzan las observaciones sistemáticas; con la invención del termómetro y el barómetro, pudieron adelantar los estudios meteorológicos, iniciándose en 1644 las observaciones barométricas. De breve existencia, en 1654, por orden de Fernando II de Toscana, se creó la Meteorología Internacional. Con mayor importancia la Societa Meteorologica Palatina, 1780, llegó a contar con 33 - estaciones, alguna de ellas fuera de Europa. Sólo existió durante 12 años pero, sus publicaciones o Ephemerides sirvieron de base a quienes iniciaran la meteorología científica como: Maury y Buys-Ballot, Hann, Assmann, Hershel, Abbot, etc.

El interés por la meteorología nació como una preocupación de poder pronosticar el tiempo con fines militares y económicos especialmente como ayuda para realizar viajes marítimos prósperos. Con este objetivo se construyeron numerosos observatorios en lugares cercanos a las costas, registrando datos y siendo procesados, integraban cartas de condiciones promedio del tiempo. La información fue de algún valor, pero sólo indicaba las condiciones probables del tiempo para un viaje en particular. A principios del siglo XIX se realizó un sistema con mecanismos de tiempo, era muy lento y poco probable, esto esperando que se -

hubiesen registrado datos en una extensa red de estaciones, procesados rápidamente y, finalmente, elaborado la carta correspondiente.

Sólo hasta la invención del telégrafo se pudo realizar un sistema de registros simultáneos. El primero en realizarlos fue Juan F. G. Herschel, en 1830. En ambos lados del Atlántico se construyeron estaciones que diariamente hacían registros y en 1849 comenzó a publicarse el primer reporte diario.

En el siglo XIX se vió un continuo desarrollo en los sistemas de predicción del tiempo. En Inglaterra se estableció la Oficina de Meteorología como un departamento del Consejo de Comercio, en 1854, de los primeros trabajos realizados fue la impresión de reportes con advertencias respecto a los ventarrones. En París operó un sistema similar que expandió rápidamente su pequeña red de estaciones, hasta contar con numerosos observatorios en el país.

En 1873 se efectuó en Viena, el primer Congreso Mundial de Meteorología. Se clasificaron las estaciones de acuerdo a las características de las observaciones registradas. A fines del siglo XIX ya se tenía una red extendida por todo el mundo.

Motivo de gran preocupación fue la homogeneización de los sistemas de predicción, así como el encontrar y jerarquizar,

de algún modo, la fuerza del viento. No fue sino hasta 1880 cuando se reconoció la necesidad de obtener datos precisos sobre viento. Consecuentemente se requirió un aparato para medir velocidad del viento, la intención inicial fue medir presiones, pero fue hasta la última década del siglo XIX cuando se desarrollaron anemómetros precisos y dignos de confianza.

I.1.2. ANEMOMETRIA (Inicios)

Pocas de las antiguas estaciones de registro meteorológico poseían anemómetros, las velocidades de viento se estimaban mediante reglas de influencia basadas, generalmente, en los efectos que el viento tiene sobre algunos objetos fácilmente disponibles.

El método propuesto por el Contra almirante Sir Francis Beaufort en 1805, es el ejemplo típico. La escala tiene 12 grados y se usa en la actualidad, sólo en el mar o las costas, donde el viento es más fuerte y regular que tierra adentro. Se da también el nombre de escala de Beaufort a otra escala que consta de 6 grados y que se utiliza lejos de la costa y tierra adentro.

Número y Nombre de los vientos	Caracteres	Velocidad m/seg
0 Calma	No permite gobernar	0 a 1
1 Ventolina	Suficiente para gobernar	1 - 2
2 Muy flojo	Da fuerza para que un buque ciñendo con todo aparejo y mar llano ande de	1 a 2 millas
3 Flojo		2 a 4 millas
4 Bonacible		4 a 6 millas
5 Fresquito	De fuerza necesaria para	Todo aparejo con sobres.
6 Freco		Gavias con un rizo y juanetes
7 Frescochón	que un buque pueda aguantar	Gavias con dos rizos
8 Duro	la bolina con	Mayores y gavias con tres rizos
9 Muy duro		Trinquete y gavias con todos los rizos
10 Borrascoso		16 - 20
11 Temporal		20 - 25
12 Huracán		25 - 30
		más de 30

T 1.1.) Escala Beaufort completa.

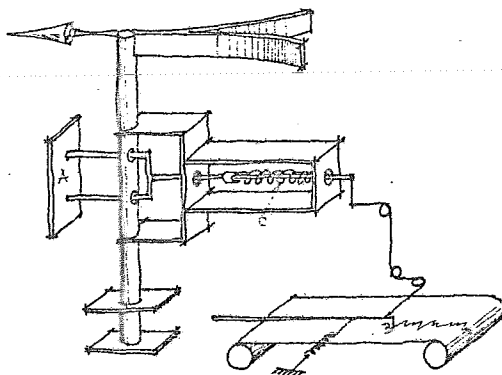
Número y Nombre de los vientos	Caractères	Velocidad m/seg.
0 Calma	El humo se dirige verticalmente	0 - 1
1 Flojo	Mueve una banderola	1 - 4
2 Fresquito	Extiende una banderola y mueve hojas de árboles	4 - 8
3 Fresco	Mueve las ramas delgadas de los árboles	8 - 12
4 Fuerte	Mueve las ramas gruesas y troncos delgados	12 - 16
5 Temporal	Mueve los troncos	16 - 25

6 Huracán Arranca árboles

25 o más
de 30

T.1.2) Escala Beaufort Reducida

Los anemómetros disponibles en el siglo XIX eran muy primitivos. El único que proveía información de mayor utilidad, concebido para estimar cargas de viento, fue el anemómetro de placa de presión, inventado por Osler, en 1837. Además fue el primer instrumento capaz de hacer un registro continuo de la presión del viento.

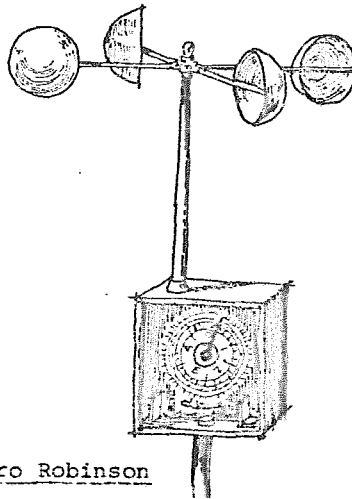


F.1.1) Anemómetro Osler.

El aparato consiste en una placa plana, A, conectada a un

estilete registrador, B; montado de tal forma que el movimiento fuese amortiguado por un muelle, C. Tiene libertad para girar alrededor de un eje vertical y una veleta mantiene la placa en dirección del barlovento. Este mecanismo adolece de los defectos provocados por ráfagas repentinas que causaban que el estilete saltase registrando presiones muy altas, de tal forma que durante borrascas o tempestades no se podía creer en los datos registrados.

El anemómetro de copas fue inventado por el astrónomo - Irlandés Thomas Romney Robinson en 1846. Este instrumento, - utilizado para medir velocidad y no presión, fue más preciso y confiable que el de Osler. Está constituido por cuatro copillas hemisféricas, colocadas en los extremos de dos varillas en cruz. Con el objeto de que no interfiriesen los edificios próximos en el viento, el aparato se coloca sobre una torre o mástil de altura superior a las construcciones vecinas.



F. 1.2) Anemómetro Robinson

Las copillas giran alrededor de un punto situado en el extremo superior de un brazo que, a su vez, gira sobre su eje longitudinal, de aquí el movimiento se transmite por medio de engranes a una carátula con manecillas, donde se efectuaba la lectura. Para calibrarlo se relacionó la velocidad angular del aparato con el número de revoluciones de las copas, en un intervalo de tiempo fijado. En esta forma se construyó una curva de calibración.

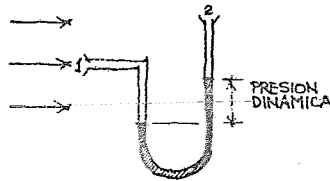
El hecho de que tal instrumento fuese usado en los observatorios, a mediados del siglo XIX, sirvió para conocer las magnitudes de la velocidad de vientos fuertes, pero no se contaba con una fórmula racional para convertir la velocidad a presión, ocasionando que la información obtenida fuera de poco valor para los diseñadores de estructuras.

I.1.3. INICIOS DE LA AERODINAMICA

La Aerodinámica se concibió cuando se trató de establecer una relación entre la velocidad de una corriente de aire y la presión que ejerce sobre cuerpos estacionarios; de tal manera que junto con la Meteorología proporcionan las bases para la estimación de cargas de viento. Al igual que la Meteorología, la Aerodinámica se encontraba en un estado de desarrollo muy primitivo antes de 1880.

Las bases teóricas* ya se conocían tiempo atrás pero - sólo eran aplicadas al agua, no se consideraba al aire como un fluido.

El comportamiento de un fluido, tal como se entiende en la actualidad puede resumirse de la siguiente forma; la presión, proporcional al cuadrado de la velocidad, puede medirse fácilmente en cualquier fluido mediante la inmersión de un manómetro dentro del flujo (figura). La presión dinámica es la diferencia de presiones ejercidas sobre la boca del tu-



F.1.3. MANOMETRO DE TUBO

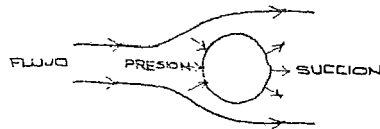
bo (1) y sobre un plano perpendicular al flujo (2)

$$q = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v^2$$

El empuje sobre un cuerpo inmerso dentro del flujo es la suma de todas las fuerzas elementales que actúan sobre su superficie.

* Nota.- Daniel Bernoulli estableció las bases de la hidráulica en 1733.

La distribución final de presiones sobre la superficie del cuerpo sumergido depende esencialmente del patrón de flujo alrededor del cuerpo, es algo complejo, pero puede relacionarse con la presión dinámica a través de una constante que depende de la forma del cuerpo. Esta constante llamada coeficiente de empuje puede ser determinada con pruebas de tunel de viento, a menos que se presente una situación tan especial que no pueda ser determinada.



F. 1.4

$$\text{Empuje} = \text{suma de presiones y succiones} = \frac{1}{2} \rho v^2 C A$$

C. Coeficiente de empuje

A. Area de la sección normal a la corriente.

Muchos científicos trabajaron sobre las propiedades de un fluido en movimiento, aunque sus relaciones no eran comprendidas del todo, en el siglo XIX. Newton fue el primero en sugerir que la presión ejercida por un fluido sobre un cuerpo es proporcional al cuadrado de la velocidad de dicho fluido. -

Cuando se imaginó esta relación comenzaron las investigaciones orientadas a encontrar una fórmula que relacionara presión y velocidad. Se interesaban en balística y diseño de buques.

Los resultados de una de esas investigaciones se muestran en la siguiente tabla.

Resistencia ofrecida (Kg/m^2) area frontal.

Velocidad m/seg.	Plano	Cilindro	Cono dirigido al viento	Cuña dirigida al viento
0.305	0.003	0.003	0.001	0.001
1.524	0.083	0.071	0.052	0.051
3.048	0.311	0.311	0.220	0.195
4.572	0.705	0.688	0.507	0.435
6.096	1.262	1.244	0.920	0.765
Coefficiente de empuje	2.020	2.020	2.062	1.968

T. 1.2)

Los investigadores franceses de la Col. Beaufoy compararon el empuje sobre cuerpos de forma variable. (tabla)

En ausencia de una teoría general los resultados de esta especie fueron de uso limitado para el propósito de estimación

de fuerzas de viento en estructuras y fue hasta fines del siglo XIX en el que fue hecha una importante distinción entre presión dinámica y el empuje ejercido sobre un cuerpo inmerso.

El grado del conocimiento por 1880 se puede medir a partir de la evidencia que dió el profesor G. G. Stokes al Interrogatorio sobre el Desastre del puente Tay, representando - las ideas más avanzadas de la época. El profesor Stokes tenía la creencia de que la presión absoluta, como la medida - por un manómetro abierto, era la misma que la presión ejercida sobre un plano inmerso o la medida por el anemómetro Osler, estaba en un error, y se dió cuenta de ello al encontrar que la presión leída en un manómetro abierto resultaba ser aproximadamente 1.8 veces menor que la medida en el anemómetro, debido a la presencia de vacío en el lado del sotavento. Apuntó, entonces que el empuje en un cuerpo inmerso estaba influenciado por el patrón de estelas que dejaba y por lo tanto por su forma y pensó que el patrón de estelas era tan complejo que no podría encontrar una descripción matemática. En reconocimiento de la importancia de la forma de un cuerpo en el empuje el intuyó el concepto de coeficiente de empuje.

Fue hasta principios del siglo XX cuando Prandtl trabajando sobre viscosidad de fluidos asentó el tema sobre bases teóricas firmes; en este tiempo la relación

$$q = \text{Presión dinámica} - \text{presión estática} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

Se aceptó universalmente y los programas de pruebas fueron sistematizados para determinar los coeficientes de empuje de diferentes formas.

I.1.4 PRIMEROS TRABAJOS SOBRE LA FUERZA DEL VIENTO.

Antes de 1880 se realizaron muy pocos trabajos sobre el campo específico de la fuerza del viento en estructuras y edificios, la mayoría se orientó hacia la meteorología o a la mecánica de fluidos. El interés sobre el tema se confinó, casi exclusivamente a los ingenieros, quienes han necesitado la información para resolver problemas específicos e inmediatos, mas que a los científicos que desean extender el conocimiento por iniciativa propia. Así los datos que se obtuvieron en investigaciones de esa época, así como su manejo, resultaron ser muy específicos y era casi imposible el aplicarlos a problemas generales.

Los ingenieros se interesaron primeramente en el viento como una fuente de poder. John Smeaton experimentó, en los inicios del siglo XIX, buscando calcular la capacidad de trabajo (moler) de los molinos de viento, a partir del área de sus aspas. Como resultado de su trabajo, Smeaton publicó una tabla de presiones de viento con el fin de utilizarla al estimar cargas de viento en edificios, posteriormente resumió esta

en un paquete de recomendaciones de diseño de estructuras resistentes al viento. Publicadas en 1756, las recomendaciones indicaban que las estructuras deberían ser capaces de resistir cargas de 29.29 Kg/m^2 en vientos fuertes; de 39.06 a 43.94 Kg/m^2 en vientos muy fuertes y de 58.59 Kg/m^2 en tormentas y tempestades. Es muy probable que estos valores fueran la base de cálculo por viento antes de 1880.

1.2. FALLA DEL PUENTE TAY

La investigación acerca de la falla del puente Tay, en Inglaterra, inició una gran discusión sobre la fuerza del viento, lo que reveló fue una gran confusión. La mayoría de los ingenieros creía que se podía calcular la carga total de viento, multiplicando el área expuesta por un coeficiente apropiado para presión de viento. Coeficientes como los de Smeaton. Este era un procedimiento muy simplista porque no consideraban o no sabían que el empuje sobre un cuerpo depende tanto de su forma como de su tamaño. El problema principal fue el determinar una forma o un coeficiente adecuado a la presión del viento, ya que por acuerdo general, en 1880, los coeficientes de Smeaton no eran confiables.

De las evidencias presentadas se derivó una gran interrogante en lo que respecta a cual sería la presión máxima proba-

ble que se esperaba en el Reino Unido. Quienes tomaron registros con el anemómetro Osler estaban convencidos de que una presión tan alta como $439-488 \text{ Kg/m}^2$ era bastante común. Otros ingenieros, especialmente Benjamín Baker, sostenía que la presión máxima en Gran Bretaña no podía exceder de $122.06-147 \text{ Kg/m}^2$, porque algunas estructuras ya construidas, eran capaces de resistir presiones mayores.*

En ausencia de datos adecuados, el Consejo de Comercio instituyó como regla que, en lo futuro, se usara el valor de 273.4 Kg/m^2 aplicado sobre el área frontal de la estructura y calcular así los esfuerzos producidos por el viento. Esto era compatible con la práctica con otros países, donde los valores típicos fueron:

Francia	268.53 Kg/m^2
EE.UU.	244.12 Kg/m^2 para puente libre
(En puentes ferroviarios)	146.47 Kg/m^2 con tren sobre él.

Quizá la conclusión más importante que surgió sobre la investigación sobre la falla del puente Tay, fue el acuerdo general de que se necesitaba una minuciosa investigación en la obtención de velocidades máximas de viento y la relación que guardan velocidad y presión. Esto permitió establecer un número importante de programas de investigación a través de la Ofi-

* Valor muy cercano al máximo promedio de viento, 125 Kg/m^2 , en condiciones de tormenta en R. U.

cina Meteorológica y el Laboratorio Nacional de Física en el Reino Unido.

I.3. INVESTIGACIONES DESPUES DE 1880

I.3.1 INVESTIGACIONES REALIZADAS EN EUROPA

La tarea de recopilar datos sobre velocidad de viento en el Reino Unido llegó a ser responsabilidad de la Oficina Meteorológica, que tuvo lista una red de estaciones operando bajo su control y estableció en 1880, el Comité de Investigación de la Fuerza del Viento con el objeto de desarrollar entre - otras cosas, un anemómetro confiable para el registro de datos. W. H. Dines desarrolló el anemógrafo de tubo de presión e inmediatamente se iniciaron los registros continuos en las estaciones meteorológicas a finales del siglo pasado.

El anemómetro Dines activa una pluma registradora que marca en un cilindro cubierto con papel un trazo continuo de velocidad de viento. La turbulencia presente en la mayoría de los sitios causa que el registro tome forma de trazo irregular, - permitiendo leer clara y rápidamente las velocidades de fuertes ráfagas. Pero se necesitaba una cantidad considerable de registros para hacer estimaciones y sólo hasta ya entrado el - siglo XX se pudo hacer una evaluación precisa, en sitios particulares, de velocidades de viento.

Mientras tanto los ingenieros se encontraban necesitados

de datos para el diseño y no estaban realmente convencidos de utilizar el valor de 273.43 Kg/m^2 dado en el reglamento del Consejo de Comercio porque los elementos resultantes del diseño resultaban demasiado grandes y, por lo tanto, antieconómicos. Algunos ingenieros prefirieron llevar a cabo sus propios experimentos, una de las primeras investigaciones, después de 1880, fue comprendida por Baker en conexión con el diseño y construcción del puente Forth, en Escocia. Baker instaló cuatro instrumentos para medir presión (Similares al anemómetro Osler) en la isla Firth of Forth, cercana al sitio planeado para la construcción del puente. Los instrumentos consistían en una tabla cuadrada de 27.87 m^2 de área y tres circulares de 0.14 m^2 de área. Tomó lecturas continuas entre 1883 y 1890 y la máxima presión registrada fue 151.36 Kg/m^2 , en las tablas pequeñas y de 92.77 Kg/m^2 en la grande. La diferencia entre las presiones máximas registradas interesó bastante a Baker. Esto mismo sucedió a otros investigadores quienes habían trabajado con grandes superficies sujetas a fuerza de viento, algunos creyeron que la presión en una tabla estaba influenciada por su medida, por esta razón se le llamó "efecto dimensional". Se pensó que se obtendrían resultados similares de tablas expuestas a corrientes uniformes de aire, tanto como las expuestas a las condiciones exteriores.

El viento es un fenómeno de gran turbulencia, fuertes vientos se caracterizan por fluctuaciones de corta duración entre

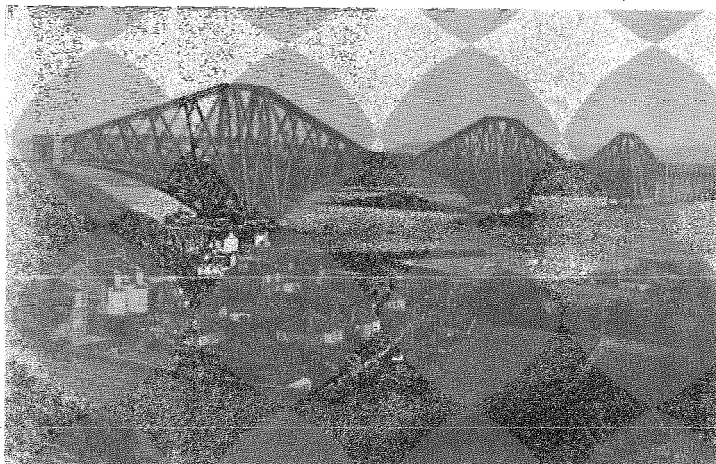
ciertos intervalos de velocidad, ráfagas que duran unos cuantos segundos en chubascos que duran de varios minutos hasta algunas horas. Es posible, por lo tanto, que la presión en un punto de una estructura sea, durante una ráfaga, muy alta en un lapso de tiempo corto, mientras que el promedio de presión en toda la estructura permanezca relativamente bajo.

En el siglo XIX estos razonamientos no se conocían. Una de las razones para las grandes presiones registradas por el anemómetro Osler fue que tenían pequeños platos sensores, los cuales podían ser envueltos en pequeñas e intensas ráfagas.

Fue difícil el relacionar las altas presiones leídas con las pequeñas presiones que, calculando, podrían haber sido suficientes para poner en peligro algunos edificios que habían resistido peores tormentas sin dificultad.

Es obvio, hoy en día, que la presión promedio sobre la superficie de grandes estructuras es mucho más pequeña que la registrada por anemómetros Osler debido a la estructura del viento. Parece que el mismo Baker se percató de que era importante considerar la estructura del viento, en general esto no se apreció en el siglo XIX y el fue forzado a seguir la regla del Consejo de Comercio en el diseño del puente Forth (273.42 Kg/m^2). Como resultado se obtuvo una estructura de

proporciones desmedidas; uno se puede imaginar los sentimientos de estos ingenieros buscando cual era la causa de que la estructura resultara de tan alto costo.



F. 1.5) Puente Forth, en Escocia

La controversia causada por las dudas acerca de que si el "efecto dimensional" tenía su origen en la estructura del viento o tenía algún origen de esencia, fue eventualmente resuelto por T. E. Stanton. quien condujo una serie de importantes experimentos en las 2 primeras décadas de este siglo.

Stanton, trabajando en el Laboratorio Nacional de Física se interesó más en los aspectos del problema de carga de - -

viento que en la predicción de velocidades extremas de viento, que era competencia de la Oficina Meteorológica. El publicó sus descubrimientos en artículos del Instituto de Ingenieros Civiles en 1903, 1907 y 1924. Sus experimentos iniciales estuvieron orientados, principalmente, sobre presión sobre placas planas en tunel de viento.

En 1903 verificó la fórmula $q = \frac{1}{2} \rho V^2$ para encontrar - la presión dinámica o absoluta en un fluido y obtuvo algunas ideas que sugerían que la presión ejercida sobre una placa era independiente de su medida. Por 1907 concluyó que la presión sobre placas planas no estaba influenciada por su medida, en placas de área mayor que 0.093 m^2 y que el "efecto dimensional" no existe en corrientes de aire moderadas.

Esto fue un resultado importante por dos razones. Primera. la obtención de los coeficientes de empuje para estructuras - de forma compleja a través de modelos en pruebas de tunel de viento. Segunda, se demostró que el "efecto dimensional" no es un fenómeno aerodinámico, se debe a la turbulencia del viento. En 1907, Stanton estuvo en posición de recomendar un procedimiento con bases científicas, para el cálculo de fuerzas de viento. Sugirió que para el diseño de edificios se podría utilizar, como velocidad de diseño, la máxima velocidad de ráfaga registrada en la estación meteorológica más cercana, - pudiendo convertir la velocidad en presión mediante la fórmula

$P = \frac{1}{2} \rho v^2 C$, donde C. es un coeficiente de empuje obtenido de tablas (el mismo Stanton publicó coeficientes de empuje para distintas formas) o a base de pruebas de tunel de viento. Este procedimiento representó una notable mejora sobre las prácticas generales de la época.

La desventaja principal del método era que los registros de viento no iban más allá de 20 años, no podían ser interpretados estadísticamente. La única forma de proteger la estructura de vientos más fuertes era usando un coeficiente de seguridad y esperar que fuese adecuado.

No se conocía un procedimiento para extrapolar la velocidad registrada en estaciones meteorológicas a construcciones donde la exposición, la topografía y otros factores locales - que afectan al viento fueran distintos. Otro problema era la interrogante de que si las presiones calculadas con la velocidad de ráfaga máxima se pudieran reducir conociendo el hecho de que la presión media en un área grande es menor.

Se requirió, por lo tanto, un mejor entendimiento de las propiedades y la turbulencia del viento para eliminar esas - incertidumbres. Stanton enfocó sus investigaciones a este punto, publicando los resultados en 1924. Los experimentos consistieron en medir la velocidad del viento con anemómetros tipo Dines, montados sobre seis torres a intervalos de 21.3 mts.

cubriendo así un frente de 106 mts. Las torres se erigieron en los terrenos del Laboratorio Nacional de Física de - - Teddington, al sur de Londres, y se comparó el promedio de las velocidades medias de cada torre con la máxima registrada por cada anemómetro. Pensando que las condiciones del parque no eran representativas. Stanton repitió el experimento montando las torres en la Torre del Puente.

Stanton concluyó que la extensión espacial de ráfagas de alta velocidad era tan grande como se había supuesto anteriormente y no se podría realizar una reducción de presión en estructuras grandes. Estas conclusiones fueron criticadas especialmente por J. H. Dines, de la Oficina Meteorológica, - quien dijo que los resultados encontrados en la torre no eran típicos de sitios urbanos. En la práctica general en aquella época se redujeron los valores de presión en áreas grandes, - algunos valores típicos fueron:

Area	Reducción
27.87 mt ²	0.67 P
3.72 m ²	0.79 P
0.92 m ²	0.89 P

donde "P" es la presión debida a fuertes ráfagas probables.

Las investigaciones de Stanton quedaron inconclusas pero -

revelaron la complejidad del estudio del viento. Una de las principales dificultades era tratar de predecir las condiciones de viento en sitios determinados. Se sabía que la turbulencia del viento cambia de un lugar a otro, dependiendo de la topografía local y de la medida y concentración de generadores de turbulencias, como son árboles y edificios. Las incertidumbres aparecían al ver el incremento de velocidad con la altura y la medida e intensidad de las ráfagas. No se podía esperar que de una serie de investigaciones se obtuviera información suficiente para desarrollar un método para conocer la estructura del viento en distintos lugares. Esto dió lugar a que los métodos un tanto empíricos se siguieran utilizando, pero lentamente se acumuló información con la que, sobre la marcha se corrigieron los procedimientos existentes.

En las primeras décadas del siglo XX las estructuras eran hechas a base de muros de carga y en realidad era más importante que soportaran el gran peso muerto de la construcción que el empuje. Con el desarrollo de la estructuración a base de concreto y acero las paredes eliminaron su función estructural llegando a ser elementos de cubierta. Se necesitó distinguir entre estabilidad de la estructura, como un todo, y estabilidad de la cubierta. Por estas consideraciones se requirió no solo el conocer la presión sobre una superficie sino como se distribuye sobre ella, haciendo que el conocer el empuje total sobre un edificio no fuese suficiente para efectuar

un análisis por viento.

Por los 30's, A Bailey y N. D. G. Vincent, en el laboratorio Nacional de Física, continuaron la labor de Stanton, - estudiaron la distribución de presiones sobre superficies de modelos en tunel de viento. En 1942 publicaron sus resultados en los procedimientos del Instituto de Ingenieros Civiles, incluyendo coeficientes para calcular presión sobre las formas más comunes de edificios. Lo más significativo de sus - trabajos fue su apreciación sobre los efectos de la presión interna de una estructura y su repercusión en la carga exterior.

En sus investigaciones, Bailey y Vincent, se dieron cuenta de que la carga sobre un panel o cubierta depende de la diferencia de presión a través del panel, mostrando que en algunos casos la succión llega a ser de mayor importancia que el empuje. Así desviaron su atención hacia las complejidades en el diseño de cubiertas, incluyendo la localización, medidas y algunos otros factores de ventanas y puertas.

Hasta 1952 se publicó en Inglaterra, una Norma para valorar la carga de viento. La velocidad de diseño para una estructura particular estaba dada por la categoría del lugar - (topografía), efectos de exposición de acuerdo a cuatro gradientes; grado A sitios con pequeñas excepcionales exposiciones, grado D sitios expuestos hasta 8 kilómetros de la costa

y con alturas superiores a 240 mts. La velocidad de viento - más desfavorable, un minuto de la velocidad media, obtenida - en la Oficina Meteorológica, asignada a cada categoría. Dentro de la Norma se contemplaban otros aspectos como la variación de la velocidad del viento con la altura. También se - presentaban los coeficientes de empuje para las formas estructurales más comunes. En un anexo se hablaba sobre los efectos de la presión interna.

En 1970 se publicó el Código Británico de Prácticas, es un documento más elaborado en el que las cargas de viento se valúan sobre bases estadísticas, de acuerdo con el pensamiento de cargas estructurales. Este código regresa a la práctica de tomar la peor velocidad de ráfaga dejando a un lado - los gradientes de exposición de la Norma del 52. Los datos de la Oficina Meteorológica se utilizaron para trazar isotacas con períodos de retorno de 50 años. Se incluyeron factores de corrección para diferentes terrenos. También se incorporaron los últimos datos sobre la estructura, turbulencia del viento, así como los coeficientes de presión y un procedimiento para valuar presiones internas.

En los métodos de valoración de cargas de viento en estructuras se ha considerado el aplicar la fuerza del viento - en una forma estática, teniendo un grado razonable de aproxima

ción para propósitos de diseño, aunque se reconoce plenamente la turbulencia natural del viento. La razón de esta aplicación estática del viento radica en considerar que la mayoría de los edificios son bastante rígidos, con altas frecuencias naturales, requiriendo grandes cantidades de energía para producir una respuesta dinámica considerable.

Por lo tanto, son pocas las estructuras con bajas frecuencias naturales, susceptibles a un modo dinámico de falla debido al viento. De estas estructuras los puentes suspendidos son los que han sufrido mayor daño por vibraciones causadas por ráfagas. Por ejemplo el embarcadero Bighton del que un tramo se derrumbó en 1836 después de una vibración violenta en un viento fuerte. El puente Menai fue dañado por oscilaciones inducidas por el viento, inmediatamente después de ser inaugurado en 1836. En años más recientes, la más espectacular demostración de la capacidad del viento para causar oscilaciones en grandes estructuras fue la vibración y posterior colapso del puente Tacoma Narrows en Washinton, (1940). La vibración en puentes suspendidos es, usualmente, una forma auto excitada de oscilación causada por la aparición regular de remolinos llamados vórtices.

Las chimeneas altas con sección uniforme, son generadores ideales de patrones regulares de vórtices, este tipo de estructura tiene también historia en problemas de vibración. El fe-

nómeno de generación de vórtices, que ocurre fácilmente en corrientes de aire suaves, como causa de vibración en secciones paralelas al viento ha sido sujeto de un gran programa de investigación en el Laboratorio Nacional de Física, a cargo de C. Scruton y hasta la fecha son parcialmente entendidos.

La excitación de estructuras paralelas a la dirección del viento, debida al impacto de ráfagas es un problema menor, debido a que las altas frecuencias de las ráfagas tienen una pequeña extensión espacial y la fuerza de excitación correspondiente es relativamente pequeña. En años recientes con el diseño de estructuras mas esbeltas el problema es de mayor preocupación. Es casi imposible eliminar completamente este tipo de vibración aún haciendo un diseño al propósito.

I.3.2. INVESTIGACIONES REALIZADAS EN MEXICO

Durante la Colonia no se otorgó al territorio Americano importancia alguna en el campo científico sólo algunas personas como Humbolt, se interesaron en algo distinto del aspecto económico. Es así que sólo hasta los primeros años del México independiente se realizan las primeras mediciones cuantitativas de temperatura y lluvia*. Este sistema rudimentario se mantuvo en funcionamiento durante algunos años, interrumpiéndose por causa de las intervenciones extranjeras sufridas a

* Publicado en el diario "El sol" del 15 de junio de 1824.

mediados del siglo XIX.

El 6 de marzo de 1877, por iniciativa de Mariano Bárcenas se funda el Observatorio Meteorológico Nacional en las azoteas del Palacio Nacional, a partir de esta fecha inician su funcionamiento observatorios en ciudades cercanas como: Toluca, Puebla, Morelia y Guanajuato.

A principios del siglo XX Porfirio Díaz, imitando los modelos europeos, manda a construir un observatorio en el mejor lugar del Valle de México: Tacubaya. En esta época se realiza un Congreso Nacional con el objeto de normalizar procedimientos.

Al estallar la Revolución se interrumpen nuevamente estos trabajos. En 1915 se crea la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos y, al terminar el movimiento armado, se reanudó gradualmente el servicio.

Los registros y observaciones realizadas hasta 1939 se limitaban a la Climatología. Debido a la Segunda Guerra Mundial. Estados Unidos necesitó una enorme cantidad de información de toda índole con fines estratégicos.

Por tal razón se instalaron en los observatorios nacionales instrumentos para registrar velocidades de viento, iniciándose

un registro continuo y sistemático de datos sobre viento.

Los primeros trabajos sobre viento se realizaron en la década de los 50's, pero enfocados desde un punto de vista Climatológico.

Cuando se diseñó la torre Latinoamericana se tomaron en cuenta dentro del análisis los efectos del viento. Como no se generalizó el estudio de viento a la región quedó el diseño como un problema que el estructurista resolvió según su criterio.

Por 1961 aparecen los primeros trabajos e investigaciones sobre los efectos que el viento tiene sobre las estructuras, de una manera más general, realizados por el Ing. Neftalí Rodríguez C. mismos que se continúan hasta la fecha.

Dentro del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (Ref. 14) aparece en 1966, una parte referente a Diseño por Viento. Cuatro años después México y Estados Unidos celebran un convenio mediante el cual nuestro vecino del norte otorgó todas las facilidades posibles en la adquisición de instrumentos de medición de viento, con lo que se equiparon casi 100 observatorios, ampliando la posibilidad de registro.

En 1976 se modifica el reglamento por viento (Ref. 15), modificando la ley de variación de la velocidad del viento con la altura y algunos artículos.

En la actualidad la mayoría de los diseñadores se apegan a las normas vigentes en el diseño por viento. Cuando se tiene una estructura fuera de lo común se realizan pruebas en túnel de viento. En el campo de la investigación se sigue trabajando en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y en el Instituto de Investigaciones Eléctricas de la C. F. E.

COMENTARIOS.

En la antigüedad se conocía al viento sólo ligado al clima. Es así que las observaciones climatológicas incluyeron al viento como un factor más. Su intención se limitaba a tratar de predecir el clima, con anticipación para ayudar a la navegación principalmente.

Aunque ya se tenían las bases matemáticas, es a partir de 1880 cuando se racionalizan las investigaciones y se trata de conocer la naturaleza del viento y sus efectos en las estructuras.

En México se iniciaron los estudios en la misma época, -

viéndose interrumpidos por los conflictos internos. Desde 1940 se ha normalizado el registro de viento y se ha dado apoyo a la investigación en este campo.

C A P I T U L O II
OBTENCION DE DATOS ESTADIS
TICOS.

En el presente capítulo se exponen ideas sobre el origen, registro y el análisis del viento.

Existen zonas donde el viento muestra un patrón regular de conducta, esto conduce a clasificar y distinguir el viento que sopla al amanecer o al atardecer; en el verano o en el invierno. Para conocer el patrón de conducta se necesitó el observar registros de diferentes sitios. Con qué aparatos se hicieron estos registros, qué tipo de registro proporciona un instrumento determinado. Finalmente cómo se realiza un análisis estadístico del registro del viento.

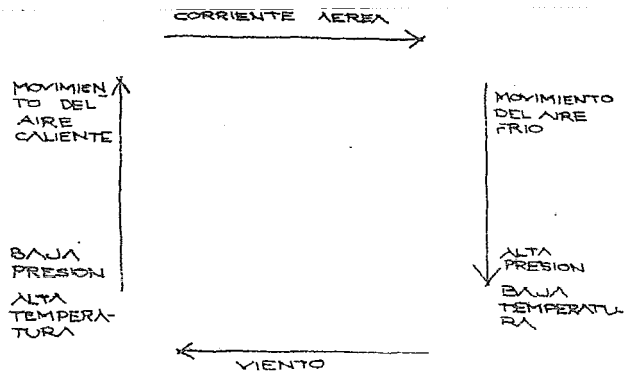
II.1. ORIGEN DEL VIENTO

El origen de los vientos y de las corrientes aéreas se debe buscar en la tendencia constante de la atmósfera a distribuir por igual el calor que recibe desigualmente.

El proceso se inicia cuando un área de la superficie te-

restre o del mar se calienta, el aire que esta sobre de ella se calienta también; su volumen en consecuencia, aumenta y su peso disminuye, originando un área de baja presión. El aire caliente, por su menor peso, asciende y para conservar el equilibrio el aire que se ha elevado es sustituido por aire de las zonas próximas, donde la temperatura es más baja y la presión más alta.

El aire frio que se mueve horizontalmente desde el área de alta presión a la de baja presión, es el viento; en tanto que el aire más caliente que se eleva verticalmente sobre el área de baja presión, constituye una corriente aérea (figura)



F. 2.1.

Siempre el aire más frio, proveniente de las zonas de alta presión, se desplaza hacia las zonas de baja presión, en donde

el aire caliente se eleva. Estudiando este fenómeno Buys - Ballot estableció lo que se conoce como primera ley de la circulación atmosférica.

"Los vientos siempre soplan desde las áreas de alta presión hacia las areas de baja pre sión".

Mientras mayor es la diferencia de presión en ambas zonas más fuertes son los vientos, entonces la segunda ley elaborada por Stephenson, dice:

"La velocidad del viento depende de la dife rencia de presiones de los dos puntos entre los cuales sopla".

II.2 TIPOS DE VIENTO

Los vientos se clasifican de acuerdo a sus características de la siguiente manera:

II.2.1. VIENTOS PLANETARIOS.

Afectan extensas áreas del planeta y soplan con algunas -

desviaciones e interrupciones, durante todo el año.

La atmósfera adquiere su calor de la superficie de la tierra y los mares. En la zona inmediata al ecuador, que recibe mayor insolación, el aire se eleva cargado de humedad, provocando lluvias diarias. Esta zona de baja presión, alta temperatura y aire húmedo, que rodea a la tierra, se denomina región de calmas ecuatoriales. Al elevarse el aire caliente en las calmas ecuatoriales se mueve por las capas superiores, de la tropósfera en dirección de las áreas polares. Parte de este aire se enfría y desciende en las cercanías de los trópicos y el resto continua su viaje hacia los polos, formando zonas de alta presión en los trópicos. A esta zona se le conoce como calmas subtropicales.

Desde las calmas subtropicales hacia las calmas ecuatoriales soplan durante todo el año, vientos llamados alisios. Debido a la rotación de la tierra los alisios no soplan del norte y del sur hacia el ecuador, sino que sufren una desviación. En el hemisferio norte los alisios tienen dirección nordeste y en el hemisferio sur su dirección es sureste.

El aire que proviene de las calmas ecuatoriales, viaja hasta los polos desciende sobre estos creando así zonas de alta presión. Moviéndose a baja temperatura, constituyen los vientos polares del este, soplando hacia las calmas subtropi

cales. Donde se encuentran los vientos provenientes de la faja intertropical y los vientos polares se produce una línea de choque llamada frente polar, en este sitio suelen crearse ciclones.

Los vientos que predominan en las fajas comprendidas entre las calmas subtropicales y el frente polar, soplan en dirección oeste, por lo que se les conoce como vientos prevalecientes del oeste.

II.2.2. VIENTOS LOCALES.

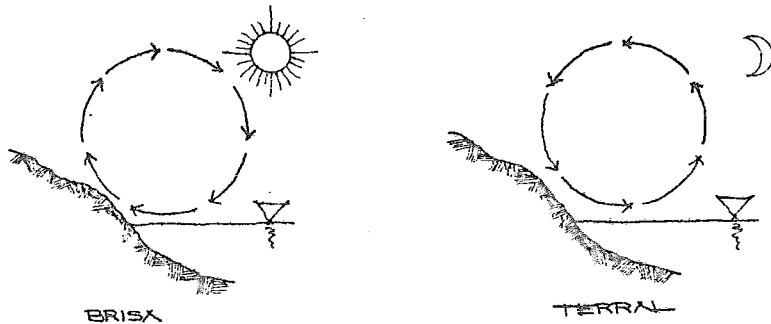
Estos vientos se producen por características particulares de determinadas regiones. Hay vientos que anteriormente se -
tenían como locales y ahora se ha descubierto su relación con otros tipos de vientos. Como ejemplo se puede citar a los -
Nortes que, en el invierno, se producen en el Golfo de México y el Caribe. La causa de ellos es el paso de anticiclones -
por el frente polar, que en el invierno se acerca a los trópi-
cos. Son vientos fuertes y fríos que causan lluvias al norte de México, y en los Estado Unidos notables descensos de tempe-
ratura.

II.2.3. VIENTOS CONTINENTALES

a) Las brisas. Estos vientos se generan debido a las - diferencias de presión que se producen entre los continentes y el mar, así existen según las condiciones, brisas de mar y brisas de tierra.

El origen de las brisas de mar es que, durante el día la tierra se calienta más rápido que el mar, formándose en ella un centro de baja presión, por lo tanto el viento sopla del mar hacia la tierra.

De noche, como la tierra se enfría más rápidamente se - forma en ella una zona de alta presión, así que el viento sopla de la tierra hacia el mar. Este fenómeno también se conoce como terral.



F. 2.2.

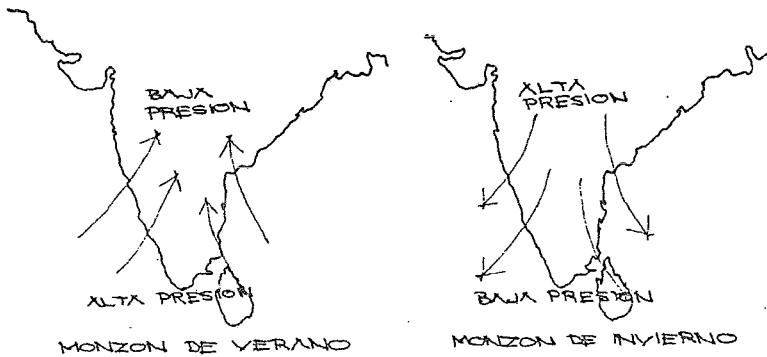
Los pescadores que todavía utilizan embarcaciones de vela,

aprovechan el terral saliendo de madrugada, de regreso, antes del anochecer, los impulsa la brisa.

Un proceso similar ocurre en el valle y la montaña, en el día se calienta más el aire próximo a la montaña, así la brisa es del valle hacia la montaña. Por la noche el fenómeno se - invierte.

b) Los monzones. Son provocados por la misma causa que las brisas, las diferencias de presión que se producen entre las masas continentales y los océanos, unidas a la migración del ecuador del calor según las estaciones del año.

En todos los continentes se producen vientos continentales de tipo monzónico, pero los más fuertes y característicos son los de Asia y, muy en especial, los de la India. En el verano los continentes se calientan más que los océanos, en Asia existen extensas regiones desérticas que, en el centro del continente alcanzan altas temperaturas, mientras que en el Océano Indico la temperatura es menor. Como se explicó al existir - zonas de baja presión (continentes) y zonas de alta presión - (océanos), entonces el viento sopla con fuerza desde el océano hacia el continente, como transporta humedad, produce lluvias las cuales son de gran beneficio en las actividades agrícolas de la India y regiones cercanas.



F. 2.3.

Cuando llega el invierno la situación es inversa, la tierra se enfría rápidamente mientras que el océano conserva el calor. Este monzón de invierno, con viento seco, sopla desde el continente hacia el océano.

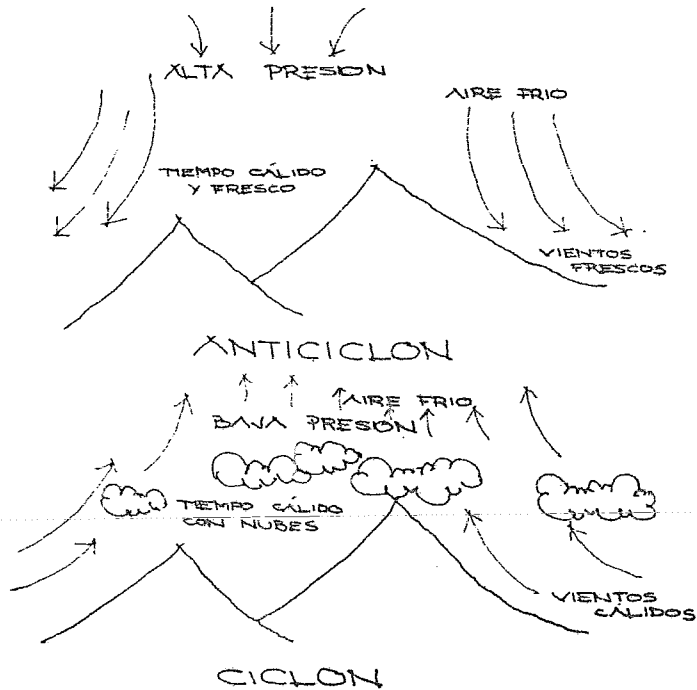
II.2.4. VIENTOS CICLONICOS

Se les da ese nombre por que se originan por vientos que se mueven alrededor de una zona de baja presión.

Los tipos de vientos ciclónicos son:

a) Ciclones. Se relacionan con los vientos planetarios. Como se mencionó el aire polar, frío y seco, se mueve hacia el ecuador. Los vientos del oeste se desplazan hacia los polos. El encuentro de las masas de aire, fría - seca y caliente - hu

meda, delimita el frente polar, donde se generan continuamente remolinos que se llaman ciclones o anticiclones.



F. 2.4.

Los ciclones se generan por vientos ligeros y húmedos que soplan alrededor de un área de baja presión. A su paso ocurre tiempo nublado, temperaturas elevadas y lluvias. También se les llama depresiones o bajas. A los anticiclones se les denomina altas.

b) Huracanes. También conocidos como ciclones tropicales, son gigantescos remolinos en los que el viento gira rápidamente

te en torno a un centro de baja presión.

Tienen un diámetro que varia entre 300 y 1000 metros. En el ojo de la tempestad existe una calma absoluta, incluso puede brillar el sol, mientras a su alrededor el huracán provoca los terribles daños que todos conocemos. La velocidad a la que se desplaza oscila entre 10 y 15 kilómetros por hora, los vientos giran alrededor del ojo alcanzan velocidades mayores a los 200 kilómetros por hora.

El origen de los huracanes no se conoce claramente, pero existen características comunes, como el iniciarse sobre aguas calientes en las zonas tropicales de los océanos y la existencia de áreas de baja presión donde ocurran continuos aguaceros. Si existen factores favorables los vientos, cada vez más fuertes, comenzarán a girar alrededor de la depresión, impulsados además por la rotación de la tierra, formando así un huracán. Cabe aclarar que todos los ciclones provienen de depresiones tropicales, pero no todas las depresiones originan huracanes.

Así como es incierto el origen de un huracán, también lo es su trayectoria. Este es uno de los casos en los que el hombre se encuentra imposibilitado frente a la naturaleza. Cuando el huracán penetra en algún continente o cruza mares fríos pierde bastante fuerza. Al penetrar en latitudes medias, per

diendo intensidad, se expanden tomando forma de ciclones y desaparecen al poco tiempo.

c) Tornados. Son ciclones de pequeñas dimensiones pero violentísimos.

El tornado es provocado por el rápido ascenso de una columna de aire caliente muy húmedo, en medio de una zona de baja presión. Su proceso inmediato no permite tomar precauciones, esto es una de las causas que los hace temibles.

Su diámetro apenas alcanza los trescientos metros y su recorrido también pequeño, es menor de 80 kilómetros. No existen instrumentos capaces de medir la velocidad de un tornado, que se cree superior a los 400 Kms. por hora. Son los vientos más veloces que se conocen, debido a la enorme presión que transporta, si pasa por una casa hace estallar las paredes, llevándose muebles, personas o animales.

Cuando un tornado se forma en el mar se le denomina tromba marina.

Ocurren en distintas regiones del mundo, pero los más frecuentes y catastróficos se han registrado en los Estados Unidos, en Cuba y demás países del Caribe. En la región Caribeña se les llama rabos de nube.

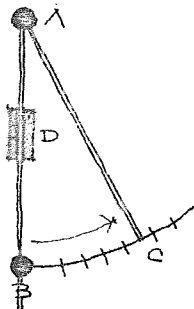
II.3. INSTRUMENTOS DE MEDICION

A los instrumentos mediante los cuales se aprecia la velocidad del viento se les denomina anemómetros, se dividen en tres clases; la primera la constituyen los provistos de una placa que mide la presión ejercida en ella; el segundo tipo son los que registran la presión que se ejerce sobre un tubo y el tercer tipo lo forman los que trabajan por rotación.

II.3.1. Anemómetros de placa de presión.

A este tipo de anemómetros pertenece el Osler (descrito en el capítulo anterior) que cayó en el olvido ni se intentó perfeccionar.

Existe otro tipo de anemómetro de placa, usado actualmente, que se basa en el siguiente principio : una placa metálica, generalmente aluminio, (AB) (figura) puede oscilar alrededor-



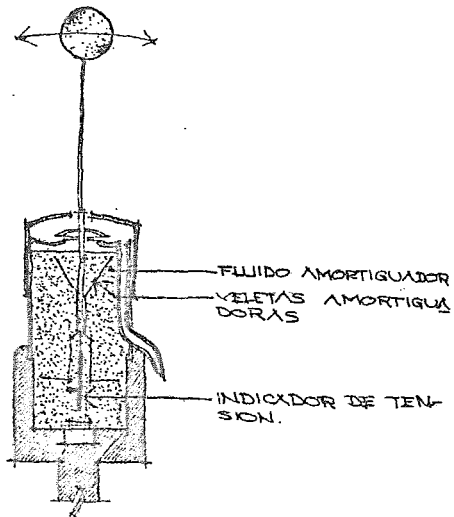
F. 2.5. Anemómetro de placa de presión.

del eje A. Orientando el aparato, con ayuda de una veleta, de manera que el viento incida perpendicularmente sobre la placa, esta girará alrededor de A, alcanzando una posición de equilibrio, indicando la velocidad en la escala (BC). La escala se gradua experimentalmente sometiendo al aparato a corrientes de aire con velocidades conocidas.

Cuando se trata de apreciar la velocidad correspondiente a vientos fuertes, se colocan en la placa dos pequeñas placas pesadas (D), sirviendo las divisiones de la escala, pero multiplicando sus valores por un coeficiente dado de antemano.

Una adaptación de este tipo de instrumento es el anemómetro miniatura desarrollado por la Asociación Británica de Investigación Eléctrica (B.E.R.A.) para usarlo en investigaciones acerca de la turbulencia del viento. El instrumento consiste en una esfera perforada, como elemento sensible, montada sobre la parte superior de un tubo, el movimiento es seguido por un indicador de tensión que genera una corriente proporcional a la presión del viento.

El instrumento es efectivo en un rango de velocidad de 0 - 112 Km/h con una esfera de 37.5 mm de diámetro y de 0-126 Km/h con una esfera de 23.4 mm. de diámetro. Ha sido satisfactoriamente usado en las investigaciones de la Asociación sobre la estructura de la turbulencia atmosférica.



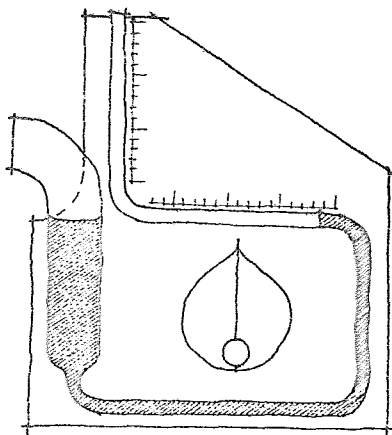
F. 2.6. Anemómetro de esfera.

II.3.2. Anemómetros de presión.

Este tipo de anemómetros miden la velocidad del viento - haciendo uso de la relación entre la presión dinámica en un - fluido en movimiento y la velocidad de la corriente. La presión dinámica del aire es relativamente baja, por lo que se necesitan manómetros sensibles para obtener resultados precisos.

El primer instrumento basado en este principio fue el - Snow-Harris (1858). Tenía todas las desventajas.

Se tenían que colocar cuatro anemómetros o se tenía que -



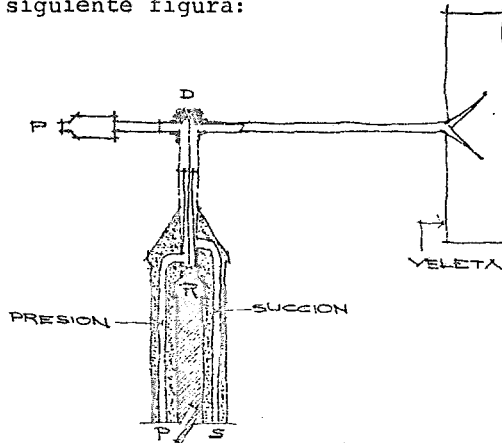
F. 2.7. Anemómetro Snow-Harris.

girar manualmente, ya que no se ideó el adaptarle una veleta.

Las velocidades bajas se leían en el tubo horizontal y en el tubo vertical se podían medir las velocidades altas. Esto - traía como consecuencia que en el cambio de una velocidad baja a una alta se tenía un tiempo de retraso dando lecturas que no correspondían, a los tiempos o intervalos irregulares. El mayor inconveniente es que la escala no es lineal, ya que la - presión es proporcional al cuadrado de la velocidad.

Estos problemas fueron resueltos por W. H. Dines, quien inventó un anemómetro con una parte sensible y otra registradora, capaz de hacer un registro continuo de velocidad de viento en una escala lineal. Dines construyó un prototipo en 1890 y posteriormente realizó algunas pequeñas modificaciones y solo recientemente se ha visto desplazado por el anemómetro - generador de copas.

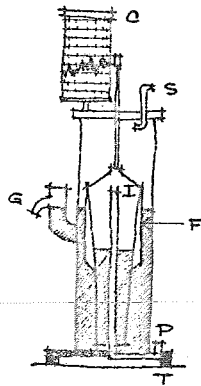
La parte superior de este aparato, la sensible se representa en la siguiente figura:



F. 2.8. Sensor del Anemómetro Dines.

El tubo P está abierto, siendo siempre orientado a la dirección del viento por una veleta. De esta parte superior del aparato parten dos tubos, uno exterior, y otro interior que se comunican con la parte registradora del mismo; son P y S. Al soplar el viento en P se produce un aumento de presión que se transmite al aparato registrador por el tubo P. El tubo exterior S está provisto de cuatro filas de agujeros, los cuales atravieza el aire, produciendo una disminución de presión, siendo transmitida al aparato registrador mediante el tubo S. Esta parte superior se instala a 10 mts. de altura sobre el sitio donde se desea registrar, ya sea campo abierto o construcción, con el objeto de evitar la turbulencia que se produce cerca de la superficie.

La parte registradora consta de un flotador F contenido en un cilindro con agua cuyo nivel debe permanecer constante, lo que se obtiene mediante G. El flotador F está unido en la parte superior a una varilla que pasa a través de un collar y en cuyo extremo está la pluma que registra sobre C la velocidad del viento.



F. 2.9. Registrador del Anemómetro Dines.

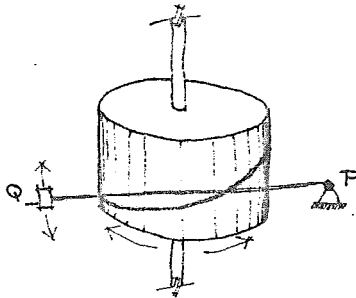
Las acciones que se transmiten a lo largo de P y S se conjuntan, pues, por el tubo P se transmite el aumento de presión producido por el viento en la parte sensible del aparato, lo cual da lugar a un aumento de presión en el interior del flotador F y, por lo tanto, tiende a ascender. Mientras que la succión que transmite S tiende, también a hacer subir el flotador. El empleo de ambos tubos elimina los cambios de presión que pueden ocurrir en el local.

Mediante las llaves T se puede establecer comunicación con el aire local donde está instalado el aparato, a fin de llevar el flotador y por consiguiente la varilla con la pluma a la posición cero.

La parte especial que tiene el interior I del flotador es necesaria para que los desplazamientos de la pluma sean proporcionales a las velocidades.

Este aparato suele ir acompañado de un dispositivo mediante el cual se pueden registrar convenientemente la dirección del viento. En la parte superior del aparato se fija una varilla que desciende a lo largo del tubo interior en la dirección DR, pasando al exterior a través de un collar de aire hermético y terminando en el dispositivo de registro de direcciones, estos dispositivos se deben a Dines y Munro-Rooker.

El dispositivo Munro-Rooker consiste en un cilindro metálico en cuya porción lateral hay una ranura helicoidal que sirve de guía a un cursor sujeto a una varilla PQ con su extremo P fijo. El extremo Q lleva una pluma mediante la cual escribe la dirección.



F. 2.10 Dispositivo Munro-Rooker

II.3.3. ANEMOMETROS ROTATORIOS.

Estos anemómetros consisten de tres o cuatro copas semi - esférica montadas sobre una varilla que se une en un punto alrededor del cual giran, debido a la diferencia de empuje que provoca el viento, entre los lados abiertos y cerrados de las copas.

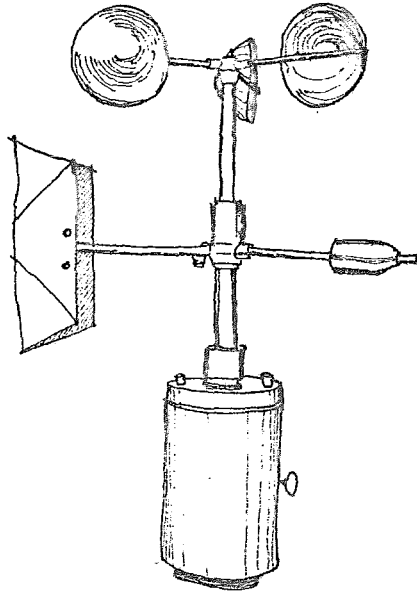
Hay tres tipos de anemómetros de copas; contador, de contactos y de generador.

El anemómetro de copas contador está dotado de un dial con contadores que registran la carrera del viento en millas. Se utilizan para medir velocidad media del viento en intervalos de tiempo relativamente grandes (horas o días)

El anemómetro de copas de contactos está equipado con con-

tactos eléctricos que se cierran momentáneamente y pasado un número determiando de cierres suena un timbre. Se calibra - para hacer contacto, usualmente, cada 1/20 de milla de viento y el número de contactos hechos en tres minutos da la velocidad media del viento en millas por hora. Se utilizan principalmente para realizar cartas de velocidad media del viento.

El anemómetro de copas generador, mueve un pequeño imán dentro de un alternador y el indicador no es más que un voltímetro calibrado en millas/hora o Km/hora. Ya se dotó a este instrumento una pluma registradora con el objeto de tener registros continuos. Se está utilizando en la actualidad con más frecuencia que el anemómetro Dines, dado que tiene la gran ventaja de que el registro puede ser tomado a una considerable distancia de la parte sensible, reduciendo los costos de instalación y mantenimiento. Una desventaja es el estar construido de tal forma que se busca el mínimo de fricción en la parte sensible, esto lo hace correr en las ráfagas, por lo que se ha optado utilizarlo para obtener velocidades medias. Antiguamente se decía que por la inercia rotacional las velocidades registradas eran retrasadas pero, este problema se ha evitado con el uso de materiales ligeros como el aluminio o fibra de vidrio.



F. 2.11. Anemómetro de copas

II.4. ESTADISTICA DE EXTREMOS

II.4.1. ANTECEDENTES.

Con los instrumentos de medición descritos anteriormente se obtienen los registros de velocidades y dirección del viento pero a los Ingenieros no les interesa un registro que les muestre como ha variado el viento en un determinado lapso de tiempo, lo que necesitan es un parámetro para diseñar alguna estructura. Si se tomase como valor de diseño la velocidad media se estaría en un error porque el diseñar una estructura resistente al viento, como carga accidental, implica que se

debe considerar la probabilidad de ocurrencia de un viento - extraordinario durante su vida útil.

Para determinar las velocidades de diseño se recurre a una parte especializada de la estadística llamada estadística de - extremos, donde el tipo de distribución es asintótico, no como en el caso de las distribuciones normales en las que los datos se agrupan alrededor de un valor central. Esta distribución se debe a que en pocas ocasiones se tienen velocidades de gran - magnitud.

El objetivo de la estadística de extremos es el analizar - los valores extraordinarios observados, para poder pronosticar valores extremos remotos.

Los estudios de estadística de extremos intentan dar respuesta a dos tipos de preguntas: ¿En una muestra de cierta - distribución, creyendo conocerla, puede una observación individual caer fuera de sitio y ser, razonablemente, esperada? ¿Pueden una serie de valores extremos mostrar un patrón regular de conducta? En ambos casos "esperanza razonable" y "patrón regular de conducta" tienen que ser definidos mediante un procedimiento operativo.

Los orígenes de la estadística de extremos se remontan - hasta 1709 cuando Nicolás Bernoulli se ocupó de un problema de actuaría: n hombres de la misma edad mueren a los t años. ¿Cuál es la duración media de vida del último sobreviviente?

El redujo esta cuestión a lo siguiente: n puntos dispuestos aleatoriamente sobre una línea de longitud t . El calculó la media a partir de la mayor distancia al origen.

Las primeras investigaciones sobre la teoría de valores extremos se inició a partir de distribuciones normales. Esto fue razonable en vista de su importancia práctica. Los astrónomos quienes trabajan repitiendo observaciones del mismo objeto, por ejemplo el diámetro de una estrella, fueron los primeros en interesarse en establecer un criterio para aceptar o deshechar un valor fuera de serie. En 1852, Peirce se ocupó del problema tratando de resolverlo en forma de test. Otro método primitivo se debe a Cauvenet (1878).

Los valores extremos se encuentran ligados a pequeñas probabilidades. En conexión con esto se pueden mencionar las leyes de Poisson que, a través de sus enunciados, se enfocan a pequeñas probabilidades. Poisson dió el número de eventos raros, la teoría de valores extremos considera su medida. Durante 60 años los estudios de Poisson no fueron otra cosa que una curiosidad matemática, hasta que L. Von Bortkiewicz (1898) mostró su significado estadístico y por lo tanto su importancia. En 1922 fue el primero en estudiar valores extremos como tema de trabajo. En los años siguientes, R. Von Mises introduce las nociones fundamentales de valores extre-

mos (todavía no se conocían con este nombre) y mostró la relación asintótica con la media de valores máximos normales.

En 1925, L. H. C. Tippett calculó la probabilidad de valores máximos para diferentes medidas de muestras arriba de -- 1000 elementos y el rango normal de la media para muestras de 2 a 1000 elementos. Tippett elaboró una tablas que fueron las bases fundamentales con fines prácticos de valores máximos de distribución normal.

El hecho de que la mayoría de las investigaciones consideran distribuciones normales detuvo, en cierta forma, el desarrollo de la teoría, se puede observar que algunos de los teoremas fundamentales de valores extremos se relacionan, de una forma simple, con la distribución normal. El primer estudio de valores máximos para otras distribuciones fue hecho por E. L. Dodd en 1923. Su trabajo, basado en valores asintóticos, muestra características semejantes a los valores máximos estudiados anteriormente.

El primer artículo que se basó en el concepto de una distribución inicial diferente a la normal fue elaborado por M. Frechet (1927). El fue el primero en obtener la distribución asintótica de valores máximos. Un hecho de mayor importancia fue que mostró que valores máximos tomados de diferentes dis-

tribuciones iniciales tienen una propiedad común, pueden tener una distribución asintótica semejante. Introdujo el postulado de estabilidad. El artículo de Frechet publicado en una revista casi desconocida, nunca obtuvo el mérito merecido, debido a que el tipo de distribuciones consideradas no es muy frecuente. En el siguiente año R. A. Fisher y L. H. C. Tippett publicaron un artículo que es básico para trabajar con valores extremos. Usando el mismo postulado de estabilidad, encontraron en adición a la distribución asintótica de Frechet otras distribuciones asintóticas válidas para otros tipos iniciales.

II. 4.2. APLICACION

La velocidad del viento es una variable aleatoria. Cuando se define la velocidad mínima de diseño se debe considerar tanto como la frecuencia con que se presenta esta velocidad como la probabilidad de que durante la vida útil de la estructura no se exceda la velocidad de diseño. La solución a este problema proviene de un análisis estadístico de los registros de viento, teniendo presentes tres aspectos; tipo de observación, función de la observación y la función estadística representativa.

Si se toma un registro de viento, en él se pueden leer velocidades instantáneas a lo largo de un intervalo de tiempo (día - semana). Para no trabajar con una gran cantidad de -

datos se puede hacer un promedio aritmético, por día o semana, teniendo un valor representativo. Otra forma de utilizar los registros es tomando los valores máximos (diarios, - semanales, mensuales, etc.) evitando trabajo numérico y sobre todo garantizando que durante el intervalo considerado, no se presentarán velocidades mayores. Por lo tanto es conveniente utilizar velocidades máximas.

El tipo de función debe ser escogida de acuerdo con los máximos periódicos que tengan efectos en el diseño estructural. Una estructura debe resistir los vientos críticos cada mes - del año, consecuentemente resiste el máximo anual. Las estadísticas formadas con poblaciones mensuales resultarían de poco valor, comparadas con las anuales. Si se tomaran valores múltiples del año resultaría inconveniente, ya que el análisis no se podría referir con precisión. Es así que el año - es el periodo óptimo para la función máxima.

Buscando el tipo de distribución estadística se pueden - hacer los siguientes razonamientos: Si se toman los registros de velocidades instantáneas (de Cabo Kennedy y el edificio - prisma)* y de velocidades máximas anuales (Observatorio de - Tacubaya)** haciendo los polígonos de frecuencias respectivos

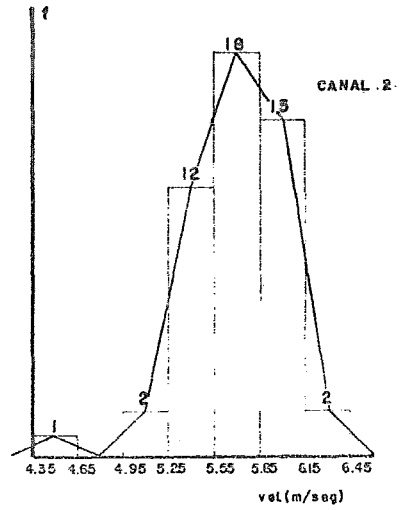
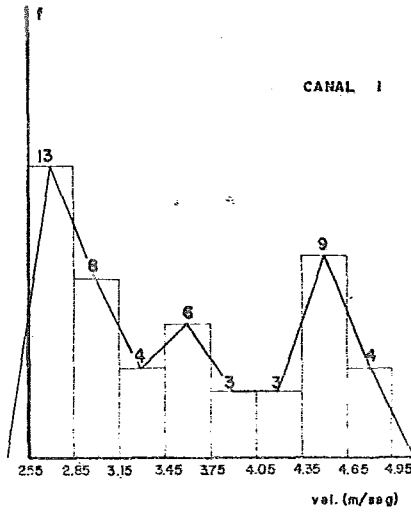
* Ver el Apéndice 1

** Ibid.

(5 pag. siguientes) se observa que las formas de distribución que se presentan no son las comunes, ya que los datos no se agrupan alrededor de valores medios. La distribución que se presenta es multimodal. Por otra parte en los polígonos de velocidades instantáneas los rangos de velocidad son menores que en el de velocidades máximas anuales.

Para un ingeniero es de mayor interés determinar una velocidad de diseño más que las formas de distribución. Si se toma como velocidad de diseño 26.5 m/seg. se puede asegurar que en 40 años de registro no se ha presentado una velocidad mayor, surgiendo la incertidumbre. ¿Cuál es la probabilidad de que en los años siguientes (vida útil de la estructura) - se presente una velocidad mayor? Entonces el objetivo principal es el determinar velocidades probables del viento.

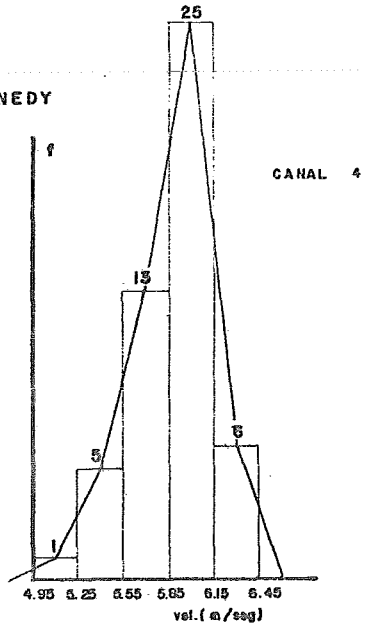
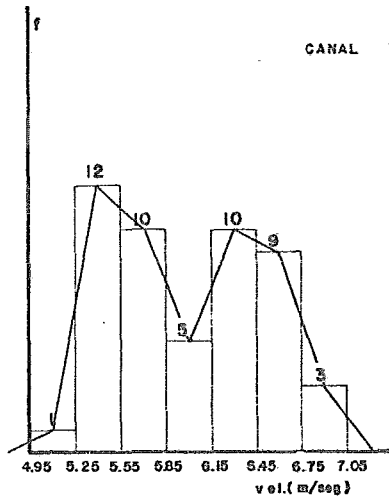
La estadística de extremos muestra que sólo se pueden presentar 3 formas de distribución, sin considerar la población, conocidas como distribuciones asintóticas.

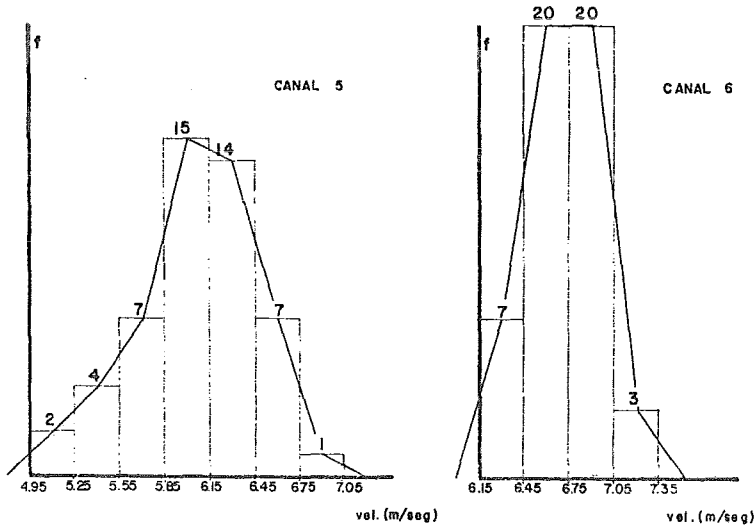


6.2.1. POLIGONOS DE FRECUENCIAS

CANALES 1 - 4

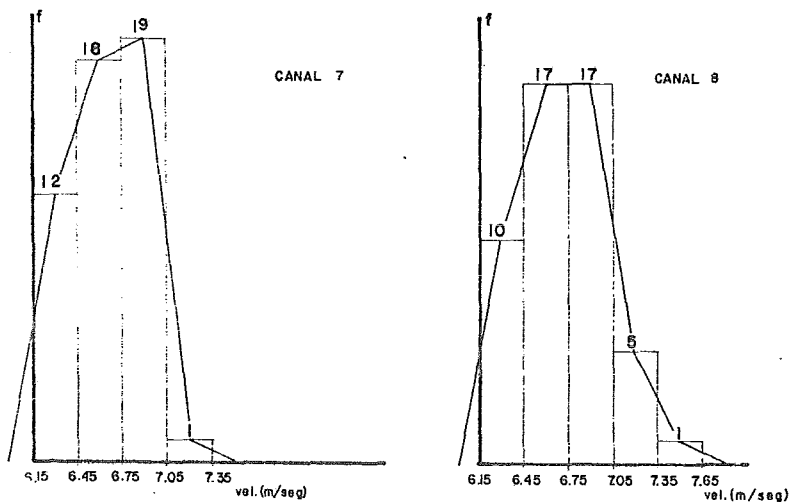
CABO KENNEDY

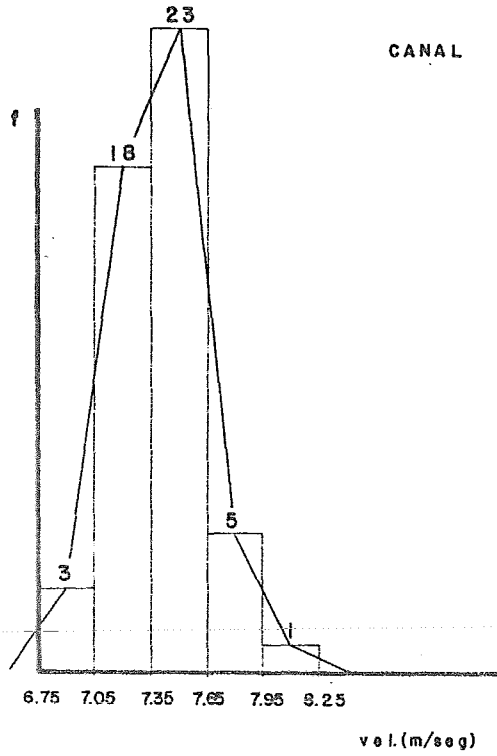




POLIGONOS DE FRECUENCIAS CANALES 4 - 8

CABO KENNEDY.



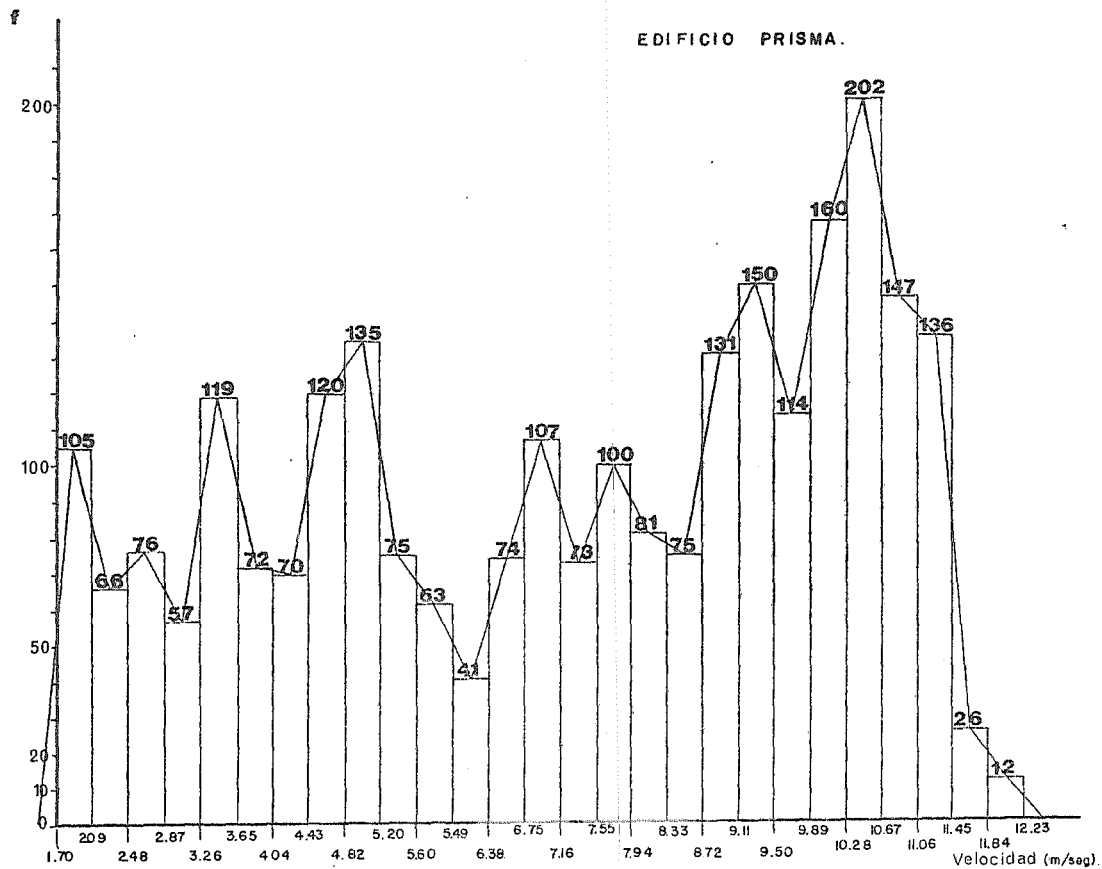


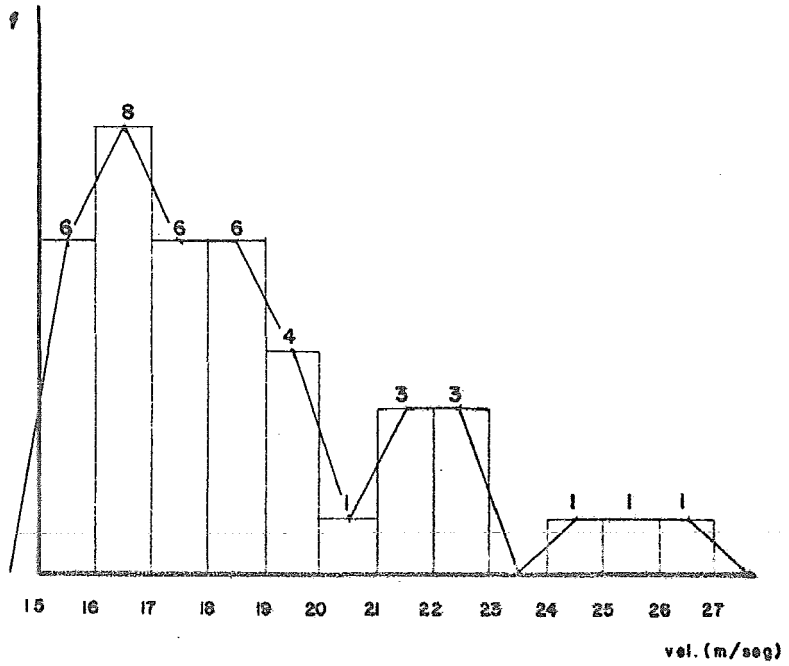
CANAL 9

POLIGONO DE FRECUENCIAS CANAL 9

C A B O KENNEDY

G.2.2 POLIGONO DE FRECUENCIAS





G.2.3 POLIGONO DE FRECUENCIAS

OBSERVATORIO DE TACUBAYA.

La distribución tipo I se define mediante la siguiente -
expresión:

$$F_I(x) = e^{-e^{-x}}$$

que es la forma límite de las 3 distribuciones.

La distribución tipo II se define de la siguiente forma:

$$F_{II}(x) = e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}}$$

$$\text{con } \begin{aligned} x &\geq 0 \\ \beta &> 0 \\ \gamma &> 0 \end{aligned}$$

y condición de frontera $F_{II}(0) = 0$

La distribución tipo III se define por:

$$F_{III}(x) = e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}}$$

$$\text{con } \begin{aligned} x &\leq 0 \\ \beta &< 0 \\ \gamma &> 0 \end{aligned}$$

y condición de frontera $F_{III}(0) = 1$

Como la función tipo II representa una población con nú-

meros positivos y frontera inferior nula, puede representar la distribución de velocidades máximas de viento.

Si en la función seleccionada u_x representa la velocidad correspondiente a una probabilidad $F(u_x)$, la ecuación anterior se puede escribir:

$$\bar{F}(u_x) = e^{-\left(\frac{u_x}{\beta}\right)^\gamma}$$

haciendo

$$\frac{1}{\bar{F}(u_x)} = e^{\left(\frac{u_x}{\beta}\right)^\gamma}$$

tomando dos veces los logaritmos naturales

$$LL \frac{1}{\bar{F}(u_x)} = -\gamma L \left(\frac{u_x}{\beta} \right)$$

o bien:

$$LL \frac{1}{\bar{F}(u_x)} = -\gamma (L u_x - L \beta) \quad \text{--- } \textcircled{1}$$

haciendo operaciones.

$$L u_x = L \beta - \frac{1}{\gamma} LL \frac{1}{\bar{F}(u_x)}$$

$$\therefore -A\bar{x} + B = \sum L_i \beta$$

de donde

$$L\beta = \frac{-A\bar{x} + B}{n} = \frac{-A\bar{x} + B}{-A}$$

$$\Rightarrow L\beta = \bar{x} - \frac{B}{A}$$

Determinando A y B por mínimos cuadrados

$$\frac{\partial \sum (n - n_i)^2}{\partial A} = 0 \qquad \frac{\partial \sum (n - n_i)^2}{\partial B} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sum (n - n_i)^2}{\partial A} &= \frac{\partial \sum [A(\bar{x}_i - \bar{x}) + B - n_i]^2}{\partial A} \\ &= 2 \sum [A(\bar{x}_i - \bar{x}) + B - n_i](\bar{x}_i - \bar{x}) = 0 \end{aligned}$$

si $B \sum (\bar{x}_i - \bar{x}) = 0$

$$\Rightarrow A = \frac{\sum n_i (\bar{x}_i - \bar{x})}{\sum (\bar{x}_i - \bar{x})^2}$$

$$\frac{\partial \sum [A(\bar{x}_i - \bar{x}) + B - n_i]^2}{\partial B} = 2 \sum [A(\bar{x}_i - \bar{x}) + B - n_i] = 0$$

$$A \sum (\bar{x}_i - \bar{x}) + Bn - \sum n_i = 0$$

si $A \sum (\bar{x}_i - \bar{x}) = 0$

$$\Rightarrow B = \frac{\sum n_i}{n}$$

Tomando los registros obtenidos en el Observatorio de Tacu**u**baya (vientos máximos anuales) (ver Apéndice 1) trataremos de

encontrar la función de distribución de acuerdo con la estadística de extremos. Para determinar los parámetros β y γ se elaboró la tabla de la página siguiente.

U_i	f	f_{cum} m	$\frac{F(U_i)}{m}$	$\frac{1}{F(U_i)}$	$\xi_i = L U_i$	$\xi_i - \xi$	$(\xi_i - \xi)^2$	$L \left[\frac{1}{F(U_i)} \right]$	$n_i = L \left[\frac{f}{m} \right]$	$n_i (\xi_i - \xi)$	$R = \frac{1}{1 - F(U_i)}$
56	8	8	0.1951	5.1250	4.0254	-0.2664	0.0710	1.6341	0.4911	-0.1308	1.24
60	8	16	0.3902	2.5625	4.0945	-0.1974	0.0390	0.4910	-0.0608	0.0120	1.64
64	8	24	0.5854	1.7083	4.1589	-0.1329	0.0177	0.5355	-0.6245	0.0830	2.41
68	3	27	0.6585	1.5185	4.2195	-0.0722	0.0082	0.4177	-0.8729	0.0631	2.93
72	3	30	0.7317	1.3667	4.2767	-0.0151	0.0002	0.3124	-1.1636	0.0175	3.73
76	3	33	0.8049	1.2424	4.3307	0.0390	0.0015	0.2171	-1.5276	-0.0596	5.13
80	4	37	0.9024	1.1081	4.3820	0.0903	0.0082	0.1027	-2.2764	-0.2055	10.25
84	0	37	0.9024	1.1081	4.4308	0.1391	0.0193	0.1027	-2.2764	-0.3166	10.25
88	1	38	0.2680	1.0789	4.4773	0.1856	0.0344	0.0760	-2.5772	-0.4783	13.67
92	2	40	0.9756	1.0250	4.5218	0.2300	0.0529	0.0247	-3.7013	-0.8514	41.00

$n=10$ $N=40$

$42.9175 - 15 \times 10^{-8} 0.2494$

$-14.5895 - 1.8666$

$$\xi = \frac{42.9175}{10} = 4.29175$$

T.2.1. AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS PARA DETERMINAR
LOS PARAMETROS β Y γ

De los registros de Tacubaya (Apéndice 1) se procedió de la siguiente forma

- a) Se ordenaron los datos de menor a mayor.
- b) Se formaron intervalos estableciendo la frecuencia respectiva.
- c) Se tomaron distribuciones aproximadas con la expresión:

$$F(r_i) = \frac{m}{N+1}$$

y se desarrolló el procedimiento.

De la tabla de la pag. anterior

$$A = \frac{-1.8666}{0.2494} = -7.4844$$

$$B = \frac{-14.5895}{10} = -1.4589$$

$$L\beta = 4.2917 - \frac{1.4589}{7.4844}$$

$$L\beta = 4.0968$$

$$\beta = 60.14826341$$

$$\gamma^t = 7.48436648$$

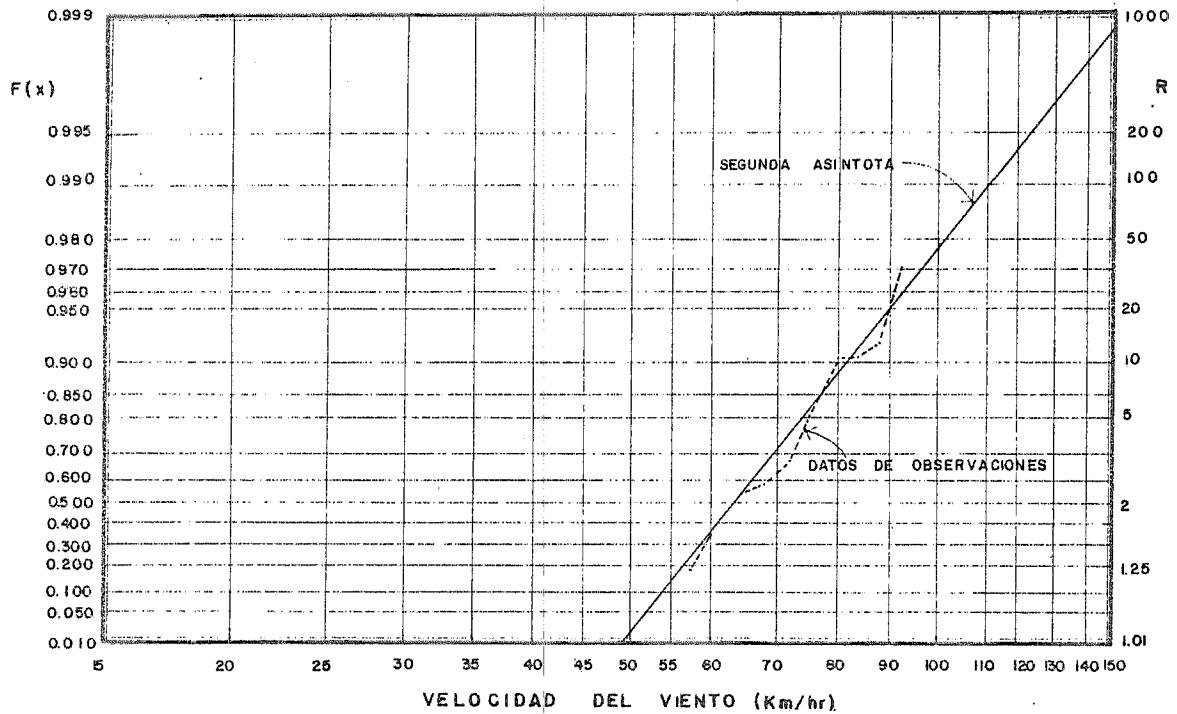
Una vez establecidos los parámetros se puede graficar la ecuación

$$Y = [-x + L\beta] \gamma^t$$

Comparando la línea obtenida con las observaciones realizadas Gráfica Pag. 75 se ve que se encuentra dentro de un intervalo de confianza. Concluyendo que la distribución del tipo II es adecuada para representar la distribución del viento.

Haciendo un análisis de este tipo a los observatorios de la república se llegó a establecer un régimen de viento (ref. 1). Apoyándose en el mismo criterio la Comisión Federal de Electricidad establece una regionalización eólica donde para cada zona establece una velocidad mínima de diseño para 2 - periodos de recurrencia distintos, 50 y 200 años (ref. 7).

Por último, existe cierta incertidumbre debido al corto tiempo de registros, pero hasta la fecha el comportamiento del viento no ha excedido lo esperado, además de que se conocen las experiencias de otros países que confirman estas teorías. Es obvio que cuando se cuente con registros extensos y confiables se podrá conocer el comportamiento eólico de una forma precisa.



G.2.4 AJUSTE DE RECTA OBSERVATORIO TACUBAYA .

COMENTARIOS

Existen teorías que proponen que el viento viaja en forma de ondas, entre los trópicos y el ecuador, deshechando la clasificación de vientos presentada o mejor dicho reclasificando los tipos de viento. Por ejemplo, el monzón de invierno puede formar parte de una de las ondas y el de verano formar parte de otra onda. Los vientos alisios y los del oeste si serían descartados, pues no concordarían con la nueva idea. Estas teorías no se han discutido ampliamente, así que no se han llegado a aceptar universalmente, por tal motivo se presentó la clasificación clásica de los tipos de viento.

En sitios aislados donde se encuentran algunas estaciones meteorológicas se tienen anemómetros de placa de presión, pues los registros de precipitación pluvial, humedad, viento, etc. no se hacen a diario. Estos instrumentos son económicos. En observatorios, sitios de fácil acceso y sobre todo donde interesa conocer el comportamiento del viento se cuenta con anemómetros tipo Dines y Robinson; por lo general el primero se utiliza para hacer registros de velocidades instantáneas y el segundo para hacer registros de velocidades medias.

Para estimar velocidades probables asociadas a períodos de retorno definidos, la estadística de extremos demuestra ser la herramienta adecuada. Aunque el registro en México es relati-

vamente reciente (45 años) las velocidades estimadas se encuentran dentro de intervalos de confianza respecto a las - que año con año se registran.

C A P I T U L O III

ACCION DEL VIENTO.

Para hablar de efectos localizados, es necesaria una descripción a fondo del comportamiento del viento. Se establece a través de los conceptos básicos un marco de referencia, tratándose al viento como un fluido. Dentro de este contexto se analizan la dirección, la velocidad y las ráfagas. Adicionalmente se explica la obtención de coeficientes de empuje y los efectos generales del viento en las estructuras.

III.1. CONCEPTOS BASICOS

Daniel Bernoulli estableció las bases de la Mecánica de Fluidos con su ecuación, a la que llegó considerando la energía cinética y potencial de un fluido.

La energía manifestada en movimiento es la energía cinética. Si deseamos conocer la fuerza de un cuerpo en movimiento, recurriendo a la segunda Ley de Newton, tenemos :

$$F = m a$$

si la fuerza se ejerce durante un tiempo t. La distancia que recorre el cuerpo será =

$$S = \frac{1}{2} a t^2$$

el trabajo realizado para acelerar el cuerpo es el producto de la fuerza por la distancia

$$\begin{aligned} W &= F s \\ &= (m a) \frac{1}{2} a t^2 \\ &= \frac{1}{2} m (a t)^2 \end{aligned}$$

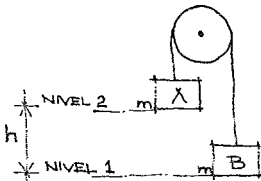
pero $a t$ es igual a la velocidad final, entonces

$$W = \frac{1}{2} m v^2$$

El trabajo para acelerar un cuerpo es la energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

La Energía Potencial es el trabajo hecho sobre el cuerpo contra la gravedad, al mover un cuerpo a determinada posición se está realizando este tipo de trabajo.



La figura muestra dos cuerpos, A y B, cada uno con peso w masa m , fijos a una cuerda que pasa por una polea. Suponiendo que la fricción es cero y que la cuerda y la polea tienen masa cero. Al bajar el cuerpo A al nivel 1, recorriendo la distancia h , haría trabajo al levantar el cuerpo B la misma distancia h . El trabajo realizado sería

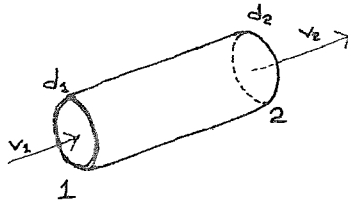
$$W = Fs = wh = mgh$$

puesto que el cuerpo A en su posición inicial hubiera podido hacer esta cantidad de trabajo, su energía potencial, con relación al nivel 1, era inicialmente.

$$E_p = wh = mgh$$

cediendo toda la energía al cuerpo B.

Bernoulli pensó que un fluido en movimiento es capaz de hacer trabajo y por lo tanto contener energía combinada en cualquiera de sus formas. Tratando de encontrar la relación entre las formas de energía pensó en un segmento de una vena líquida, donde los puntos 1 y 2 son segmentos en los que se



F. 3.1

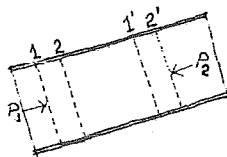
tienen las velocidades v_1 y v_2 , respectivamente. La energía cinética por unidad de volumen es $\frac{1}{2} \rho v^2$ y la energía potencial es ρgh

En este caso se utiliza la densidad, ρ por que no se puede hablar de la energía total del cuerpo y se tienen que -

realizar los cálculos en términos de unidad de volumen, h es la altura sobre un plano de referencia y g es la constante de gravitación.

Quando el flujo es estable, por ejemplo si la velocidad es la misma en distintas secciones, la energía cinética y potencial es constante en cualquier punto del flujo, también se conserva constante en el tiempo. Sólo a través de cambios de velocidad y altura de un punto a otro, como en la figura anterior, se tienen cambios en las formas de energía.

Considerando la masa del fluido que en un intervalo de tiempo dt se mueve de $1 - 1'$ a $2 - 2'$. Si el flujo es estable



F. 3.2

la energía total del fluido entre 2 y 1' no cambia en el intervalo dt . Cualquier cambio en la energía total es la masa $1 - 1'$ puede tomar lugar en las partículas que se mueven de 1 a 2 y las de 1' a 2'. El cambio en la energía por unidad de volumen se puede expresar.

$$dE = \left(\frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2\right) - \left(\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1\right) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

el trabajo final del fluido está dado por las siguientes ecuaciones:

$$W_1 = p_1 a_1 (1-2)$$

$$W_2 = p_2 a_2 (1'-2')$$

donde p_1 y p_2 son las presiones en los puntos 1 y 2 respectivamente y a_1 y a_2 son las áreas transversales.

De la ecuación de continuidad, que nos dice que el gasto es constante en cualquier sección, los volúmenes $a_1 (1-2)$ y $a_2 (1'-2')$ son iguales. Si los representamos por dv , el trabajo realizado es:

$$W = (p_1 - p_2) dv \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

y debe ser igual al cambio de energía y las ecuaciones 1 y 2 pueden ser igualadas

$$(p_1 - p_2) dv = \left[\left(\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 \right) - \left(\frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \right) \right] dv$$

ordenando

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

dividiendo entre ρg

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2$$

Esta es la expresión del teorema de Bernoulli, da la energía en el fluido por unidad de masa, usualmente se presenta de ésta forma

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{constante}$$

En los sistemas donde el fluido es gas, la energía potencial es despreciable, la ecuación de Bernoulli toma la siguiente forma

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante.}$$

III.2. DIRECCION DEL VIENTO.

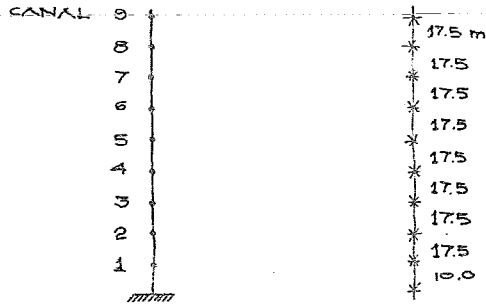
La dirección del viento es aquella desde la cual sopla, referida a los puntos de la Rosa de los Vientos o bien a un sistema sexagesimal cuyo origen se orienta al norte.

Este concepto se ha utilizado en la navegación, ya que en el mar el viento llega a conservar constantes dirección y velocidad. En los continentes debido a las irregularidades topográficas el viento sufre cambios de dirección y velocidad. En las ciudades es tan marcada esta variación, por el calor generado y las diferencias de nivel en las construcciones, que no se puede hablar de dirección del viento.

En la costas de Cabo Kennedy, en Florida se llevó a cabo el siguiente experimento, que entre otras cosas, nos muestra

las variaciones de dirección y velocidad del viento con la altura.

El experimento consistió en lo siguiente: se construyó una torre de 150 metros de altura en la que se colocaron canales de registro que permitiesen conocer velocidad, dirección horizontal y dirección vertical del viento a distintas alturas. Los canales se dispusieron de la siguiente forma: el Canal 1 se colocó a 10 mts. sobre la superficie del terreno, el Canal 2 se alojó a 17.5 mts. sobre el primero. Del Canal 2 en adelante la distancia entre canales fue 17.5 mts. hasta llegar a 150 mts., lo que da un total de 9 canales de registro.



F. 3.3.

El sitio de registro es zona costera sin obstáculos. Las lecturas se hicieron cada décima de segundo, en el Apéndice 1 se muestran los datos de cinco segundos de registro.

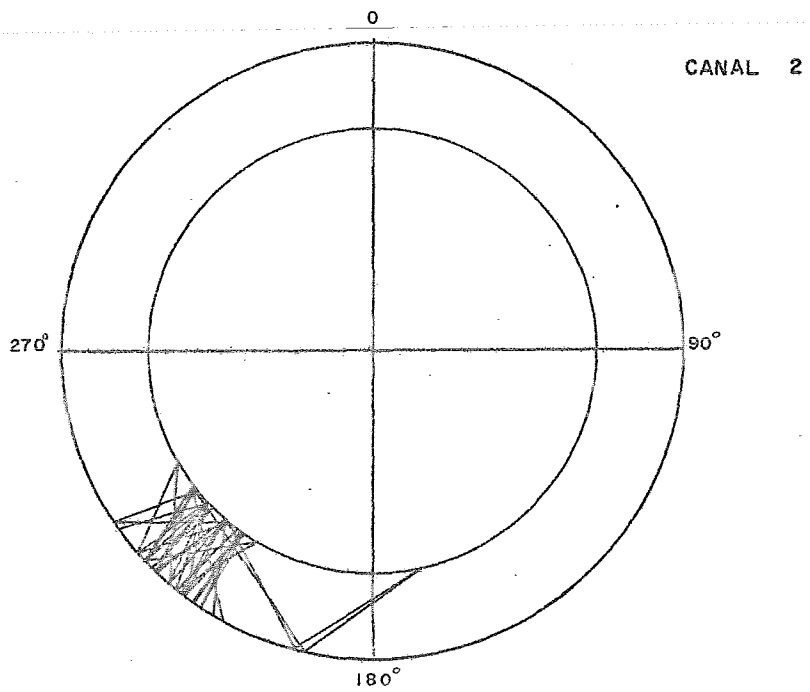
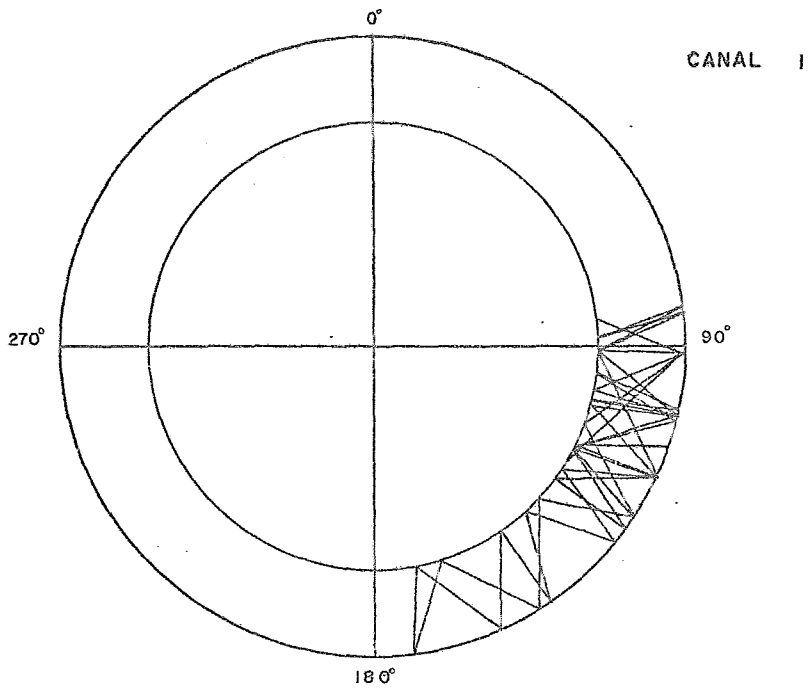
En las gráficas siguientes se representa el cambio de di-

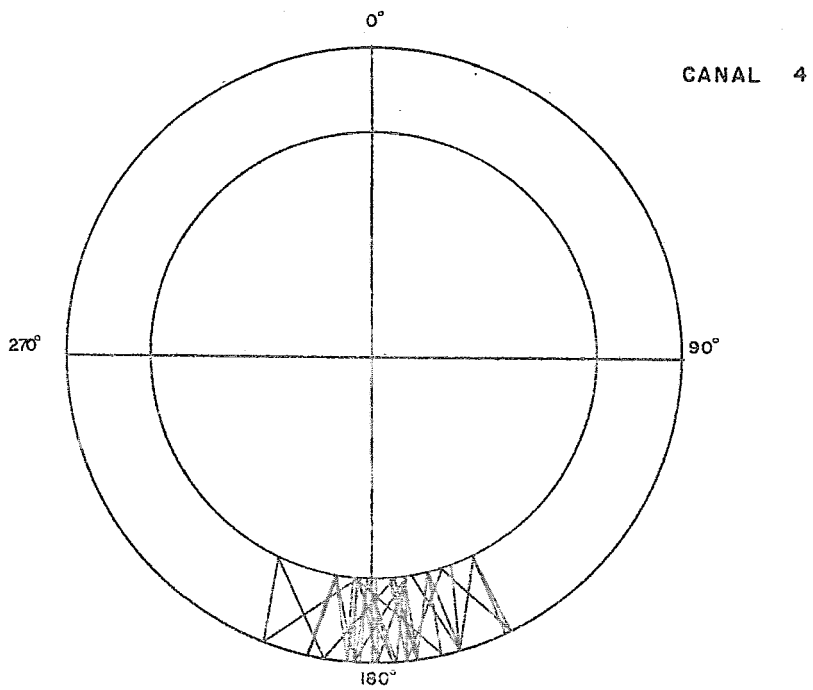
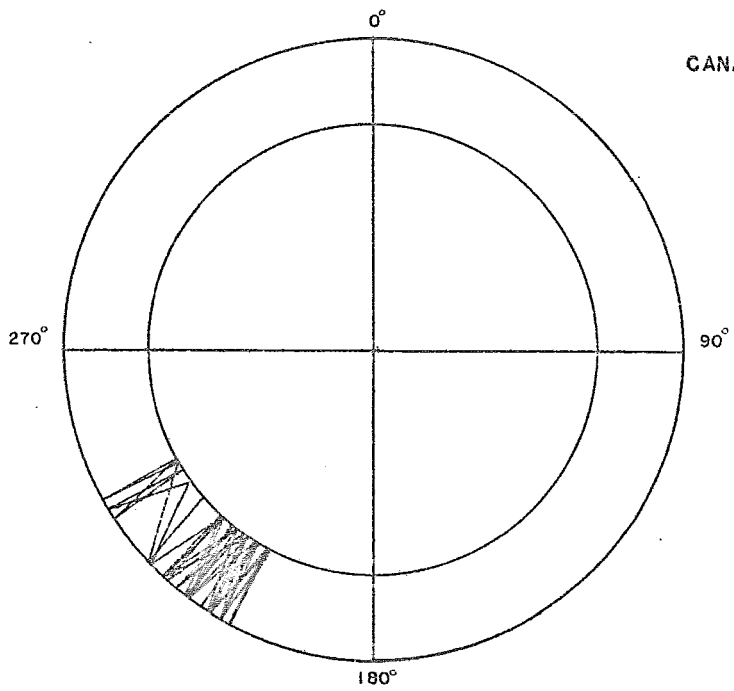
rección por canal en el intervalo de registro. El paso del circuito exterior al interior representa una décima de segundo. Como las lecturas se efectuaron de día se puede observar, en los canales 2 al 9, la brisa marina entre el sur y el oeste. En el canal 1 no se puede apreciar este fenómeno por su cercanía al terreno firme. Aunque se puede pensar que en las costas el viento tiene una dirección definida (ver los registros de la siderúrgica Lazaro Cárdenas) este experimento demuestra que existen pequeñas variaciones que deben tenerse en consideración al hablar de efectos del viento en estructuras. Una situación radicalmente distinta es cuando se presenta un huracán.

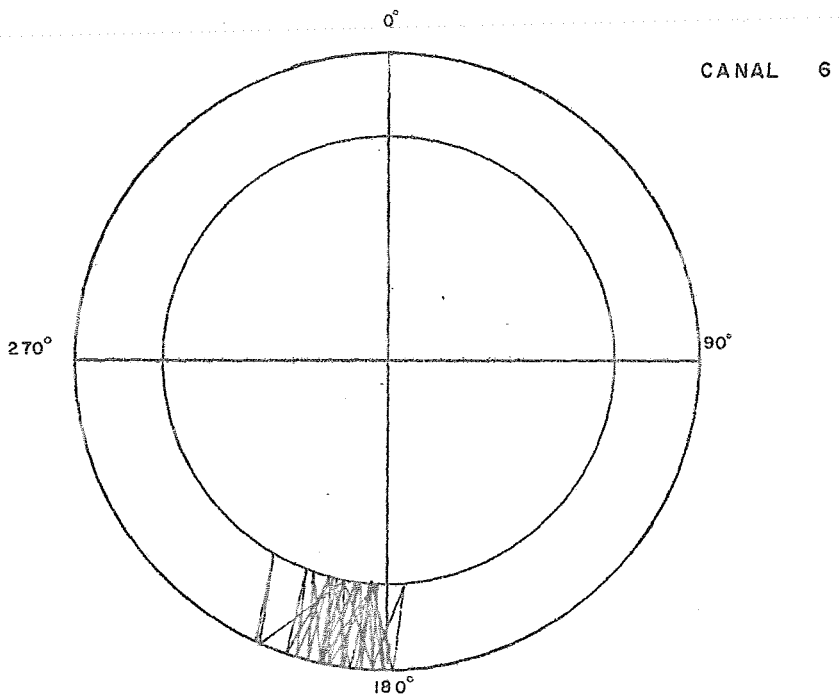
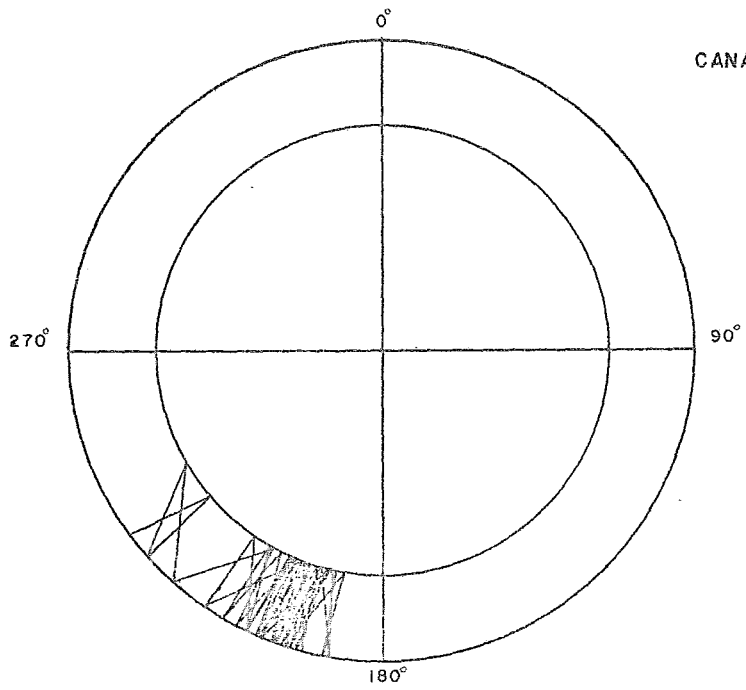
En las ciudades la variación de la dirección del viento es tan grande que no se puede decir que existe una dirección definida (ver registros del edificio Prisma y la Alberca Olímpica)

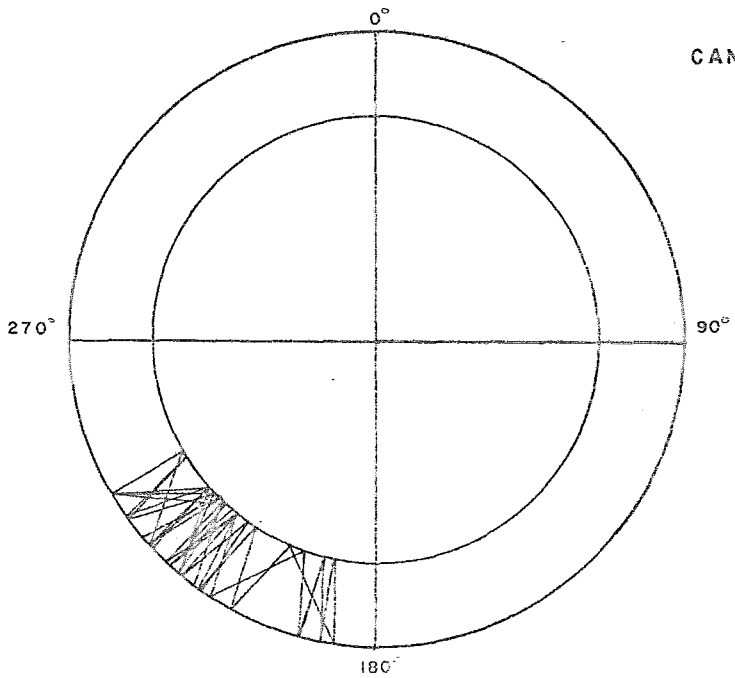
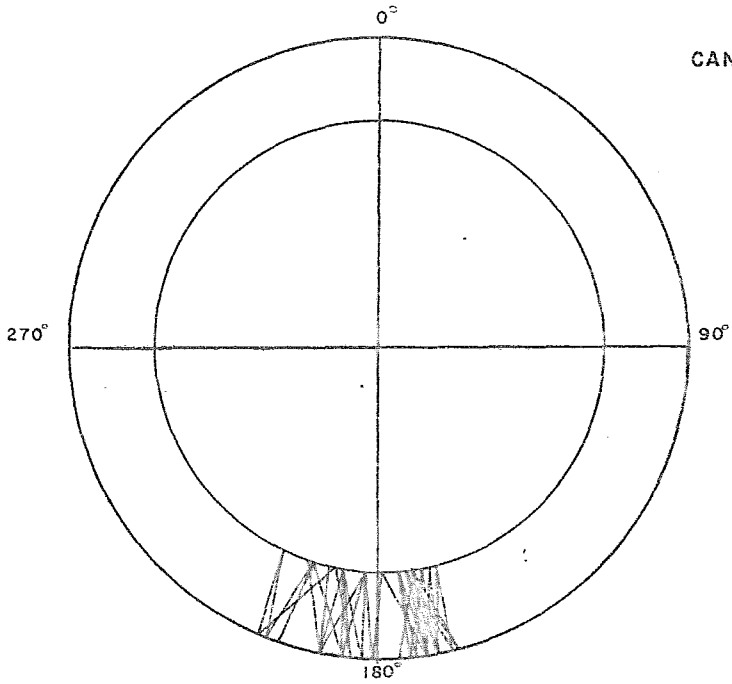
G. 3.1. Dirección del viento en Cabo Kennedy

(5 páginas siguientes)

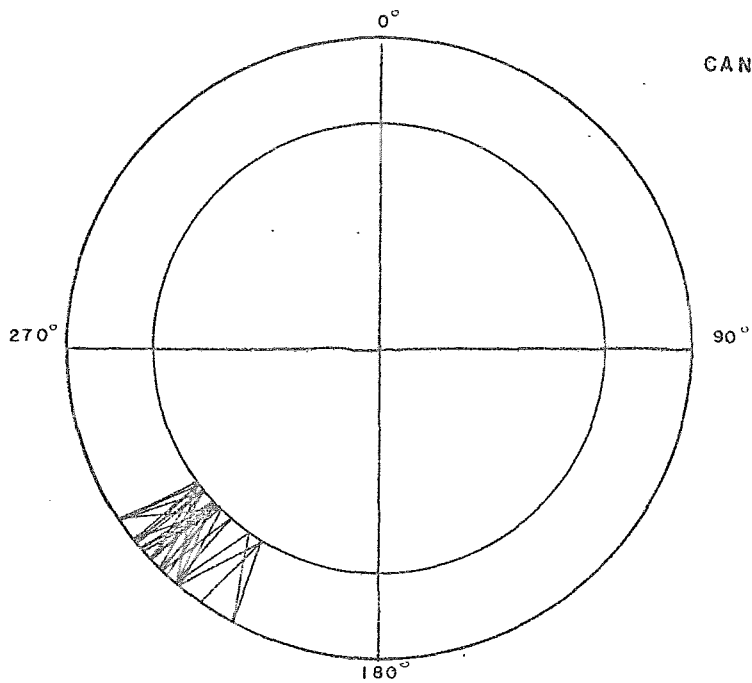




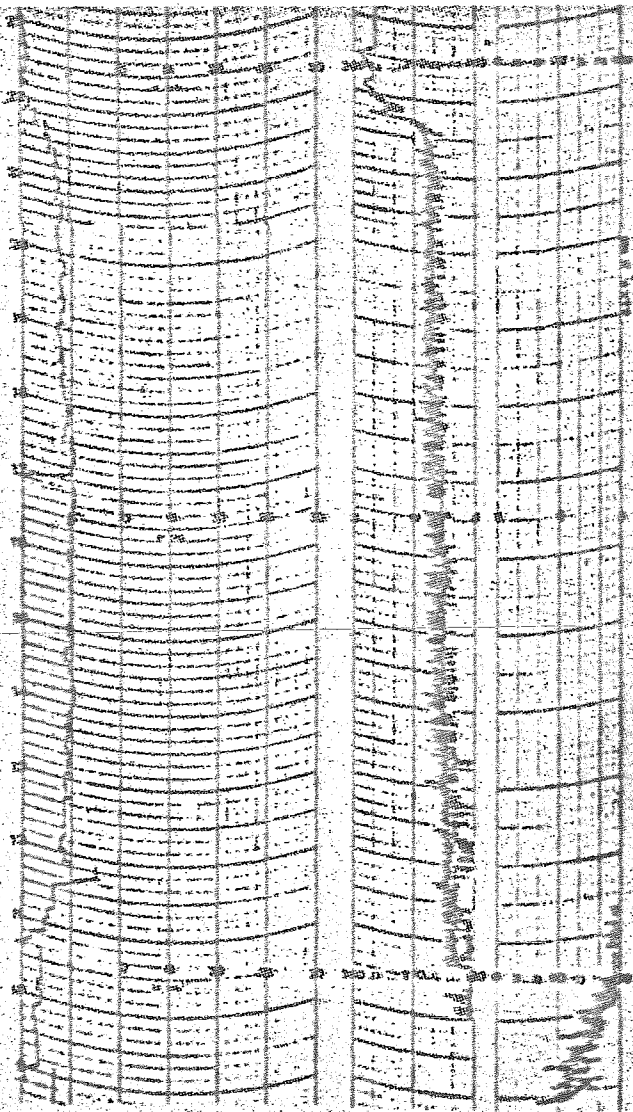




CANAL 9



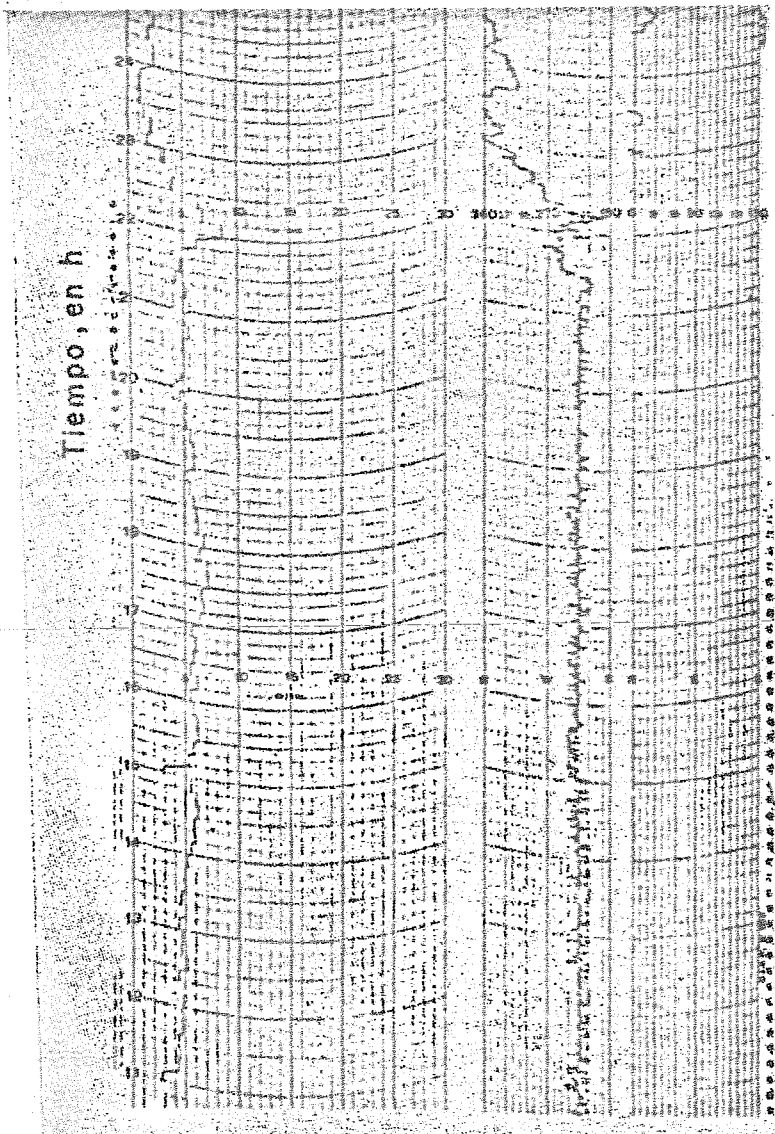
Tiempo, en horas



Velocidad media

Dirección

Registro obtenido en la Siderúrgica

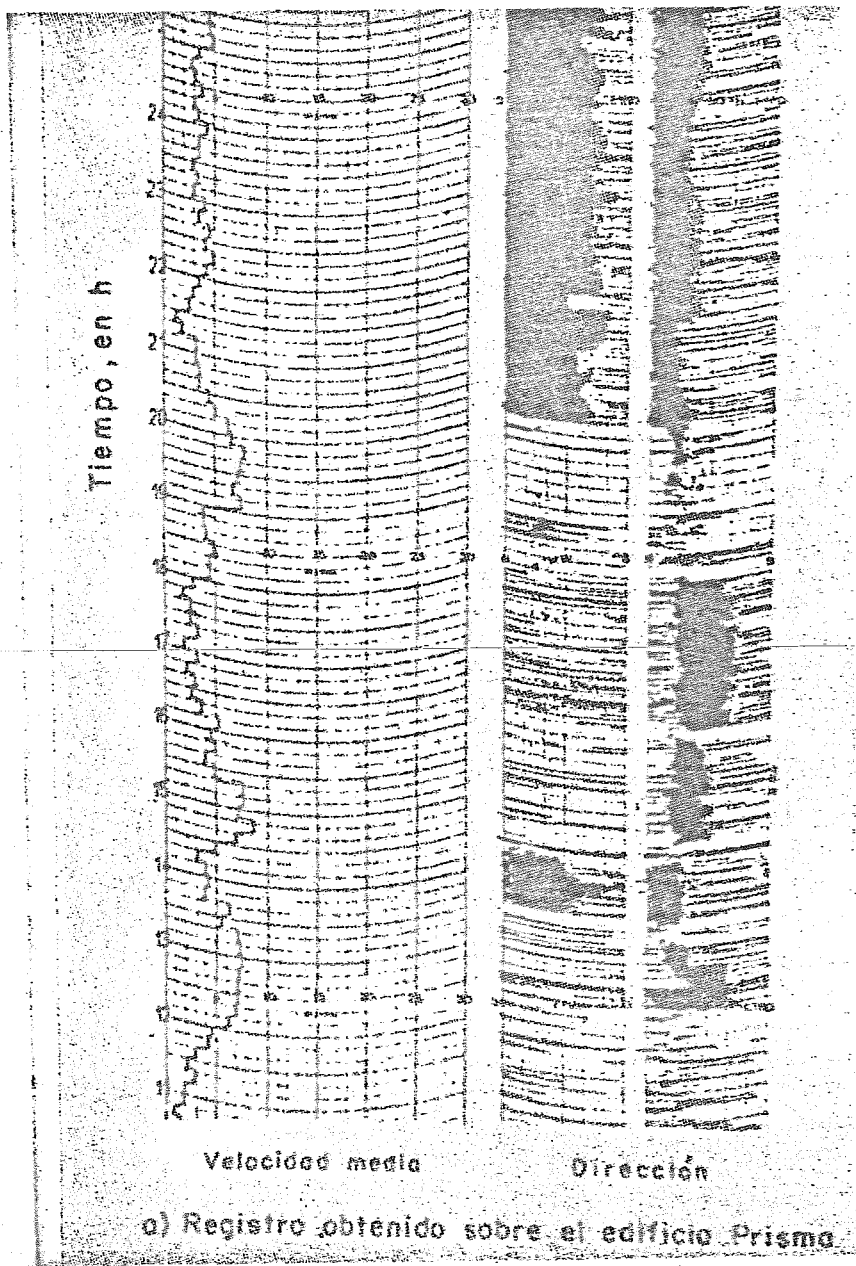


Velocidad media Direccion

b) Registro obtenido en la Siderúrgica



"Registro obtenido en la Alberca Olímpica"



En las figuras anteriores se puede apreciar el cambio de dirección del viento con la altura, es importante notar que en el canal 1 los cambios son muy distintos a los demás canales debido al efecto de la topografía del terreno. También es importante observar las diferencias entre el registro tomado en la costa y el tomado en la ciudad.

Para la elaboración de Normas se debe tener muy presente este hecho, ya que la turbulencia del aire induce vibraciones en las estructuras. En algunas normas se intenta facilitar el trabajo a través de la conversión de la acción del viento a efectos estáticos.

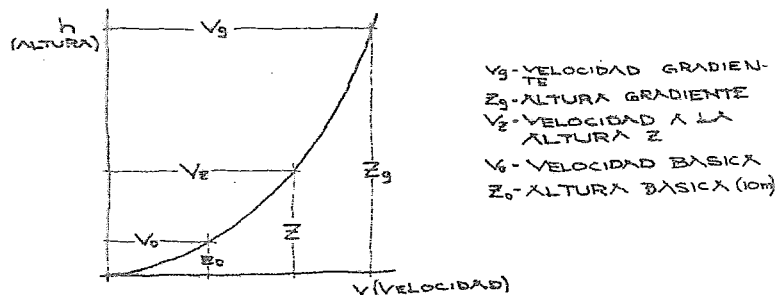
III.3. VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA ALTURA.

Por lo regular en la mayoría de los textos se desprecian los efectos de la viscosidad, propiedad característica de todo fluido, para simplificar los problemas. Al hablar de la variación de la velocidad del viento con la altura es necesario el referirse a ella para explicar el porque de la variación.

En un punto situado entre la superficie sólida y un fluido en movimiento, la viscosidad se manifiesta al crearse esfuerzos tangenciales o de fricción opuestos a la dirección del mo

vimiento del fluido. En el caso de la superficie terrestre y la atmósfera ocurre el mismo fenómeno. Si se piensa, por facilidad, que la superficie terrestre se encuentra en reposo (no hay rotación de la tierra) al circular una corriente de aire sobre ella, al manifestarse la viscosidad la velocidad del aire se reduce al aproximarse a la superficie hasta anularse en un punto muy cercano a ella. Al considerar las fuerzas intermoleculares, se puede concluir que en el límite no hay "deslizamiento" y la velocidad tangencial en cualquier punto de la superficie es cero. Sin embargo, en un punto cercano a una superficie lisa la velocidad del viento es muy baja, generando grandes esfuerzos de fricción en el aire, retardando las capas cerca del terreno moviéndose más lentamente que las situadas sobre de ella.

Es evidente que la velocidad aumenta al incrementarse la altura, partiendo desde cero en la superficie hasta un máximo; la forma de esta variación se muestra en la siguiente figura:



G. 3.8

Si se miden velocidades medias a diversas alturas a lo largo de la vertical, se observa que, a medida que la altura aumenta, la velocidad varia más lentamente hasta que se puede considerar constante. A la altura en la que la velocidad cesa de incrementar y la velocidad en ese punto se conocen como "gradiente de altura" y "velocidad gradiente", respectivamente.

La "altura gradiente" varía con la configuración del terreno, siendo valores representativos 460 mts. para zonas muy accidentadas o centros de ciudades y 200 mts. para terrenos planos como a la orilla del mar.

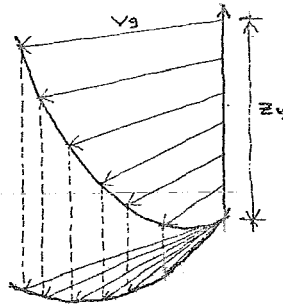
La forma de la curva de la figura depende de la topografía del sitio, de la turbulencia y de los movimientos aleatorios del viento.

Bajo la altura gradiente, la viscosidad y la turbulencia del aire originan una fuerza de fricción que debilita el balance de las fuerzas de presión y la fuerza deflectora (ref.19).

La fuerza de fricción se genera tan pronto como el movimiento se inicia, por lo que el equilibrio se alcanza cuando el viento se dirige hacia las zonas de baja presión. Como se dijo arriba, la fuerza de fricción decrece con la altura, de

un máximo en la superficie del terreno a cero al llegar a la altura gradiente, así, no solo el aire incrementa su velocidad con la altura sino que cambia de dirección con la altura hasta llegar a ser aproximadamente paralela a las isobaras - cuando se incrementa la altura.

La curva representada por los vectores del viento y un plano horizontal se conoce como la Espiral de Ekman (figura).



F. 3.9. Espiral de Ekman

La capa de la atmósfera en la que el viento cambia de esta forma se conoce como Capa de Ekman.

Buscando una ecuación que represente la variación de la velocidad del viento con la altura se llegó a la siguiente expresión (ref. 18):

$$V_z = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

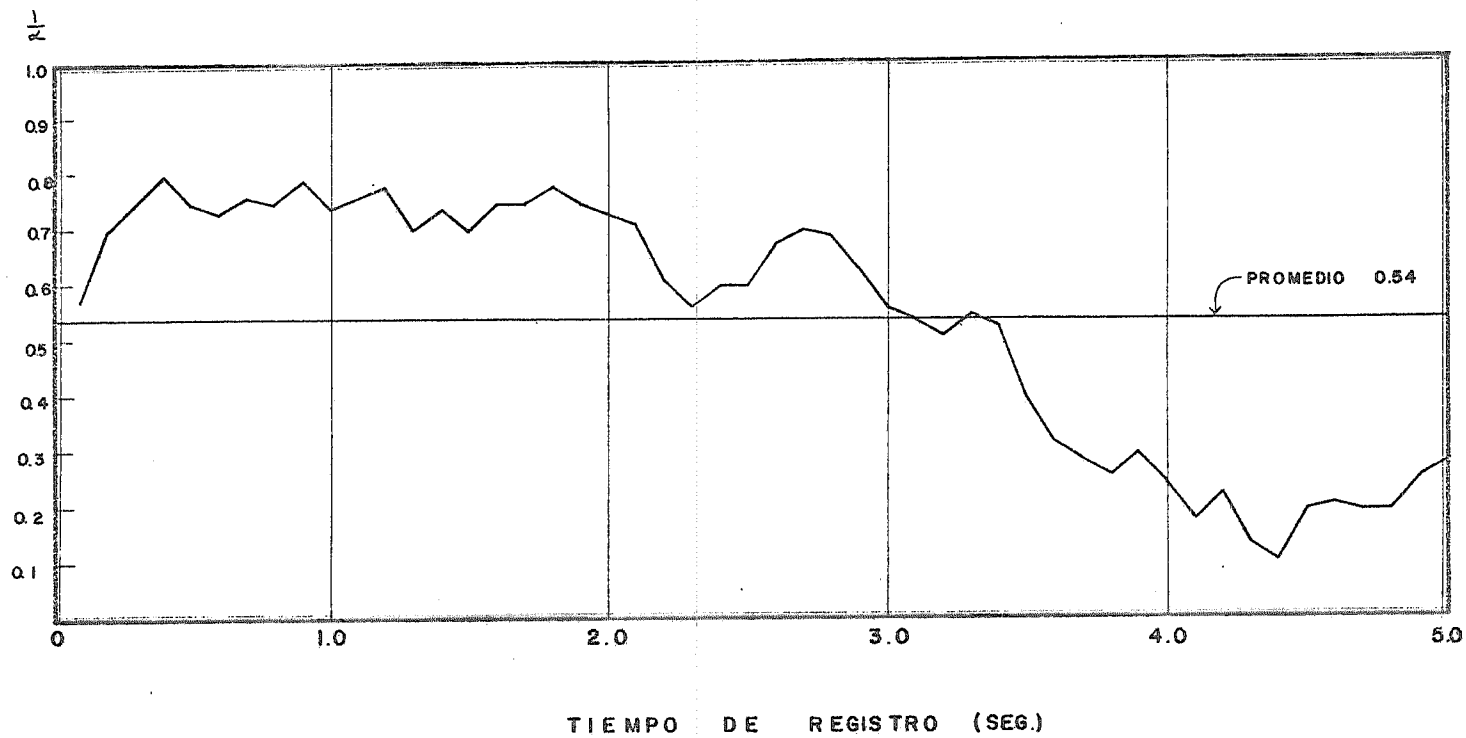
aunque se sabe que la velocidad no es función exclusivamente de la altura los valores obtenidos se encuentran dentro de intervalos de confianza. Para encontrar el valor de $\frac{1}{\alpha}$ se procede a ajustarlo a resultados conocidos.

Tomando los registros obtenidos en Cabo Kennedy (apéndice 1) se observa que, efectivamente, el valor de la velocidad se incrementa con la altura. Se determinó el valor de $\frac{1}{\alpha}$ en función del tiempo, despejando la ecuación anterior:

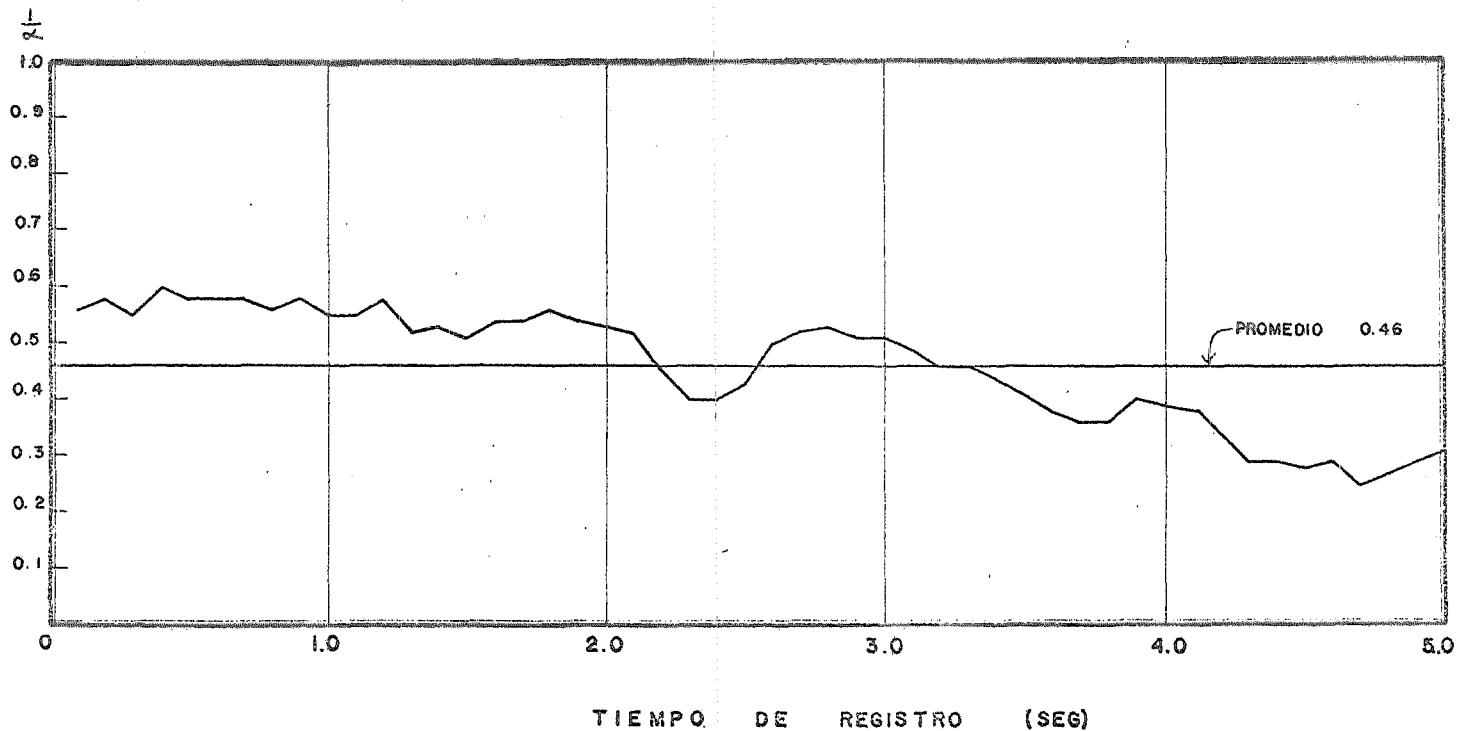
$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\log U_z - \log U_0}{\log z - \log z_0}$$

En las siguientes gráficas se comparó el valor de las velocidades de los canales 2 al 9 con el primero durante los 5 segundos de registro.

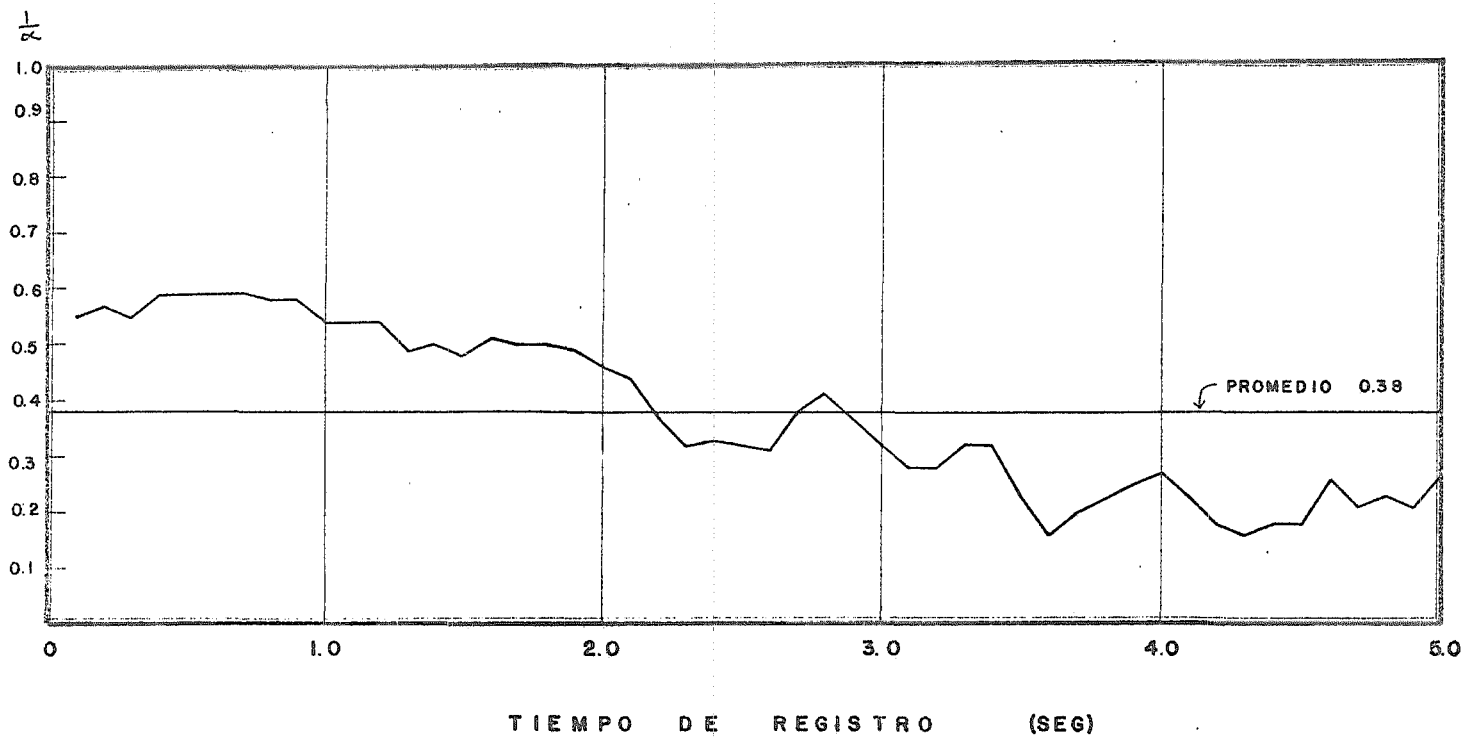
VARIACION DE $\frac{1}{N}$ A 27.5 METROS.



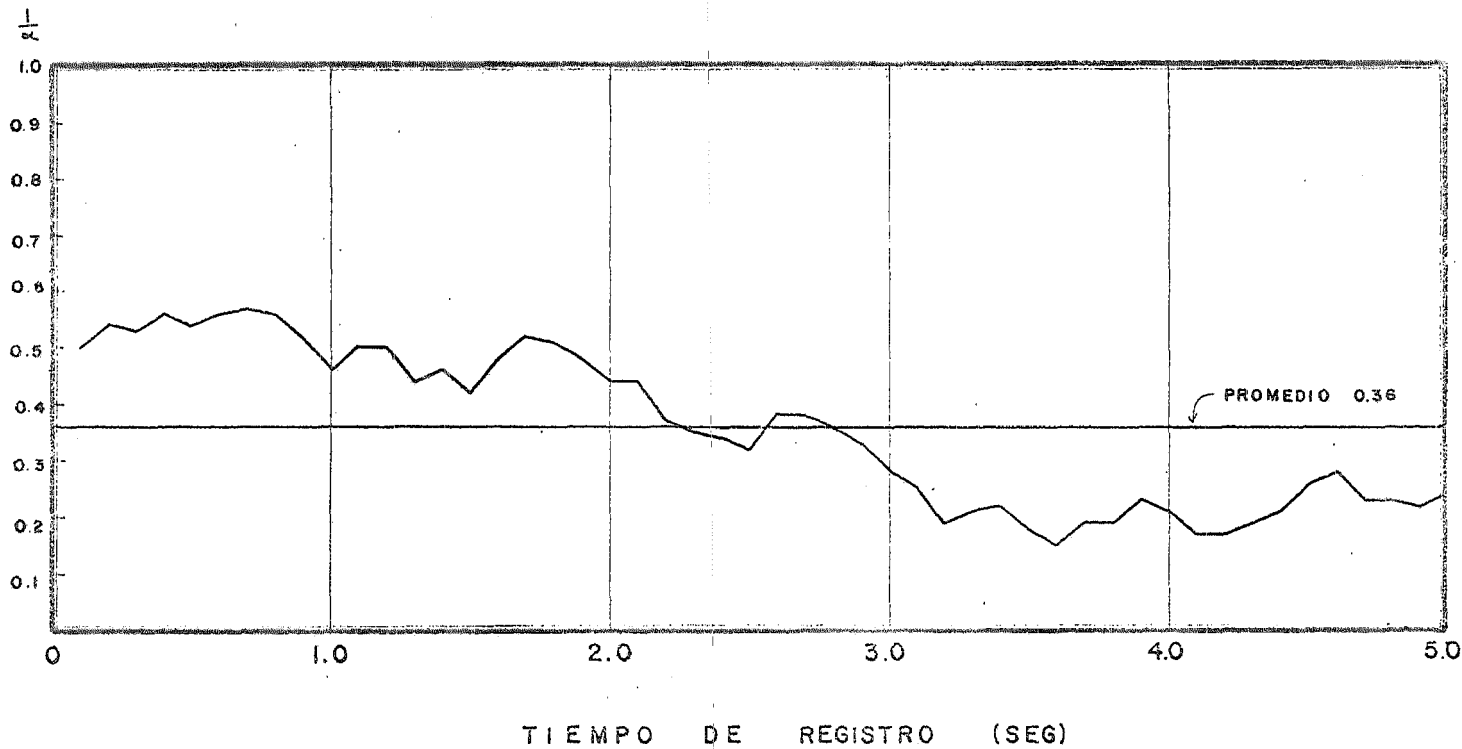
VARIACION DE R_L A 45 METROS



VARIACION DE $\frac{1}{R}$ A 62.5 METROS

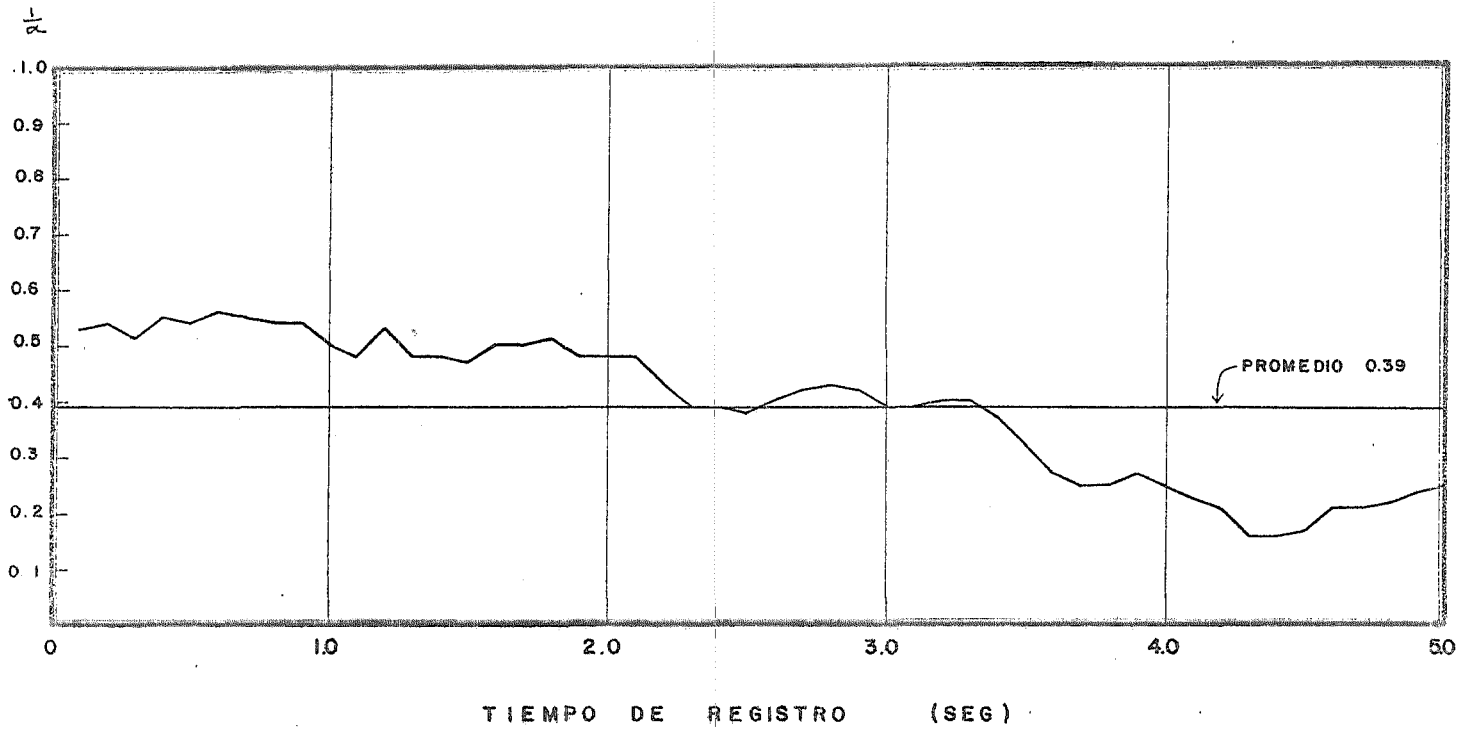


VARIACION DE $\frac{1}{\alpha}$ A 80 METROS

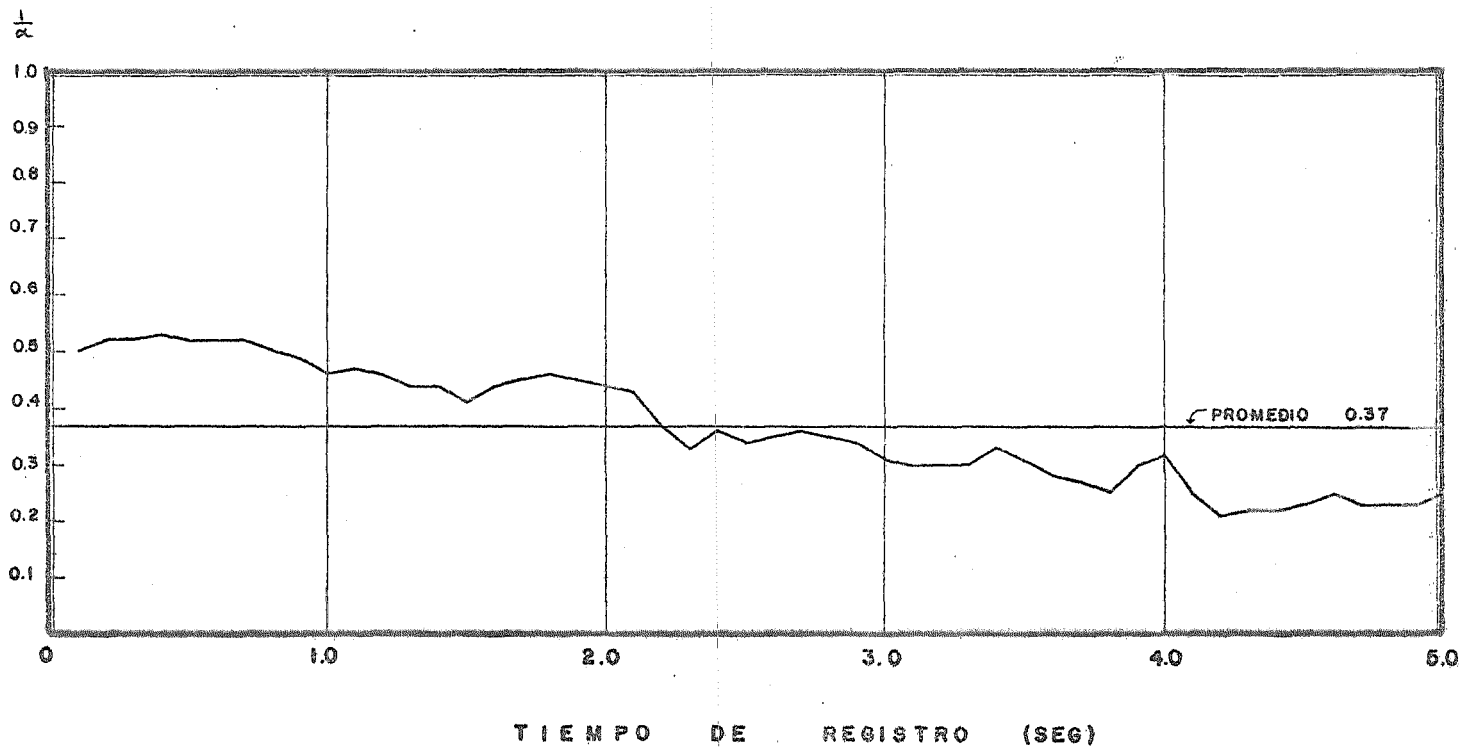


1-1-0082118

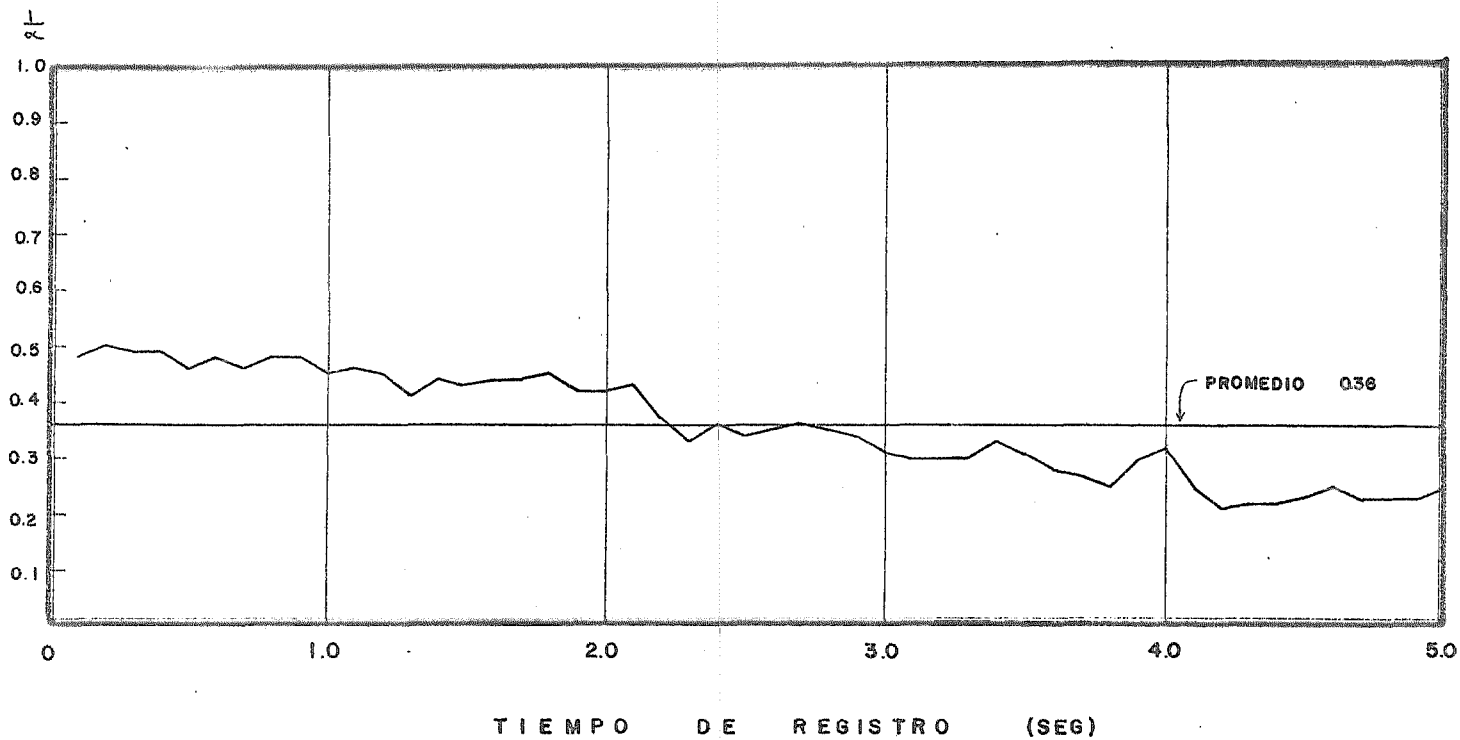
VARIACION DE $\frac{1}{\lambda}$ A 97.5 METROS



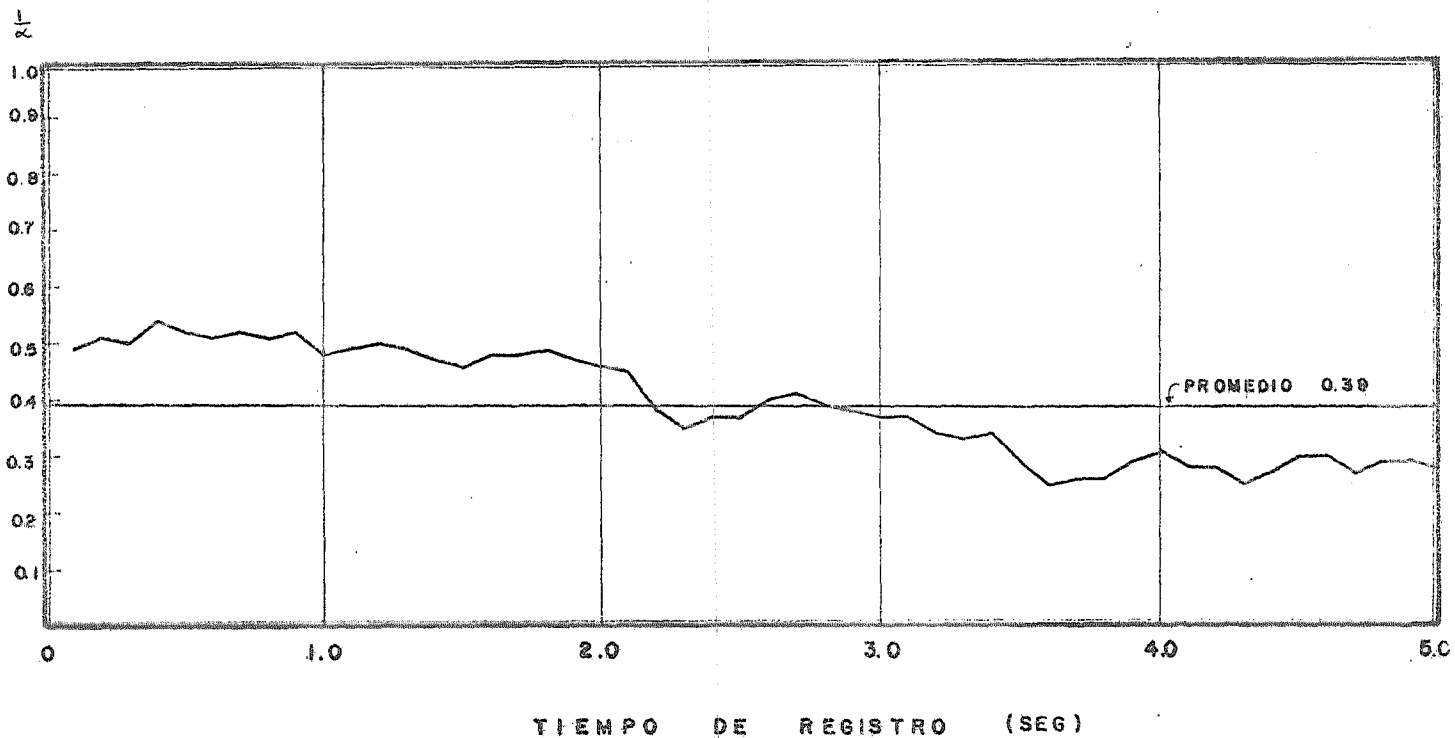
VARIACION DE $\frac{1}{\rho}$ A 115 METROS



VARIACION DE $\frac{L}{\lambda}$ A 132.5 METROS



VARIACION DE $\frac{1}{\alpha}$ A 150 METROS



En las gráficas se puede observar la gran variación del valor de $\frac{1}{\alpha}$ entre 0.8 y 0.11 los valores promedios calculados fueron:

	$\frac{1}{\alpha}$ (promedio)
para 27.5 mts.	0.54
45.0	0.46
62.5	0.38
80.0	0.36
97.5	0.39
115.0	0.37
132.5	0.36
150.0	0.39

el valor promedio de todas las observaciones $\frac{1}{\alpha} = 0.41$.

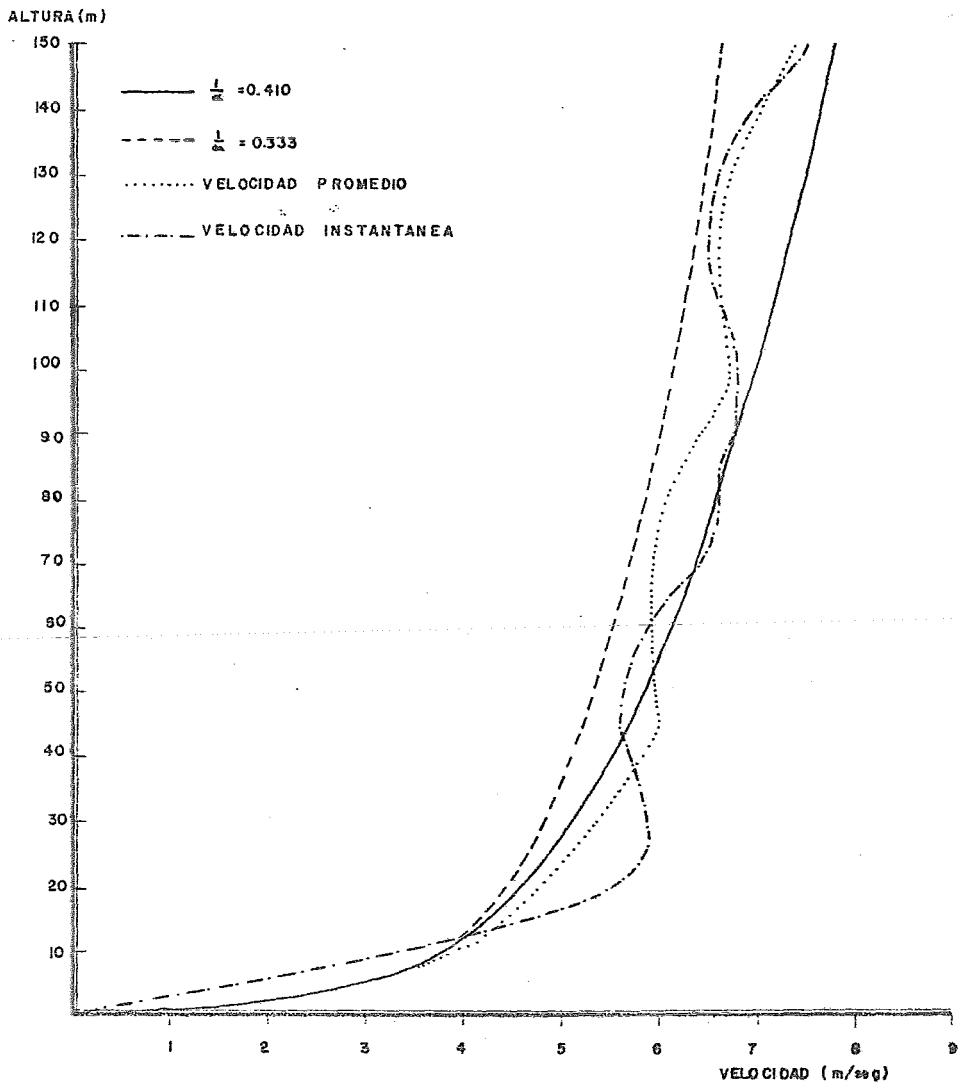
Aunque el sitio de registro no tiene obstáculos se puede apreciar en la gráfica 1 que la variación de la velocidad es más notable en esta capa inferior. Para las siguientes gráficas se ve una variación más suave.

Adoptando el valor de $\frac{1}{\alpha} = 0.41$ se elaboró la siguiente gráfica y se comparó con la velocidad promedio del registro, la velocidad instantánea (tomada aleatoriamente) y con $\frac{1}{\alpha} = 0.33$ (valor usado en el RCDF). En ella se puede apreciar la similitud de los valores calculados y los observados, de lo que se puede concluirse que la función seleccio

nada sirve para representar la variación del viento con la altura. Lo que se trata ahora de encontrar es una relación entre $\frac{1}{z}$ y el gradiente de velocidad, gradiente de temperatura y la topografía, lo que conduciría a resultados más precisos y el poder establecer diferentes valores de $\frac{1}{z}$ según el sitio de interés.

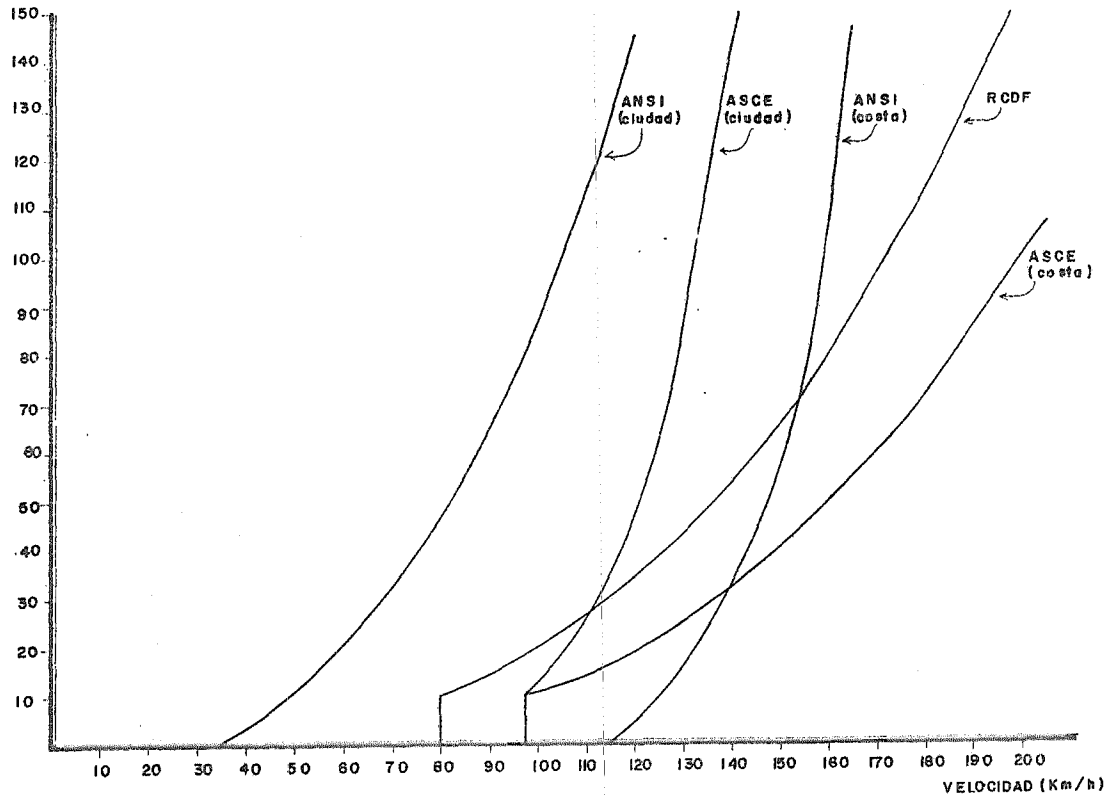
Se tomó como velocidad básica 4 m/seg. y como altura básica 10 m.

En la siguiente gráfica se muestran las leyes de variación de los reglamentos que se utilizarán en los ejemplos (RCDF, ASCE y ANSI) considerando sus diferentes alternativas.



G.3.2 VARIACION DE LA VELOCIDAD CON LA ALTURA.

ALTURA (m)



G. 3.3. VARIACION DE LA VELOCIDAD CON LA ALTURA
SEGUN DISTINTOS REGLAMENTOS.

III.4. RAFAGAS

Las ráfagas son masas de aire que descienden de la altura gradiente, con velocidades hasta de 12 m/seg., en forma de oleadas a consecuencia de mecanismos complicados en las capas bajas de la atmósfera sobre la rugosidad del terreno, caracterizándose por su alta frecuencia y alta velocidad.

Por tal razón deben considerarse dentro del análisis por viento.

En la investigación, se puede valuar el factor de ráfaga producido por la velocidad del viento al actuar sobre una estructura por medio del análisis espectral combinado con factores estadísticos mediante la siguiente expresión (refs.19 y 21)

$$G = \left(1 + \eta \frac{\sigma_y}{\bar{y}_{max}} \right)$$

donde η es un factor estadístico llamado factor máximo; σ_y es la varianza de la respuesta de la estructura; \bar{y}_{max} la máxima respuesta promedio.

Obteniendo el mayor desplazamiento en la estructura Y_{max} por

$$Y = G \bar{y}_{max}$$

Para obtener $\bar{V}_y/\bar{\gamma}_{max}$ se puede partir de un análisis espectral en estructuras de un grado de libertad o del análisis modal para estructuras de mayor grado de libertad.

En la práctica se ha propuesto que el comportamiento de las estructuras bajo las ráfagas. Estableciendo que se puede cubrir el riesgo de una ráfaga, incrementando la velocidad de diseño en un porcentaje que varia según los reglamentos o bien se establece un factor variable con la altura.

Ya que las ráfagas tienen una duración relativamente corta se toma en cuenta dentro del factor de ráfaga, la duración mínima que estas deben tener para envolver la estructura.

Se ha demostrado que el tamaño necesario de una ráfaga para envolver una estructura y transmitir cambios importantes en la distribución de presiones es ocho veces la dimensión del edificio en la dirección del viento. Bajo esta hipótesis si una ráfaga viaja a 120 kms/hora deberá tener al menos una duración de 3 segundos para ser efectiva, estableciendo presiones en todas las caras de un edificio cuya dimensión en la dirección del viento sea 12 mts.

Para envolver totalmente una estructura alta, la ráfaga deberá tener una duración tal que deberá proseguir unas seis veces el tamaño del edificio en su dimensión paralela al vien-

to. Durante el tiempo en que la ráfaga mínima efectiva se desarrolla en la parte baja del edificio, la ráfaga en la cúspide, si el edificio tiene una altura de 150 mts, deberá estar soplando durante 12.5 seg. La posibilidad de que la altura total del edificio estuviese sujeta simultáneamente a una ráfaga de 10 segundos es muy remota, por lo tanto, si una ráfaga de esta duración es tomada con el propósito de establecer una velocidad de diseño, habrá un margen de seguridad estadístico cuando se aplique a un edificio alto.

R. H. Sherlock adoptando la ráfaga de 10 segundos ha encontrado valores del factor de ráfaga en la velocidad del viento de 1.3 a 10 mts. y de 1.15 a 610 mts. de altura, estableciendo una ley de variación

$$F_z = F_{10} \left(\frac{10}{z} \right)^{0.0625}$$

El reglamento de Construcciones del D. F. establece el incrementar la velocidad promedio en un 30 % para cubrir la tolerancia a ráfagas obteniendo así la velocidad de diseño, en estructuras sensibles a las ráfagas. Aclarando que la velocidad básica propuesta para estructuras poco sensibles a las ráfagas corresponde a la velocidad media con duración mínima de 15 seg. y períodos de recurrencia de 30 años y que el 30% propuesto para estructuras sensibles toma en cuenta el incremento de efectos estáticos de ráfagas tan cortas como 3 segun

dos, como su posible amplificación dinámica (ref.8)

El American National Standard Institute establece un factor de ráfaga variable con la altura de acuerdo con la siguiente tabla.

Factor de ráfaga		
Altura sobre el terreno (mts.)	Ciudad	Costa
0 - 4.57	2.36	1.15
6.10	2.20	1.14
7.62	2.09	1.13
9.14	2.01	1.12
12.19	1.88	1.11
15.52	1.79	1.10
18.29	1.73	1.09
21.34	1.67	1.08
24.38	1.63	1.08
27.43	1.59	1.07
30.48	1.56	1.07
36.58	1.50	1.06
42.67	1.46	1.05
48.77	1.43	1.05
54.86	1.40	1.04
60.96	1.37	1.04
76.20	1.32	1.03
91.44	1.28	1.02

Factor de ráfaga		
Altura sobre el terreno (mts.)	Ciudad	Costa
106.68	1.25	1.02
121.92	1.22	1.01
137.16	1.20	1.01
152.40	1.18	1.00

T.3.1. Factor de ráfaga ANSI

Haciendo además las siguientes aclaraciones:

- a) Se acepta la interpolación lineal para alturas con valor intermedio al proporcionado en la tabla
- b) El valor del Factor de Ráfaga no puede ser menor que 1.0
- c) Para alturas mayores de 162.40 se puede utilizar la ecuación para valuar la acción de ráfagas en la velocidad del viento.

$$F_z = F_{4.57} \left(\frac{4.57}{z} \right)^\psi$$

donde $\psi = 0.1977$ para ciudad

$\psi = 0.0399$ para costa (ref.10)

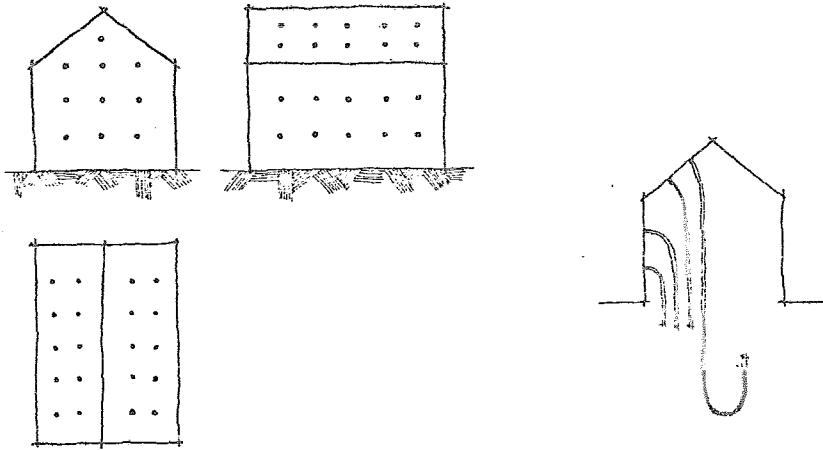
Por su parte la ASCE dice. Se podrá usar un factor de ráfaga adecuado en las estructuras que sean capaces de responder al verse envueltas en ráfagas de al menos de una milla de viento que pase. El factor de ráfaga (velocidad de ráfaga \div la velocidad de la más rápida milla de viento) debe considerar

la mínima dimensión necesaria para que la ráfaga envuelva la estructura y su patrón de flujo. Un factor de 1.3 es adecuado para ráfagas de 1 segundo de duración con una velocidad básica del viento de 144.81 km/h (90 mph) pudiendo tener una longitud de 39.62 mts. de estructura inmersa en la ráfaga como pueden ser bardas y casas pequeñas. Un factor de 1.1 será para ráfagas de aproximadamente 10 segundos de duración con 144.81 km/hr. de velocidad básica. (ref. 20).

III.5 COEFICIENTES DE EMPUJE.

Dentro de la fórmula $P = \frac{1}{2} \rho V^2 C$ el coeficiente de empuje, C , es un factor que depende de la forma de la estructura con la que se esté trabajando. Para las formas estructurales comunes estos coeficientes aparecen dentro de las normas elaboradas para el propósito, pero ¿qué hacer cuando se tiene una forma fuera de lo común? ¿cómo obtener los coeficientes de empuje?.

Cuando se tiene una estructura fuera de lo común, en su forma, se elabora un modelo a escala y se practican perforaciones a su alrededor, en los sitios donde interesa conocer la variación de presión. A las perforaciones se conectan tubos de plástico que salen al exterior y se les da forma de U para tener un manómetro. Todos se nivelan respecto al mismo



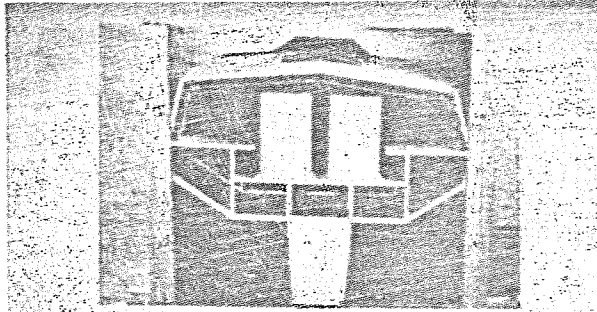
Perforaciones en el modelo Manómetros abiertos con
agua en su interior

F. 3.10

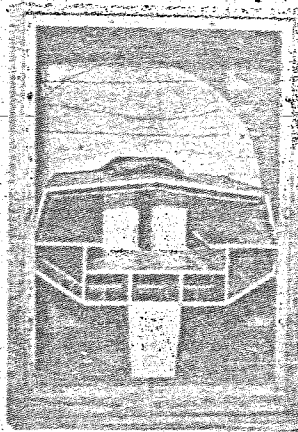
punto de referencia. Una vez colocado el modelo dentro del túnel de viento se genera una corriente con velocidad conocida, se calcula la presión que ejerce esta velocidad con $p = \frac{1}{2} \rho v^2$. Paso siguiente; se obtienen las presiones sobre cada uno de los orificios de la superficie del modelo. Una vez obtenidas se dividen entre la presión causada por la velocidad media del viento para obtener una proporción entre las presiones que se denomina coeficiente de empuje.

El modelo se hace girar para obtener los coeficientes respecto a distintas direcciones del viento. Para fines de diseño en los reglamentos y normas se toma el caso más desfavorable.

El principal problema de trabajar con modelos, es la dificultad en representar las condiciones reales. Es conocido el hecho de que al hacer cualquier tipo de análisis se efectúan "idealizaciones" que facilitan un poco la labor del calculista, haciendo que el modelo no represente completamente lo que se desea. Al llegar a la etapa de la ejecución de la obra, el constructor, buscando el mejor proceso constructivo, puede modificar las indicaciones que reciba, haciendo más distinta la idea original. Es importante que tanto el proyectista como el calculista y el constructor estén conscientes de las repercusiones que pueda tener una decisión tomada dentro de sus respectivos campos de trabajo.



Alternativa para disminuir las succiones, similar a la opción 1



Alternativa con lazo de cables en vez de columna, para evitar el paso de viento

F. 3.11

"Modelo de las estaciones del metro elevado dentro del tunel de viento"

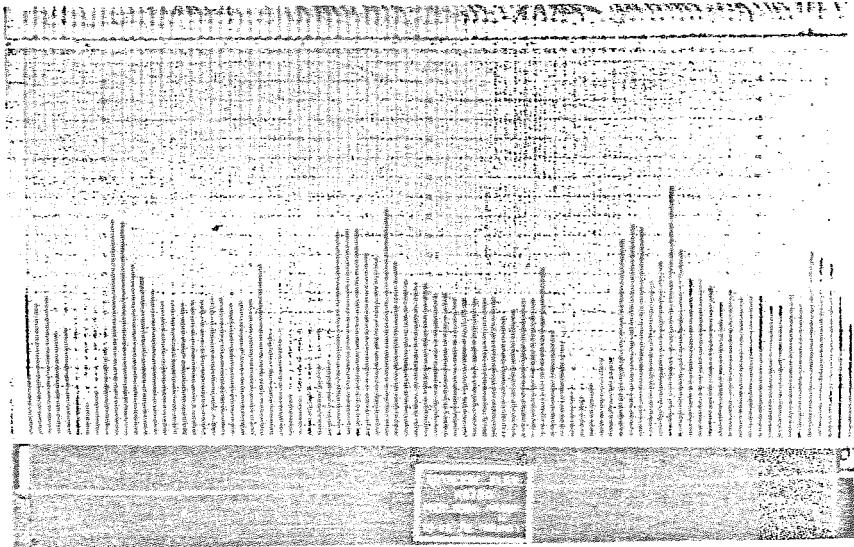
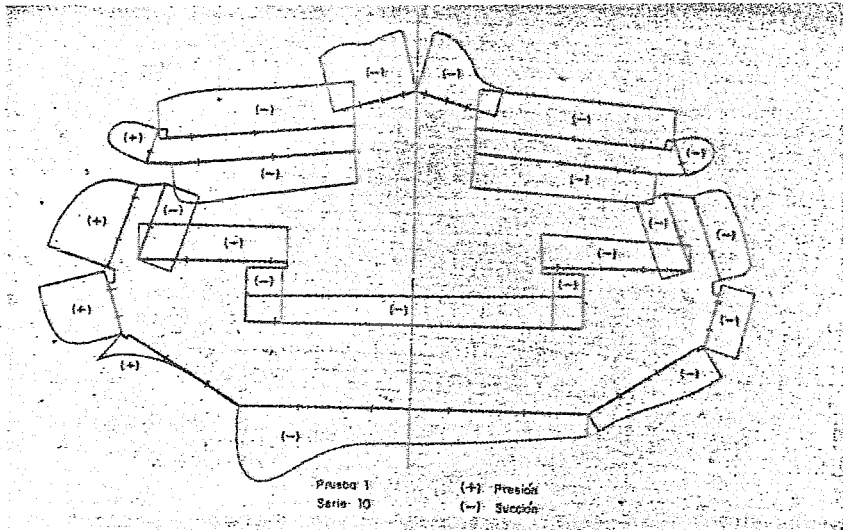


Figura 3.12 tablero de manómetros del Instituto de Ingeniería mostrando la distribución de presiones en los modelos de las estaciones del metro elevado.



E. 3.13 Representación esquemática de los coeficientes de empuje en la alternativa de construcción del metro elevado

III.6. EFECTOS DINAMICOS EN ESTRUCTURAS

Las cargas que involucran movimiento, tales como viento, sismo, personas y vehículos en movimiento, y vibración como los motores son la causa de los efectos dinámicos en las estructuras. Analizar para valuar sus efectos requiere el considerar las propiedades dinámicas de las estructuras. Esas propiedades son determinadas por el tamaño, la altura, rigidez relativa, periodo fundamental, tipo de cimentación y grado de elasticidad de los materiales que integran una estructura, así como por varios factores de amortiguamiento que pueden presentarse.

El origen de la carga dinámica radica en la energía que se libera en la estructura como la que produce el impacto del viento en un edificio. En este caso la carga se deriva de la energía cinética del movimiento del aire producto de su masa y su velocidad.

Un punto importante es el notar que los efectos de una carga dinámica en una estructura son determinados por la forma de responder de la estructura, así como por la naturaleza de la carga. Así la misma carga dinámica puede tener diferentes efectos en distintas estructuras. Dos edificios, uno al lado del otro, tendrán respuestas radicalmente distintas ante el mismo sismo, por ejemplo, en tanto sean mayores sus dife-

rencias en las propiedades dinámicas.

Los efectos dinámicos en estructuras pueden ser de varios tipos. Algunos de los principales son:

a) Carga total de energía.- Es el balance entre la magnitud máxima de la carga y el trabajo requerido por la estructura para soportarla. No es otra cosa más, que el principio de conservación de la energía.

b) Efectos de inestabilidad.- Ocurren cuando la carga dinámica provoca la falla de una parte de la estructura poniendo así en peligro la estructura y las adyacentes.

c) Efectos armónicos. Son de varios tipos y son causados por cargas cuyo origen sea de naturaleza cíclica. Los movimientos sísmicos son básicamente cíclicos por la forma de vibración o movimiento de la superficie del terreno. La relación entre esos movimientos y las propiedades armónicas de la estructura pueden resultar de varias formas, como el aleteo a una particular velocidad del viento, el rebote de sistemas de piso y la resonancia reforzada por el balanceo de los edificios durante un sismo.

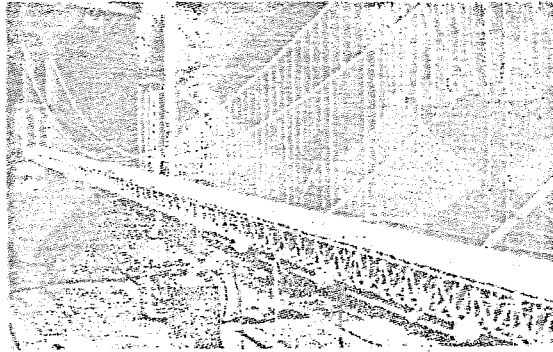
d) Falla por fatiga. Puede presentarse cuando la estructu

tura es agotada debido a su poca resistencia dinámica. Una estructura puede resistir sucesivamente una carga máxima de algún esfuerzo dinámico hasta fallar bajo una carga similar o de menor orden. Usualmente ésta falla se debe a que la primer carga consume un poco la resistencia estructural, tanto como lo permita la ductilidad del material, al disipar la energía que la carga aportó.

Una mejor consideración en el diseño por carga dinámica es el entender "respuesta de la estructura" como la del edificio íntegro, un todo. Así la estructura puede permanecer intacta pero el edificio como un todo puede haber sufrido daños considerables. Un edificio durante un sismo puede balancearse y cimbrarse sin que sea perjudicial a la estructura pero, si las paredes fallaron, las ventanas se estrellaron, las tuberías se rompieron y los elevadores se descompusieron, difícilmente se puede pensar que el edificio se diseñó adecuadamente.

En la mayoría de los casos, el análisis y diseño para efectos dinámicos no está hecho usando directamente las relaciones dinámicas, sino usando reglas y recomendaciones establecidas por la experiencia. Algunas pruebas o análisis teóricos ayudan aportando ideas o datos, pero la mayoría de las consideraciones de diseño se basan en observaciones y registros de los desastres ocurridos anteriormente. Por eso cuando actualmente se llevan a cabo los cálculos, son hechos con datos y rela

ciones que han sido traducidos a términos estáticos, que son más simples, de ahí el nombre análisis y diseño para fuerzas estáticas equivalentes. La razón para esta práctica es el gra



a) Modelo de puente colgante en reposo



b) Vibraciones en el puente bajo la acción del viento.

F. 3.14 Oscilaciones generadas por el viento en un modelo de puente colgante.

do de complejidad que encierra el análisis dinámico. Aún - con el uso de computadoras el trabajo es bastante laborioso para las más simples situaciones.

COMENTARIOS.

Hay sitios en los que no se puede hablar de una dirección del viento definida. En las normas sólo se consideran efectos estáticos en dos direcciones ortogonales. Estos son dos hechos contradictorios, se debe tener en cuenta que la variación en la dirección del viento causa amortiguamiento en la respuesta de una estructura.

La expresión encontrada para representar la variación de la velocidad del viento con la altura, demuestra ser confiable, a pesar de ello existen diferencias significativas entre los criterios de los reglamentos utilizados.

El mecanismo que origina las ráfagas es complicado, cada cuerpo normativo determina de forma muy particular un factor de ráfaga. Sobre este tema no existe gran discusión comparado con el de la variación de la velocidad.

Para determinar la distribución de presiones, en un cuerpo se puede recurrir a las pruebas de túnel de viento. Los

estudios sobre modelos a escala natural son la mejor forma de conocer la distribución de presiones, pero el costo es muchísimo mayor a una prueba en túnel.

C A P I T U L O IV

EFFECTOS ESTATICOS

Una forma de hacer un análisis por viento es considerarlo como una fuerza estática lateral aplicada sobre la estructura. Esta fuerza tiene ciertos efectos sobre la construcción dependiendo de sus dimensiones, materiales utilizados en los acabados y el sistema estructural utilizado.

Existen diferentes alternativas entre los sistemas estructurales más comunes, éste debe elegirse de acuerdo al destino de la obra y los posibles efectos que el viento tenga sobre ella.

IV.1. EFECTOS GENERALES DEL VIENTO

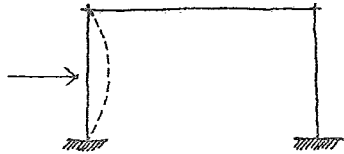
Los efectos del viento sobre objetos estacionarios se pueden generalizar de la siguiente forma:

IV.1.1.

a) Presión directa.

Las superficies exteriores, (fachadas) normales a la dirección del viento, reciben el impacto de la masa de aire en movimiento, que generalmente es de mayor porcentaje de la que se ejerce sobre la estructura, a menos que el objeto tenga for

ma aerodinámica.

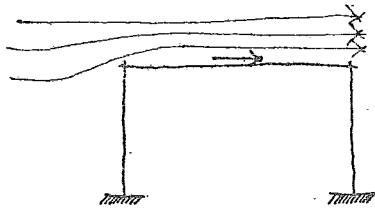


F.4.1.

IV.1.2

b) Arrastre.

Debido a que el viento no se detiene al chocar con una superficie, sino sigue a su alrededor, como cualquier fluido, hay un efecto de arrastre sobre las superficies que son paralelas a la dirección del viento. Estas superficies pueden tener presiones o succiones, en este caso el arrastre es una fuerza que se auna a las fuerzas actuantes sobre el cuerpo.



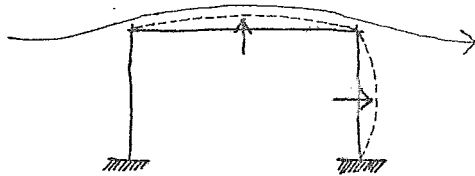
F.4.2

IV.1.3

c) Succiones

En el lado del sotavento existe generalmente un efecto de succión, consistente en la presión que se ejerce de -

adentro hacia afuera de la estructura. También se conoce como presión negativa.



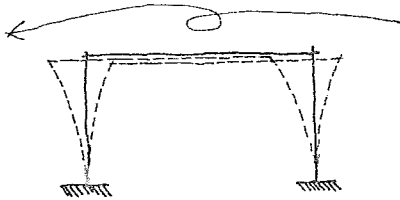
F. 4.3

Los tres efectos anteriores se combinan para producir una fuerza total sobre la estructura que tiende a moverla en la dirección en que actúa el viento. Además existen otros efectos que pueden presentarse debido a la turbulencia del aire como a la naturaleza de la estructura.

IV.1.4.

d) Balanceo

Durante una tormenta la velocidad y dirección del viento raramente permanece constante. Se presentan ráfagas y remolinos, así inducidos por el viento, las estructuras tienden a balancearse, aletear, etc. Si en algún caso existen partes o conexiones flojas, o con superficies flexibles es natural que se presente este fenómeno



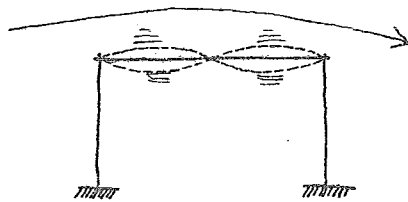
F. 4.4

IV.1.5

e) Efectos armónicos

Cualquiera que toque un instrumento de viento puede apreciar que el viento produce vibración. Esta puede ocurrir tanto a bajas como a altas velocidades del viento. Dependiendo de la relación que se establezca entre la velocidad del viento y el período natural de la estructura o de sus partes.

En puentes colgantes este es el efecto que puede provocar la falla.

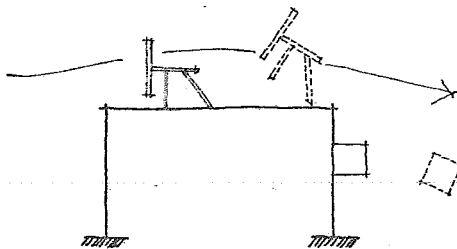


F. 4.5

IV.1.6

f) Efectos sobre apéndices.

Como se dijo en el caso de arrastre, el viento sigue su camino después de chocar con una superficie. Cuando los objetos son relativamente pequeños el viento tenderá a arrasarlos a su paso, tal es la situación cuando se tengan cuerpos un tanto ajenos al cuerpo de la estructura como; anuncios, parapetos, chimeneas y señales.

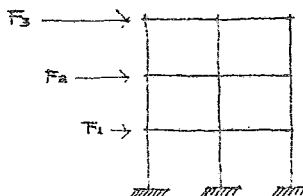


F. 4.6

IV.2. APLICACION DE FUERZAS LATERALES

Las fuerzas ocasionadas por el viento se mantienen como presión aplicada normalmente a las superficies exteriores del edificio. Como se ha mencionado estas fuerzas pueden ser hacia adentro (presiones positivas) o hacia afuera (presiones negativas o succiones). La forma de la construcción determina, principalmente, la naturaleza de la distribución de las pre-

siones sobre la superficie exterior. Los efectos totales se determinan considerando el perfil del edificio y la fuerza del viento actuando paralela al plano del perfil.



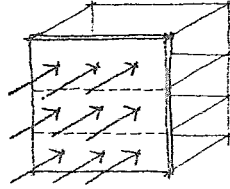
F. 4.7

Se asume una presión directa sobre la estructura combinando los efectos de presión, succión y arrastre que actúan sobre ella.

Para una forma de edificio dada la fuerza puede distribuirse de diversas formas dependiendo del tipo de estructuración; por ejemplo en una estructura de tres niveles a base de muros de carga la fuerza se distribuiría de la siguiente forma:

a) Los muros que estuviesen orientados hacia el barlovento tomarán la carga como una presión uniformemente distribuida y la transmitirán a los elementos horizontales.

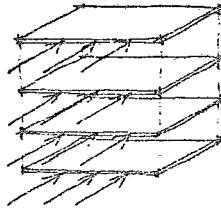
En general se piensa que el muro transmite la mitad de su carga a la losa superior y la mitad a la losa inferior, en



F. 4.8

el ejemplo el muro del tercer entrepiso transmitirá la mitad de su carga a la losa del tercer nivel y la mitad a la losa del segundo nivel. Este es un punto de vista demasiado simple del comportamiento de un muro, pero si un muro es unido perfectamente a la cancelería (puertas y ventanas) puede esperarse un comportamiento más o menos uniforme y llegar a una distribución de fuerzas como se ha pensado.

b) Losas y cubierta. Considerados como sistemas de piso indeformables, reciben la carga y la distribuyen a los elementos de soporte verticales.

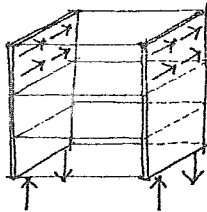


F. 4.9

La forma en que transmiten su carga a los muros es en forma de un cortante uniformemente distribuido, si es que los mu-

ros son simétricos pero como la fuerza se esta aplicando lateralmente, también provoca un momento de volteo.

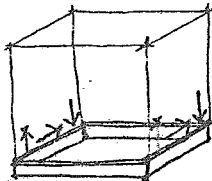
c) Muros de cortante. Como se dijo, reciben la carga como cortante uniformemente distribuido y el momento de volteo y actuando como cantiliver los transmiten a los cimientos.



F. 4.10

El cortante que resiste cada muro es igual a la suma de los cortantes que actúan sobre los niveles superiores. El momento de volteo provoca tensión en el lado del barlovento y compresión del lado del sotavento.

d) Cimentación. Resiste cortante y momento de volteo.



F. 4.11

El cortante en la base es contrareestado por la fuerza de fricción que se genera entre los muros y la cimentación, en cuanto al momento de volteo se resiste por el peso propio de la estructura, además de los esfuerzos que admite el suelo. La losa unida a la cimentación no trabaja como las de los pisos superiores pero ayuda a distribuir la carga en la cimentación.

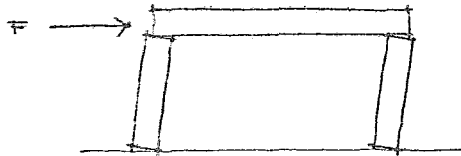
En este ejemplo sencillo se ilustra la naturaleza básica de la propagación de la fuerza del viento a través de la estructura del edificio, es bastante claro que en tanto difiera el sistema estructural, cambiará la forma de distribución.

IV. 3. SISTEMAS DE RESISTENCIA LATERAL.

Estos sistemas varían de uno a otro, en términos de materiales utilizados, detalles de construcción, etc. Las variaciones conducen a distintos patrones de conducta de las estructuras, así cada sistema tiene características particulares. Por ejemplo: un sistema de paneles con sistemas de piso de concreto es bastante rígido, teniendo pequeñas deformaciones y un período fundamental pequeño. En el caso de una estructura de bastante altura, elaborada con acero es bastante flexible y tendrá un periodo fundamental relativamente mayor.

En general, un proyecto se piensa para resistir carga muerta y viva, muebles, personas, etc., las cargas laterales se tienen en un segundo plano. La razón es que las cargas laterales no se presentan permanentemente en la estructura, pero existe el riesgo de que ocurran, de ahí el nombre de cargas accidentales, y es tal ese riesgo que puede poner en peligro no sólo una, sino muchas construcciones al mismo tiempo, pueden verse los daños ocasionados por un huracán o un sismo. Muchas veces llegando a esta parte, diseño por carga accidental, no se cuenta con ninguna previsión dentro del proyecto y tiene que replantearse íntegramente.

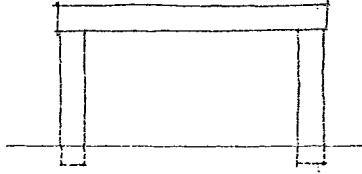
Una persona que se encargue de un proyecto debe conocer la existencia de diferentes sistemas de resistencia lateral para una misma forma y así pasar el diseño por carga accidental fácilmente. Por ejemplo si se tiene el siguiente marco y se presenta una carga lateral paralela al plano, éste se pue-



F. 4.12

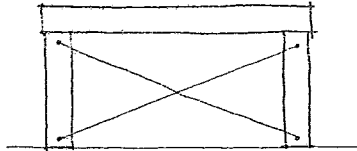
de reforzar de varias formas

a) Empotrando las columnas.



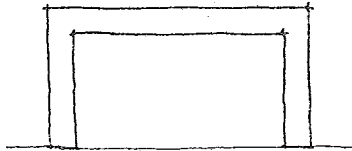
F. 4.12a

b) Por medio de tirantes.



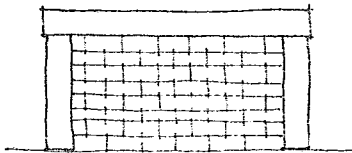
F. 4.12b

c) Proponiendo nudos rígidos



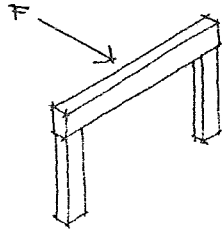
F. 4.12c

d) Con un muro adherido al marco



F. 4.12d

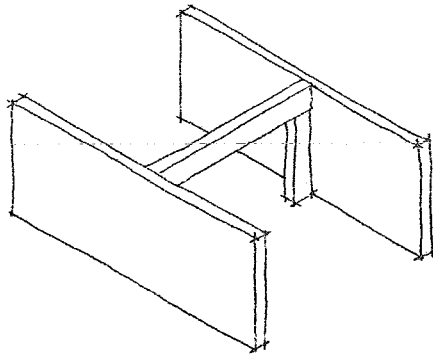
En el caso de que la carga se presente normal al plano del marco



F. 4.13

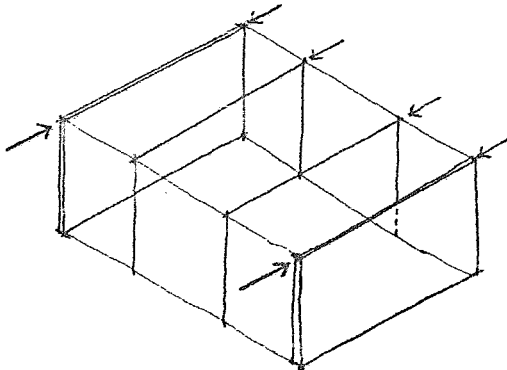
se puede reforzar mediante.

a) Uniéndolo a las paredes.



F. 4.13a

b) Utilizando diafragmas para distribuir la carga



F. 4.13b

Conociendo distintas alternativas dentro de los sistemas de resistencia lateral, se puede determinar al realizar el proyecto arquitectónico un sistema estructural que presente respuestas adecuadas entre las cargas a que estará sujeta la construcción.

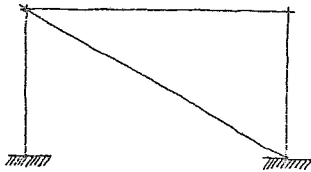
IV. 3.1. SISTEMA DE PANELES.

Es una combinación de elementos resistentes verticales y horizontales, planos. La mayoría de las construcciones utilizan diafragmas horizontales (sistemas de piso) por los pisos y cubiertas que deben existir. Las variaciones que existen de un sistema de resistencia vertical a otro es, en consecuencia, en los elementos de refuerzo vertical. Excepcionalmente se llega a reforzar la cubierta de una estructura, con tensores o algo similar, donde existe un gran número de aberturas o tejados sin soporte.

IV. 3.2. ESTRUCTURAS INTERNAMENTE REFORZADAS.

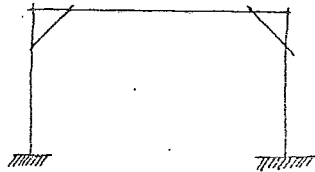
Una estructura hecha a base de columnas y vigas, no es muy apropiada en el caso de tener cargas laterales. La estructura puede reforzarse de modo que sin variar de una forma radical la estructuración puede llegarse a economizar en los per

files utilizados. Los muros de cortante pueden ser utilizados para lograr este refuerzo, en el caso de un sistema de p neles. También se pueden utilizar elementos diagonales como contravientos, articulaciones reforzadas, tirantes, etc., para dar la estabilidad necesaria.



Tirante

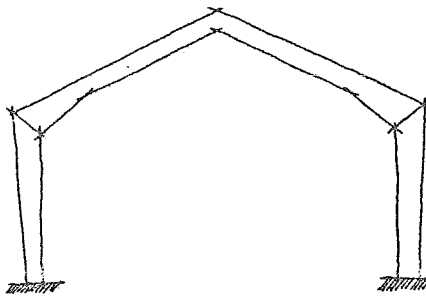
F. 4.14



articulaci3n reforzada

IV.3.3. MARCOS RIGIDOS

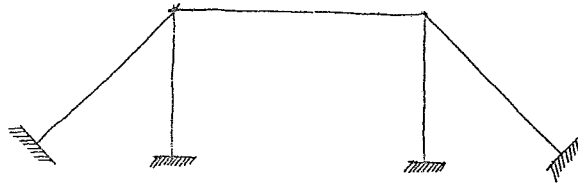
Dentro de las estructuras grandes afectadas por el viento es el sistema estructural más utilizado. Sus nudos son capaces de resistir momento flexionante y transmitirlo de elemento a elemento.



F. 4.15

IV. 3.4 Armaduras reforzadas externamente.

Una armadura se puede reforzar exteriormente utilizando cables, tirantes o contrafuertes. Es el caso de los puentes colgantes que se les colocan tirantes para evitar las oscilaciones producidas por el viento.



F. 4.16

IV.3.5. Elementos autoportados.

Son aquellos cuya resistencia a las cargas es resistida, básicamente, por su peso propio como bardas, muros de contención, etc.

IV.4. DISEÑO PARA EFECTOS ESTATICOS EQUIVALENTES.

El uso de efectos estáticos equivalentes permite simplificar el análisis y diseño eliminando el complejo procedimiento

to del análisis dinámico. Para hacer esto posible los efectos de la carga y la respuesta de la estructura se deben traducir en términos estáticos.

En el caso del viento, lo primero es establecer una presión estática a partir de la energía cinética del viento. Se hacen algunas consideraciones adicionales en cuanto a los efectos aerodinámicos tales como la rugosidad de la superficie, tanto del suelo como de la estructura, la forma del edificio, los efectos de las aberturas, pero eso no cambia la naturaleza estática del trabajo.

COMENTARIOS.

Al realizar cualquier proyecto se deben tener bien definidas las cargas y los efectos que tienen sobre la estructura (no solo el viento). Esto lleva a la elección del sistema estructural adecuado para resistir las cargas y presentar una respuesta admisible.

C A P Í T U L O V

E J E M P L O S.

Dos estructuras sensibles al viento son; un alto horno y una nave industrial. Se analizan estas estructuras utilizando tres distintos reglamentos. En el capítulo III se vio que hay diferencias en los criterios de estos cuerpos normativos, es de esperarse que los resultados del análisis por viento - difieran entre sí.

En este caso los comentarios se hacen en cada ejemplo y no al final del capítulo.

V.1. CARACTERISTICAS DE LOS REGLAMENTOS UTILIZADOS.

V.1.1. Reglamento de Construcciones del D. F.

En términos generales el RCDF establece los siguientes - lineamientos en el diseño por viento.

En vista de que la dirección del viento es impredecible, las estructuras se analizarán por lo menos en dos direcciones horizontales perpendiculares entre sí, de ambas condiciones,

para fines de diseño, se escogerá la más desfavorable.

Como la carga viva tiende a disminuir el efecto de volteamiento, ésta se suprimirá al hacer el análisis.

En este reglamento las estructuras se clasifican según su uso y según su tipo. De acuerdo al uso que se le dará a la estructura se definen 3 grupos:

Grupo A.-

Comprende las estructuras cuya falla pudiese calificarse de catástrofe. Es decir que se guarden en ellas cosas de valor en el sentido más amplio de la palabra (vidas humanas, - museos, tesoros, etc.).

Grupo B.-

Estructuras cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia. Este grupo engloba la mayoría de las construcciones como son casas habitación, locales, bodegas (que no alojen productos tóxicos), etc.

Grupo C.-

Estructuras provisionales que no requieren diseño por viento.

Para la clasificación según su tipo se toma base en los

efectos que el viento puede tener sobre las estructuras.

Tipo 1.

Comprende a las estructuras que son poco sensibles a los efectos de ráfagas y a efectos dinámicos de viento. En general son las estructuras rígidas en las que no cambia esencialmente su geometría.

Tipo 2.

Abarca estructuras esbeltas sensibles a las ráfagas, con periodos mayores de 2 segundos como son: antenas, tanques, - anuncios, etc.

Tipo 3.

Comprende estructuras similares a las del tipo 2, sólo - que su sección propicia la generación de vórtices, como son las chimeneas o tuberías.

Tipo 4.

Incluye estructuras que presentan problemas aerodinámicos especiales debido a sus grandes periodos, como cubiertas colgantes.

Una vez que se clasifica la estructura se determinan los efectos contra los cuales hay que diseñar. Para estructuras tipo 1 basta con obtener los empujes estáticos. En las estruc

turas del tipo 2 se incluyen efectos estáticos y dinámicos - (los efectos de ráfaga se contemplan en el reglamento). En las estructuras tipo 3 además de los efectos estáticos y dinámicos se revisarán contra la generación de vórtices alternantes de acuerdo con criterios aprobados por el Departamento. Para las estructuras del tipo 4 se hacen necesarios estudios especiales (deben ser aprobados por el Departamento) cuyos efectos sobre la estructura nunca deben ser menores que los especificados para el tipo 1.

Los empujes estáticos, es decir, presiones o succiones se determinan con la expresión.

$$P = 0.0055 C V^2$$

donde P - presión o succión (Kg/m²)

C - coeficiente de empuje

V - Velocidad de diseño (Km/hora)

La velocidad del viento se considera constante hasta 10 mts. de altura. Para estructuras del grupo B es de 80Km/hora, en caso de que la estructura se encuentre en promontorio es de 115 Km/hora. Para las estructuras del Grupo A se incrementan estos valores un 15%. Para alturas mayores de 10 mts. la velocidad será proporcional a raíz cúbica de la altura sobre el terreno, es decir;

$$U_x = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{1/3}$$

Los coeficientes de empuje se presentan para los casos más comunes como son: muros rectangulares verticales, edificios con planta y elevación rectangulares, cubiertas de arco circular, cubiertas a dos aguas, cubiertas a un agua, cubiertas en forma de diente de sierra, chimeneas, torres y armaduras.

Al considerar las presiones interiores se considera el porcentaje de aberturas siendo menor del 30% del área expuesta así como su orientación y se valua con la expresión.

$$C = 0.8 \frac{n}{30} \pm 0.3 \left(1 - \frac{n}{30} \right)$$

si la abertura se encuentra del lado del barlovento

$$C = 0.6 \frac{n}{30} \pm 0.3 \left(1 - \frac{n}{30} \right)$$

si la abertura se encuentra del lado del sotavento o a un costado.

Para cubrir los efectos dinámicos en las estructuras tipo 2 se multiplica la velocidad de diseño por 1.3.

Por último se menciona que las vibraciones causadas por

vórtices alternantes se valuarán con criterios aprobados por el Departamento.

V.1.2 NORMAS DE LA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.

Como su nombre lo indica más que un manual es un reporte de las investigaciones que ha realizado la Asociación de Ingenieros Civiles y en ésta forma esta presentado.

Como primer punto hace una introducción al problema del viento desde el punto de vista histórico, remontándose hasta 150 años en el pasado, a principios del siglo XIX. Comentando casos como el puente Dryburgh Abbey, el puente Tay, el Tacoma Narrows, etc.

En segundo lugar se habla de la naturaleza del viento. Se dice que el viento posee energía cinética debido a la velocidad que adquiere la masa del aire. Si se coloca un objeto en el paso de una corriente de aire ésta energía cinética se transforma en energía potencial. La intensidad de esta transformación depende de la forma del obstáculo, el ángulo de incidencia del viento, de la velocidad y la densidad del aire. Con conceptos como el anterior se presentan el origen del viento y sus efectos sobre las construcciones civiles. Acerca del origen del viento se habla de la circulación general

del viento en la atmósfera, origen de los ciclones tropicales debido a la incidencia de los rayos solares, de los tornados, etc.

El punto más importante de éste segundo tema es el que trata sobre las características específicas del viento; La variación de la velocidad con la altura, obtenida por Ekman, representadas en la espiral como modelo teórico de las observaciones de ciclones extratropicales y la distribución de velocidades de viento a 10 mts. de altura para los Estados Unidos (Isotacas), se presentan para períodos de recurrencia de 50 y 100 años. A partir de estas velocidades básicas se puede obtener la variación de la velocidad con la altura, tanto para zonas costeras o montañosas, con la expresión

$$V_z = V_{30} \left(\frac{z}{30} \right)^x$$

Donde:

V = velocidad del viento a la altura z

V₃₀ = velocidad básica del viento a 30 pies de altura.

x = exponente que varia de 0.3 para zonas costeras a 0.143 para zonas montañosas.

Un párrafo importante es:

"Hay un considerable decremento en la densidad del aire en lugares situados sobre el nivel del mar y consecuentemente hay una reducción en la presión dinámica comparado con la obtenida con la misma velocidad pero a nivel del mar. Por lo tanto si la velocidad de viento mostrada en las isotacas ocurre a una temperatura menor que la de la atmósfera estándar (15°C), la pérdida en densidad debida a la elevación puede compensarse con el incremento de la densidad debido a la baja temperatura. Por ejemplo, G. N. Brekke da una tabla en la que muestra que, a 1200 metros de elevación y a temperatura estándar, hay un decremento del 14% en la densidad comparada con la del nivel del mar, pero si la temperatura se redujese a -28°C no se podría considerar que hay una reducción en la densidad atmosférica. Consecuentemente es recomendable para los ingenieros no hacer reducción en la presión del viento en base a la disminución de la densidad atmosférica".

El tercer tema son consideraciones fundamentales. A partir del teorema de Bernoulli se establece la presión dinámica y se habla de la fricción, empuje, arrastre que provoca el viento en los objetos que encuentra a su paso, así como de la forma y orientación del cuerpo dentro de la corriente.

Dentro del cuarto tema se trata lo relacionado con estructuras cerradas, es decir, la distribución de presiones sobre

estructuras de forma usual. Se proporcionan coeficientes de empuje y se define que la presión local en cualquier punto en la superficie de un edificio es igual a la presión dinámica multiplicada por el coeficiente de empuje, la ecuación es

$$P = q C_d \quad [Kg/m^2]$$

donde:

q = presión dinámica $q = 0.012489 U^2$

C_d = coeficiente de empuje

Los coeficientes de empuje para formas usuales se han tomado del Código Danes de Construcción que contiene los datos más extensivos de coeficientes de empuje. Los coeficientes se proporcionan para distintos ángulos de incidencia sobre la proyección horizontal. Las estructuras que se consideran comunes son: casas habitación, cubiertas, naves con cubierta a dos aguas, diente de sierra y arco, chimeneas y tanques de almacenamiento. En los dos últimos casos se tienen coeficientes para distintas rugosidades.

El quinto tema, Puentes y Armaduras, trata sobre las investigaciones hechas sobre estas estructuras. Para armaduras los coeficientes de empuje se obtienen a partir de la relación entre el área neta de la estructura y el área limitada por las aristas exteriores de la armadura, llamada relación de solidez. Para puentes se obtienen en base a la relación ancho /al-

to de la sección transversal del puente y las gráficas son - para distintos ángulos de ataque.

Por último, el sexto tema, Estructuras sujetas a oscilación en el viento, presenta el tipo de estructuras propensas a presentar este problema como son: líneas de transmisión y telefónicas, torres atirantadas y puentes suspendidos. Estos últimos pueden sufrir de aleteo o entrar en resonancia al generarse vórtices en su estructura. Se presentan estudios de los efectos de spoiler para disminuir la acción del viento, en términos generales.

V.1.3. NORMAS DEL AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE.

En su publicación el American Nacional Standard Institute, como organización normativa, presenta los lineamientos generales a considerar en cuanto a las cargas (permanentes y variables) que actuarán en una estructura a diseñar. Las cargas son: carga viva, muerta, sismo, nieve, viento y lluvia.

El capítulo de nuestro interés, viento, inicia con una introducción a lo que se tratará en el capítulo. Dentro de este inciso hay dos párrafos, uno de los cuales señala que el momento de volteo no excederá a las dos terceras partes de la carga muerta a menos que la estructura se asegure para resistir dicho momento, además que cuando la fuerza resistente de-

bida a la fricción sea insuficiente para evitar el deslizamiento, se reforzará la estructura contra dicho deslizamiento. El segundo párrafo es de mayor interés. "Carga de viento durante las fases de erección y construcción. Se deberán considerar refuerzos temporales adecuados con objeto de resistir la fuerza del viento en componentes y ensambles estructurales durante las fases de erección y construcción". De los tres reglamentos utilizados es el único que al menos dedica un párrafo sobre este punto, ya que siempre se diseña una estructura pensándola como si estuviese completamente construída.

En seguida se presentan algunas definiciones como velocidad básica, (la velocidad registrada a 10 mts. de altura para un período de recurrencia de 50 años). Fuerza de diseño (Fuerza estática equivalente usada en la determinación de carga de viento para estructuras encerradas...), presión de diseño (Presión estática equivalente en la determinación de carga por viento para edificios), factor de importancia (un factor que valora el grado de peligro para las vidas humanas y daño a la propiedad), Area tributaria (La porción de superficie que recibe la presión del viento y la transmite a un elemento de soporte), etc.

Para el cálculo de la fuerza del viento se pueden seguir dos procedimientos:

- a) Procedimiento analítico
- b) Estudio en túnel de viento

Para el caso a) se seguirán los siguientes pasos, se selecciona una ecuación de acuerdo a la estructura:

$P = q Gh Cp$ Para sistemas estructurales principales en edificios.

$F = qz Gh Cf Af.$ para otras estructuras (estructuras encerradas o casas habitación)

donde:

Af. área de la proyección vertical normal al viento.

Cf. Coeficiente de empuje

F. Fuerza de diseño

Cp. Coeficiente de presión externa

Gh. Factor de ráfaga para sistemas estructurales evaluado a la altura h.

Una vez que se tiene la ecuación adecuada a la estructura deben seguirse los siguientes pasos:

- 1) La presión qz se determina con la fórmula

$$qz = 0.012499 kz (IV)^2 \left[\text{Kg/m}^2 \right]$$

donde:

V. es velocidad básica m/seg.

I. factor de importancia

kz. es un coeficiente de exposición.

Para seleccionar la velocidad básica se tiene una carta de isotacas con período de recurrencia de 50 años, en la que existen regiones especiales. Estas regiones especiales no se han estudiado por falta de datos confiables o por ser zonas de tornados. En caso de encontrarse en una de estas regiones el código establece que se debe realizar un análisis estadístico de valores extremos con datos de la estación más cercana y -ajustarlos a la situación. En ningún caso la velocidad será menor de 112.63 Km/hora (70 millas /h).

2) El factor de importancia depende de dos factores, si la construcción está en la costa o en montaña, de la categoría (algo similar a los grupos en el RCDF);

Categoría I : todas las construcciones menos las listadas abajo.

II : Edificios importantes donde se reúnan más de 300 personas.

III : Edificios vitales para la seguridad de la población en caso de desastre como son:

- 1) Hospitales o centros de emergencia.
- 2) Estaciones de bomberos y policía.
- 3) Centros de comunicación.
- 4) Estaciones de energía que se requirieran en caso de emergencia.
- 5) Estructuras necesarias para la defensa nacional.

IV Estructuras provisionales.

el factor de importancia varía desde 0.95 a 1.11.

3) El coeficiente de exposición, variable con la altura, se obtiene a partir de la categoría de exposición de la estructura en cuestión:

Exposición A = Centros de grandes ciudades donde los edificios tienen, en su mayoría, altura mayor de 70 pies.

Exposición B = Areas urbanas y suburbanas donde las construcciones son de tipo familiar.

Exposición C = Terreno abierto sin obstrucciones con promontorios menores de 30 pies.

Exposición D = Areas costeras expuestas directamente a la acción del viento.

para este coeficiente hay valores que, para una altura de 15 pies, van de 0.12 (exposición A) a 1.20 (exposición D), para una altura de 500 pies varían de 1.24 (exposición A) a 2.41 (exposición D).

4) El factor de ráfaga, también variable con la altura, se obtiene de acuerdo a la categoría de exposición.

5) Para construcciones con aberturas, se proporciona un

coeficiente de presión interna. Cuando el porcentaje de aberturas sea mayor del 10% en una pared se incrementarán los coeficientes en ± 0.75 del lado del barlovento y -0.25 del lado del sotavento. En cualquier otro caso se tomará ± 0.25 , según el caso más desfavorable.

6) Los coeficientes se presentan en forma de tablas para distintos tipos de estructuras, por ejemplo. Cubiertas de arco; dependiendo de la relación flecha entre claro se tienen valores para tres zonas de la cubierta (Cuarto del barlovento, zona central, cuarto del sotavento). También se hace una distinción si la cubierta se encuentra sobre una estructura elevada o si se encuentra al nivel del suelo.

Otros tipos de estructuras para las que se dan los coeficientes de empuje son: Chimeneas, tanques y similares, muros sólidos, para armaduras y celosías y torres atirantadas. Para estructuras del tipo de naves industriales y edificios los coeficientes se obtienen en gráficas donde están en función del área tributaria y se marcan zonas específicas para los coeficientes.

Para el caso b), cuando se realizan estudios de túnel de viento, el reglamento establece los siguientes lineamientos generales. Estas pruebas deben efectuarse para estructuras que tengan una forma geométrica poco usual o cuando las carac-

terísticas del sitio de localización pueden amplificar los efectos del viento. Para conducir adecuadamente una prueba deben considerarse los siguientes aspectos:

- a) La variación de la velocidad con la altura.
- b) La escala del modelo no es mayor de tres veces la escala de la componente longitudinal de turbulencia.
- c) Se podrán controlar y medir los efectos simulados en el túnel.

- d) Deberá vigilarse que el modelo guarde relación a la escala natural en cuanto a dimensiones, distribución de masa, rigidez y amortiguamiento.

V. 2 ANALISIS POR VIENTO DE UN ALTO HORNO.

V.2.1. Utilizando el RCDF.

Clasificación: Según su uso Caso A

Tipo 3.

Las estructuras tipo 3 son las que, por su sección transversal, son propicias para generar vórtices alternantes. Teniendo cuidado de colocar spoilers en ellas se pueden tratar como estructuras del tipo 2.

Velocidad de Diseño.

El alto horno se localiza en las costas de Michoacán, específicamente en Lázaro Cárdenas. Para estructuras caso A se establece un periodo de recurrencia de 200 años, utilizando la regionalización eólica se observa que para la zona de Lázaro Cárdenas la velocidad regional es de 170 km/hora. Tratándose de campo abierto la velocidad básica es igual a la regional.

Considerando un factor de ráfaga de 1.3 la velocidad básica de diseño es:

$$V_0 = 1.3 \times 170 = 221 \text{ km/hora.}$$

La velocidad se considera constante hasta 10 mts. de altura, para alturas mayores se calculará con la expresión:

$$V_z = V_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha$$

en este caso $\alpha = 0.14$

$$z_0 = 10 \text{ mts.}$$

$$V_0 = 221 \text{ kms/hora.}$$

$$V_z = 160.10 z^{0.14}$$

La presión se calculará con

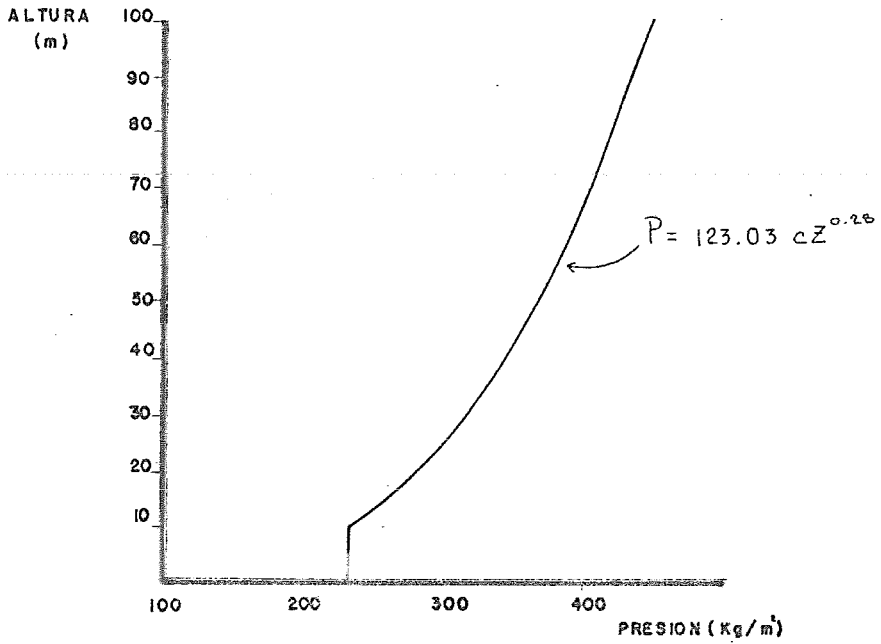
$$P = 0.0048 C V^2$$

sustituyendo,

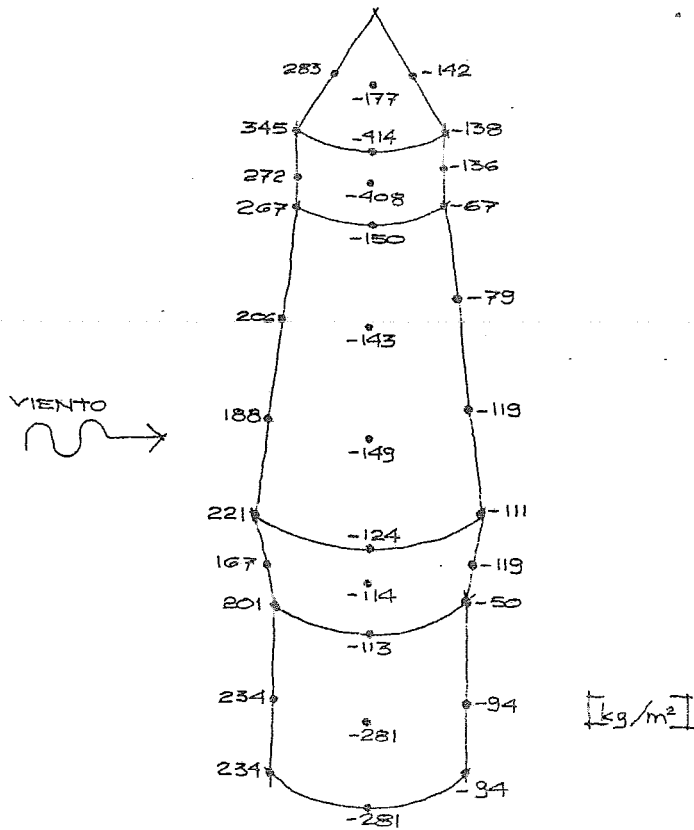
$$p = 0.0048 c (160.10 z^{0.14})^2$$

$$p = 123.03 c z^{0.28}$$

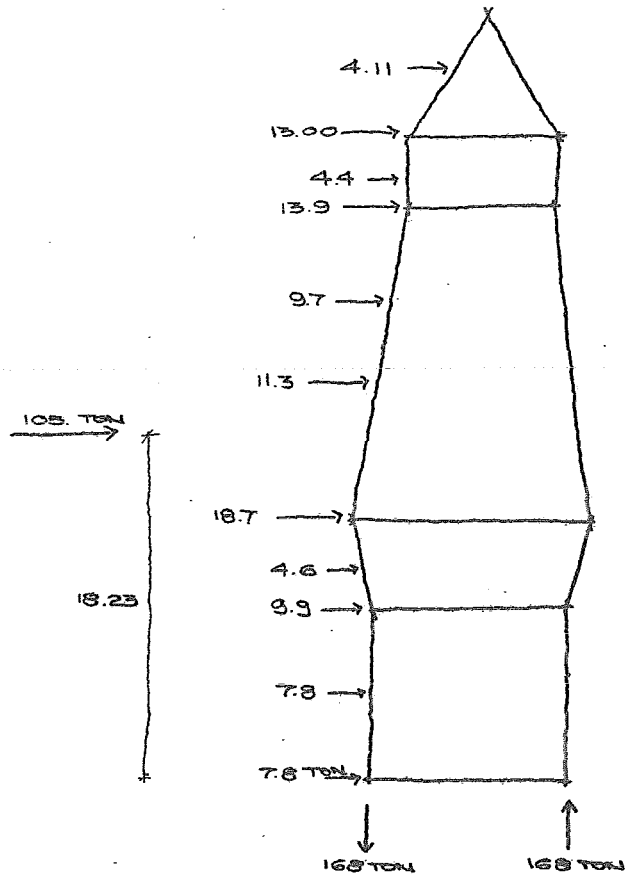
Gráficamente la variación de presiones es:



Utilizando los coeficientes de empuje del Apéndice 2 se tiene la siguiente distribución de presiones



Considerando las áreas tributarias las fuerzas aplicadas son:



V.2.2. Utilizando las normas ASCE.

Las normas proponen velocidades básicas asociadas a distinto período de recurrencia, estos son seleccionados de acuerdo al criterio del diseñador. Por ejemplo se proponen las siguientes

	<u>tr</u>	<u>Velocidad básica</u>
50 años		(100 mill/hr)
100 años		(120 mill/hr)

Pensando en el riesgo que implicaría la falla de las estructuras se tomará como velocidad básica, la correspondiente a 100 años de período de recurrencia.

Como la estructura puede responder a ráfagas de corta duración se tomará un factor de 1.3.

$$V_0 = 120 \times 1.3 = 156 \text{ millas por hora}$$

La velocidad se considera constante hasta 30 pies de altura, para alturas mayores la variación se calculará con la expresión:

$$V_z = V_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^x$$

en este caso $V_0 = 156$ millas/hora

$$Z_0 = 30 \text{ pies}$$

$$x = 0.143$$

$$V_Z = 95.917 Z^{0.143}$$

La presión será:

$$P = 0.002558 c v^2$$

sustituyendo

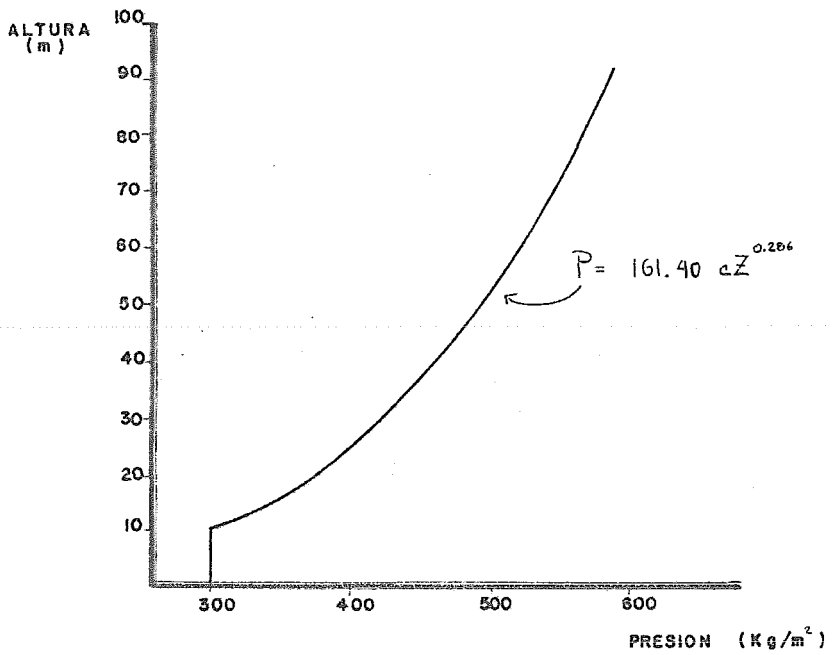
$$p = 0.002558 c (95.917 Z^{0.143})^2$$

$$p = 23.534 c Z^{0.286}$$

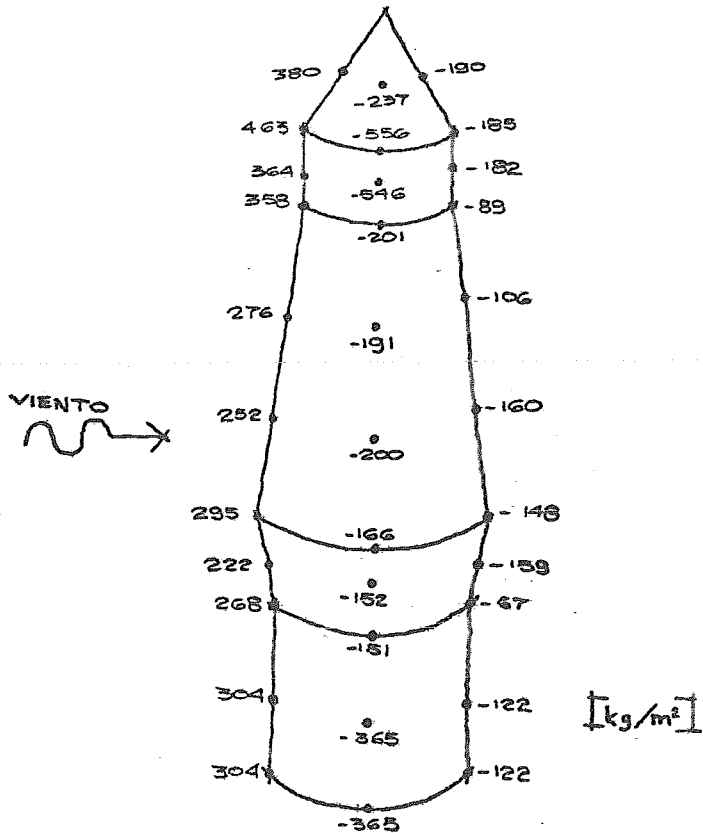
La distribución de presiones

Altura (pies)	presión lb/ft ²	altura (mts)	Presión Kg/m ²
300	120.27	91.44	587.21
270	116.70	82.30	569.77
240	112.83	73.15	550.90
210	108.60	64.01	530.26
180	103.92	54.86	507.39
150	98.64	45.72	481.61
120	92.54	36.58	451.83
90	85.23	27.43	416.15
60	75.90	18.29	370.58
30	62.25	9.14	303.94

La variación de la presión es:

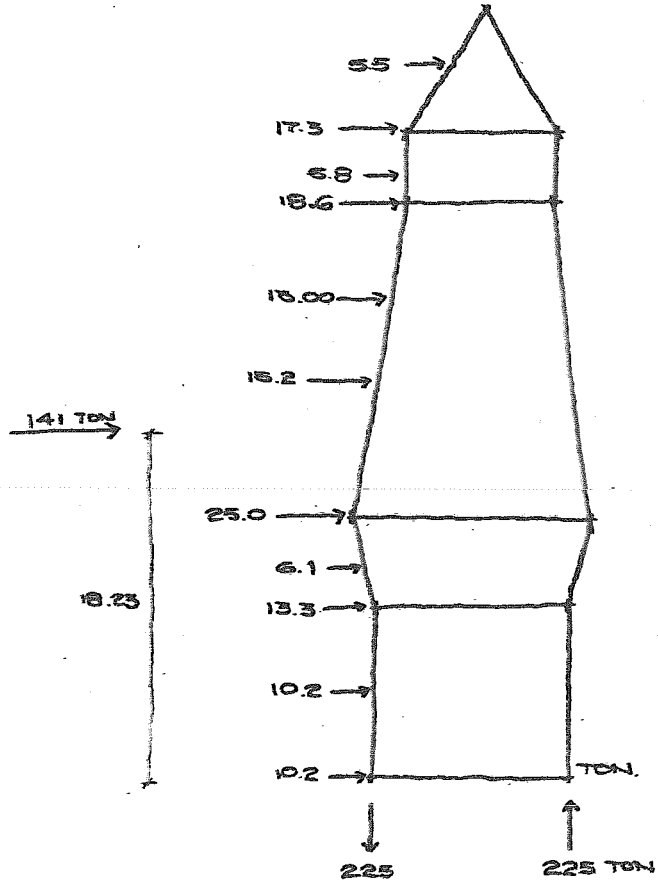


Utilizando los coeficientes de empuje del Apéndice 2 la distribución de presión es:



Considerando las áreas tributarias las fuerzas aplicadas

son:



V. 2.3. UTILIZANDO LAS NORMAS ANSI.

Estas normas contienen un párrafo importante, del que adolecen tanto el RCDF y las normas ASCE, que dice:

"Carga de viento durante las fases de construcción y - erección. Se deberá proveer de refuerzos temporales adecuados para resistir la carga de viento en componentes y ensamblajes estructurales durante las fases de construcción y erección."

La carga no será menor de 10 lbs./ft^2

Clasificación:

Categoría de exposición: "D".- Areas costeras libres de obstáculos expuestas al libre flujo de aire sobre grandes áreas.

Velocidad básica = 110 millas/hora

Categoría. III.- Estructuras cuya falla implica un gran riesgo.

Factor de importancia I = 1.11

La presión estará dada por

$$q = q_z G_h C_F \quad \left[\text{lb/ft}^2 \right]$$

donde q_z = presión a la altura z $q_z = 0.00256 k_z (IV)^2$

Gh = Factor de ráfaga por elementos principales

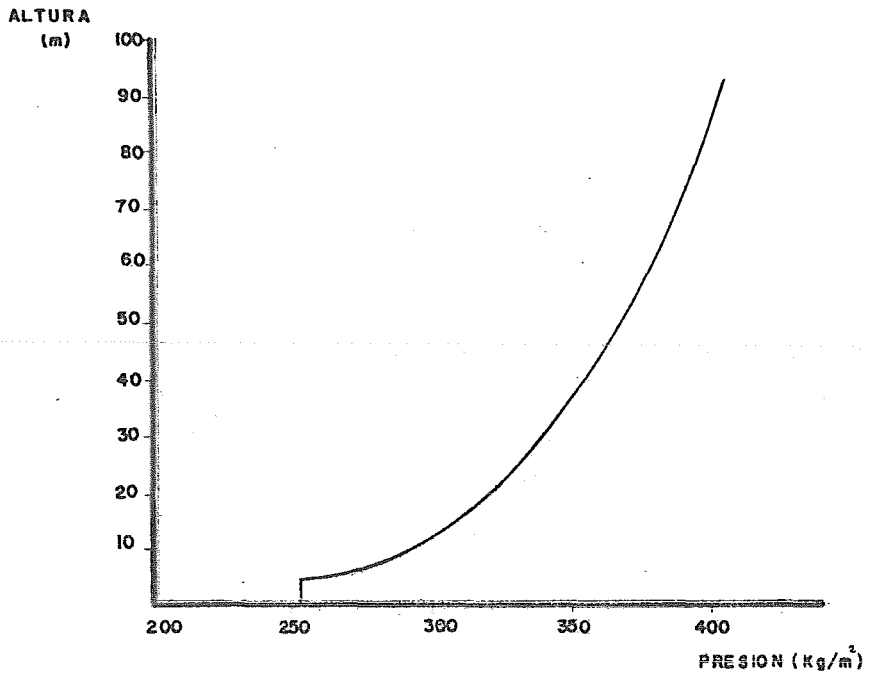
Cf = coeficiente de empuje

Kz = coeficiente de velocidad

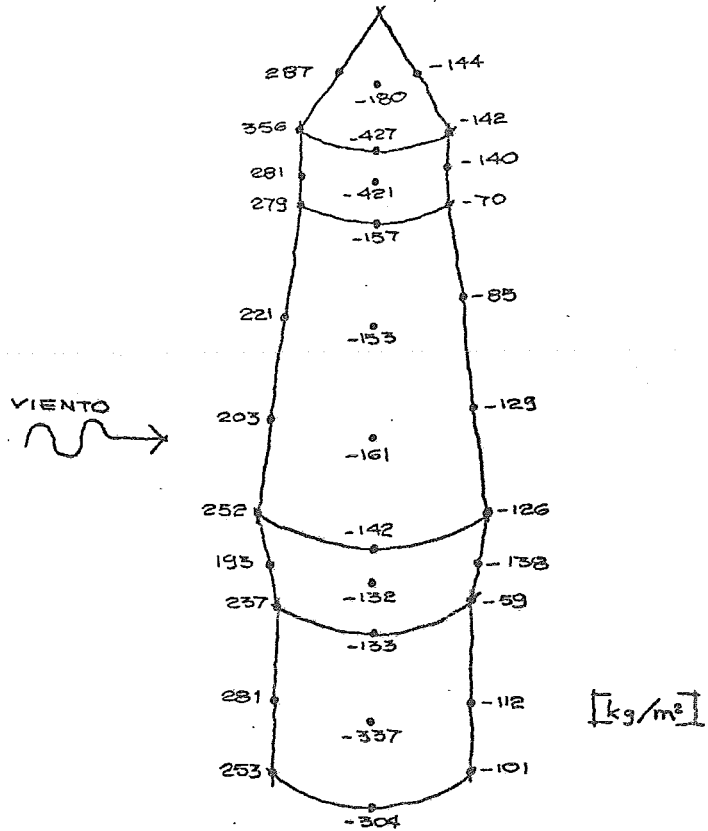
La obtención de Kz y Gh es por medio de tablas

Altura (ft)	Kz	Gh	$\left[0.00256 \cdot 1.1 \times 110^2 = 37.48\right]$ qz	lb/ft ² qcf	Kg/m ² qcf.	
0 - 15	1.20	1.15		44.98	51.72	252.54
20	1.27	1.14		47.60	54.26	264.95
25	1.32	1.13		49.47	55.91	272.96
30	1.37	1.12		51.35	57.51	280.80
40	1.46	1.11		54.72	60.74	296.57
50	1.52	1.10		56.97	62.67	305.96
60	1.58	1.09		59.22	64.55	315.16
70	1.63	1.08		61.09	65.98	322.15
80	1.67	1.08		62.59	67.60	330.06
90	1.71	1.07		64.09	68.58	334.84
100	1.75	1.07		65.59	70.18	342.67
120	1.81	1.06		67.84	71.91	351.10
140	1.87	1.05		70.09	73.59	359.32
160	1.92	1.05		71.96	75.56	368.93
180	1.97	1.04		73.84	76.79	374.93
200	2.01	1.04		75.34	78.35	382.54
250	2.10	1.03		78.71	81.07	395.83
300	2.18	1.02		81.71	83.34	406.92

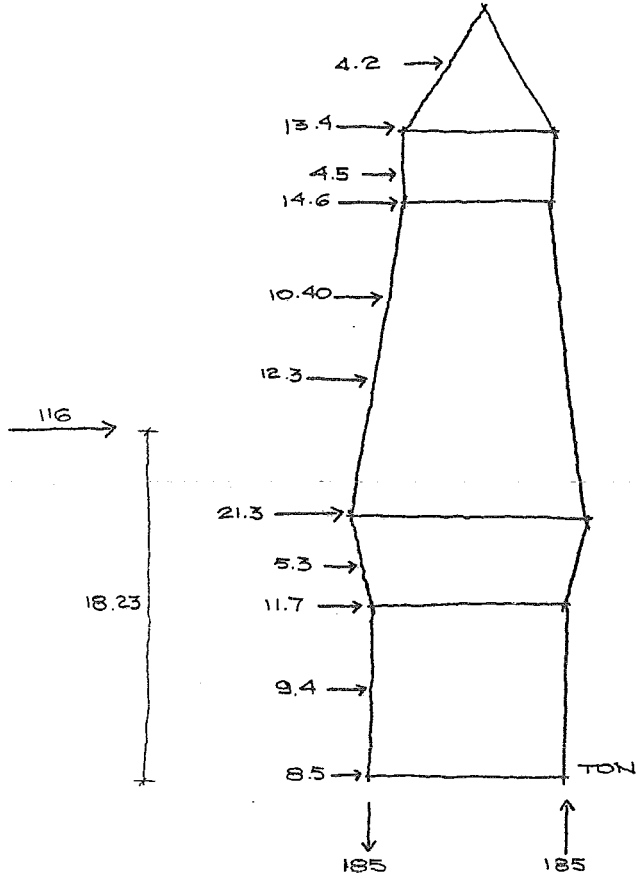
La variación de las presiones:



Utilizando los coeficientes de empuje del Apéndice 2
la distribución de presión es:



Considerando las áreas tributarias la aplicación de fuerzas laterales es:



COMENTARIOS SOBRE EL ALTO HORNO.

En ninguno de los 3 reglamentos existen coeficientes de empuje para una estructura de este tipo.

Respecto a los resultados se puede observar que el RCDF es el que arroja los valores mínimos para esta estructura, mientras que con ASCE se encuentran los máximos. Entre el RCDF y ANSI difieren entre sí valores no muy grandes, la diferencia es el doble cuando se comparan ASCE y ANSI.

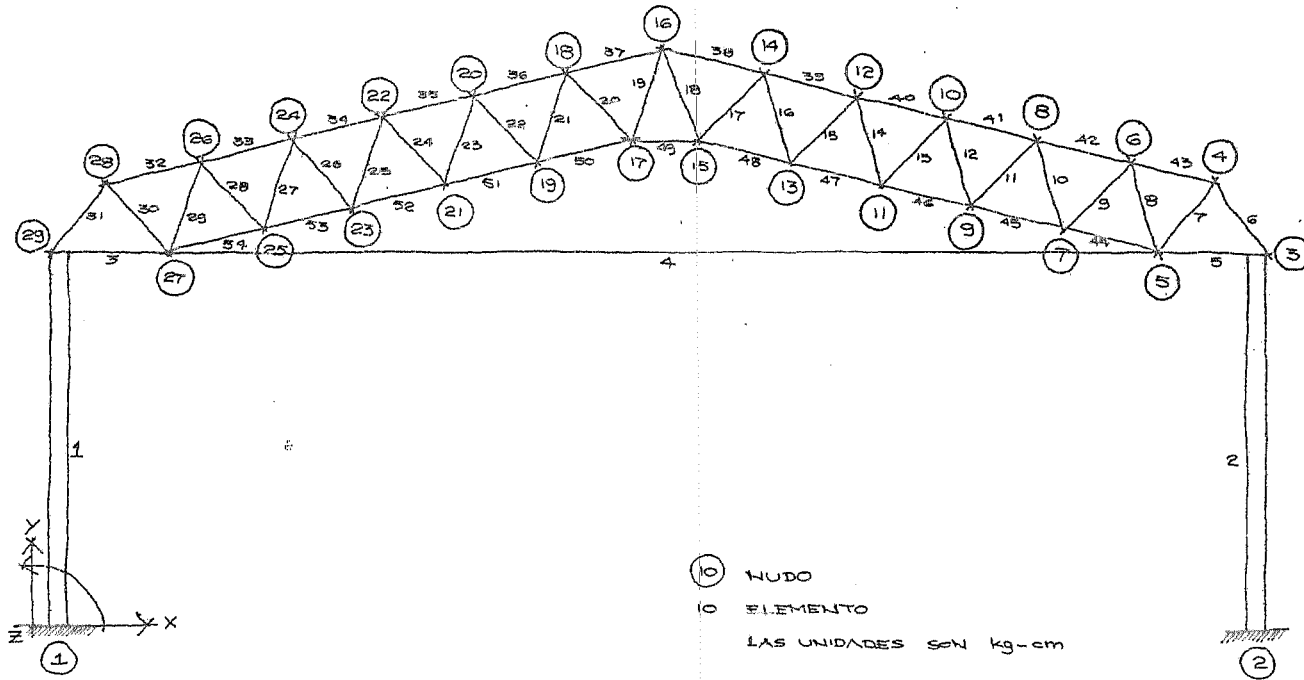
En el siguiente capítulo se hacen más comentarios sobre este problema.

V.3. ANALISIS POR VIENTO DE UNA NAVE INDUSTRIAL

La estructura se numeró de la siguiente forma:

Para el análisis se utilizó el método de las rigideces.

En el apéndice 3 se encuentran la tabla de coordenadas de los nudos y de incidencia de elementos.



V.3.1. ANALISIS POR CARGA MUERTA + CARGA VIVA

Peso largueros 5.00 K/m

Peso de la armadura 450.00 Kg = por armadura

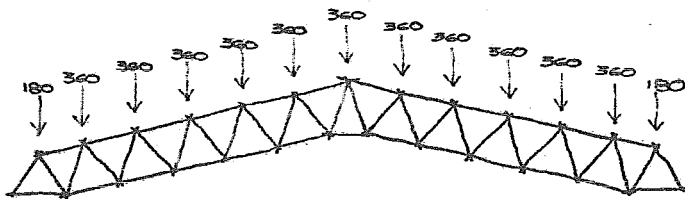
Peso de la lámina (asbestolit 7, 6.5 mm. espesor) 25.00Kg/m²

Peso por metro cuadrado

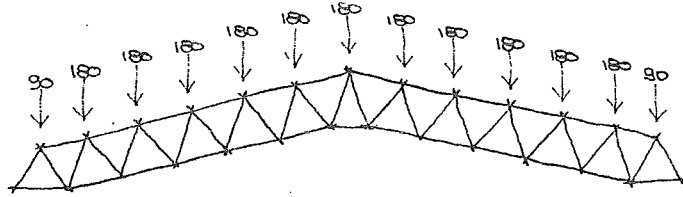
lámina	25 kg/m ²
armadura	10 kg/m ²
largueros	<u>5 kg/m²</u>
	40 kg/m ² carga muerta

Carga viva = 20.0 kg/m² art. 227. = RCDF

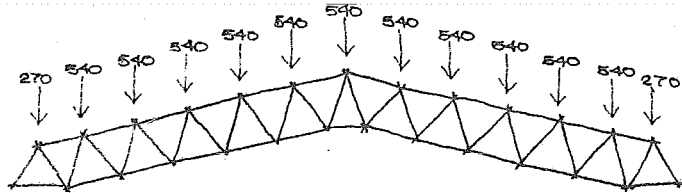
tenemos por armadura



para carga viva sería algo similar sólo que con los valores reducidos a la mitad



Combinando ambas acciones tenemos:



CARGA MUERTA + CARGA VIVA

Haciendo el análisis los desplazamientos de los nudos li
bres son:

CONDICION DE CARGA: CARGA MUERTA +CARGA VIVA

DESPLAZAMIENTOS

NUDO DESPLAZAMIENTO EN X DESPLAZAMIENTO EN Y

3	0.29460	-0.01258
4	0.04806	-0.21885
5	0.27087	-0.43937
6	0.01759	-0.53622
7	0.00799	-0.74819
8	0.04225	-0.83144
9	0.12333	-1.00762
10	0.18333	-1.15714
11	0.07758	-1.20322
12	0.05475	-1.24574
13	0.03222	-1.28267
14	0.02333	-1.31401
15	0.01322	-1.33967
16	0.00733	-1.35774
17	0.00362	-1.36965
18	0.00321	-1.37564
19	0.00275	-1.37665
20	0.00547	-1.24557
21	0.07826	-1.20323
22	0.15753	-1.00717
23	0.13912	-0.60755
24	0.04157	-0.23332
25	0.21944	-0.24314
26	0.00651	-0.53619
27	0.28653	-0.43634
28	0.08467	-0.21884
29	0.29525	-0.01258

Las fuerzas en los elementos son:

En las columnas

1		i	j	2		i	j
	Normal	-3239	-3239		Normal	-3239	-3239
	Cortante	44	44		Cortante	- 44	- 44
	Momento	-26201	0		Momento	26201	0

En la armadura

Elemento	fuerza	Elemento	fuerza
3	2344	29	-2099
4	4430	30	2606
5	2346	31	-4021
6	-4021	32	-4222
7	2606	33	-5929
8	-2099	34	-7093
9	1592	35	-7700
10	-1594	36	-7672
11	1000	37	-7084
12	- 999	38	-7084
13	459	39	-7672
14	- 434	40	-7700
15	- 234	41	-7093
16	235	42	-5929
17	- 762	43	-4222
18	1254	44	231
19	1254	45	1809

Elemento	fuerza	Elemento	fuerza
20	- 762	46	2805
21	235	47	3252
22	- 234	48	3016
23	- 434	49	1964
24	459	50	3016
25	- 999	51	3252
26	1000	52	2805
27	-1594	53	1809
28	1592	54	231

V. 3.2 ANALISIS UTILIZANDO EL RCDF

Nave Industrial RCDF

Clasificación

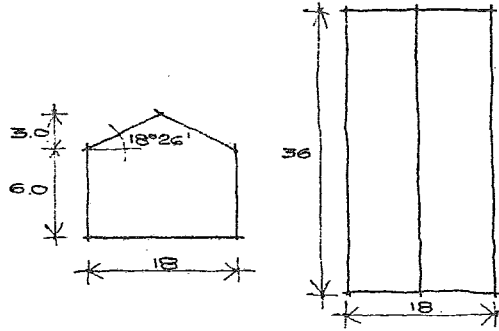
Según su uso

Grupo B

Tipo 1

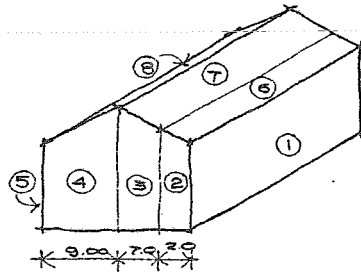
Como la altura de la nave es menor de 10 mts, se considera que no habrá variación de la velocidad con la altura.

$V_d = V_b = 80 \text{ km/hora}$



Viento normal a las generatrices

Coefficiente de empuje



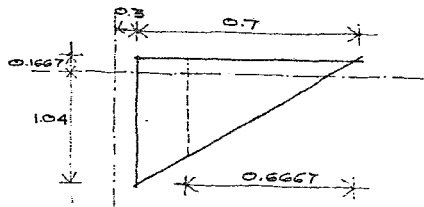
- $C_1 = 0.75$
- $C_2 = -1.75$
- $C_3 = -1.00$
- $C_4 = -0.40$
- $C_5 = -0.68$
- $C_6 = -0.99$
- $C_7 = -0.47$
- $C_8 = -0.68$

$C_{61} = -1.75 + 0.385 (18.43) = -1.04$

$D/h = 0.3$

$C_{62} = 0.5 \tan (18.43) = 0.1667$

$D/h = 1.0$

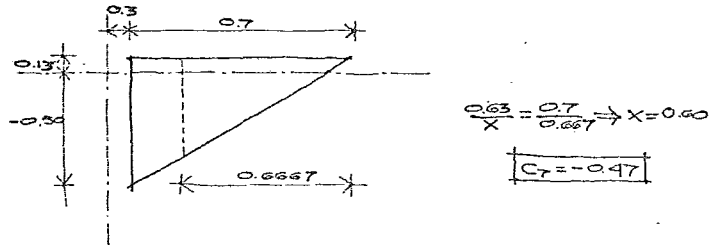


$\frac{1.21}{X} = \frac{0.7}{0.667} \Rightarrow X = 1.15$

$C_6 = -0.99$

$$C71 = 1.0 + 0.27 (18.43) = -0.50$$

$$C72 = 0.40 (\text{tang } (18.43)) = 0.13$$

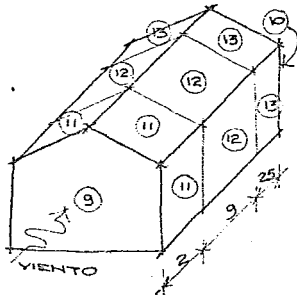


Para presiones interiores se tomará, según el caso más desfavorable.

$$C = \pm 0.3$$

Combinando efectos	Presiones
$C1 = 1.05$	$P1 = 36.96 \text{ Kg/m}^2$
$C1 = -2.05$	$P2 = -72.16 \text{ ''}$
$C3 = -1.30$	$P3 = -45.76 \text{ ''}$
$C4 = -0.70$	$P4 = -24.64 \text{ ''}$
$C5 = -0.98$	$P5 = -34.50 \text{ ''}$
$C6 = -1.29$	$P6 = -45.51 \text{ ''}$
$C7 = -0.77$	$P7 = -27.10 \text{ ''}$
$C8 = -0.98$	$P8 = -34.50 \text{ ''}$

Viento paralelo a las generatrices



Coefficientes de empuje

$$C1 = 0.75$$

$$C10 = -0.68$$

$$C11 = -1.75$$

$$C12 = -1.00$$

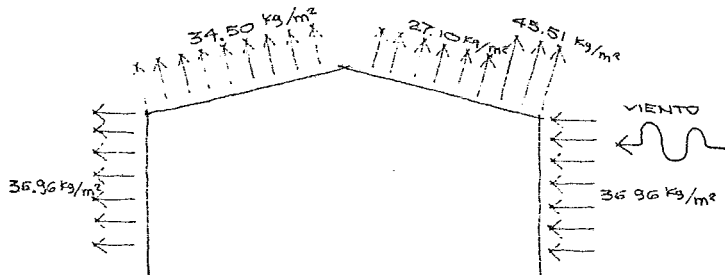
$$C13 = -0.40$$

Por presiones interiores $C = \pm 0.30$

Combinando	Presiones
$C9 = 1.05$	$P9 = 36.96 \text{ Kg/m}^2$
$C10 = -0.98$	$P10 = -34.50 \text{ "}$
$C11 = -2.05$	$P11 = -72.16 \text{ "}$
$C12 = -1.30$	$P12 = -45.76 \text{ "}$
$C13 = -0.70$	$P13 = -24.64 \text{ "}$

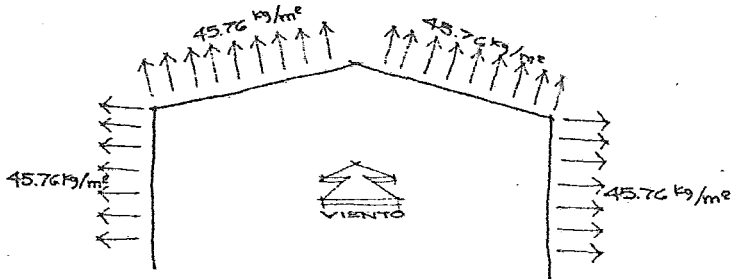
Para los marcos transversales los casos más desfavorables pueden ser:

a) Cuando el viento actúa normal a las generatrices

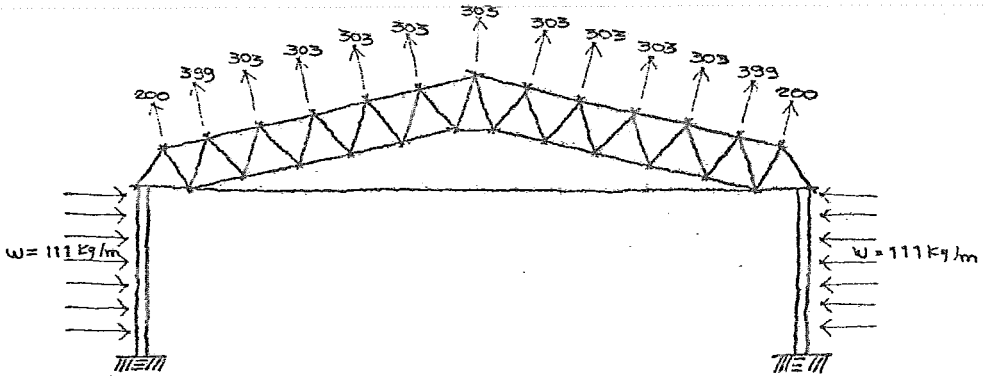


b) Cuando el viento actúa paralelo a las generatrices se tiene una succión de 72.16 Kg/m^2 pero sólo actúa sobre el primer marco que en una longitud de 2 metros, ya que este marco

sólo tiene la mitad del área tributaria que los restantes, no se considera como el más desfavorable. Así que tomaremos la correspondiente a la zona 12



Para el caso a) las cargas en el marco son:



Para el caso b)

Haciendo el análisis los desplazamientos de los nudos li
bres son:

CONDICION DE CARGA: C.M. + VIENTO ACEF

NUCO	DESPLAZAMIENTOS	
	DESPLAZAMIENTO EN X	DESPLAZAMIENTO EN Y
3	-0.02508	0.00121
4	-0.00165	0.02328
5	-0.00266	0.04780
6	-0.00756	0.05734
7	-0.01589	0.07088
8	-0.03066	0.08836
9	-0.04872	0.10454
10	-0.06999	0.11254
11	-0.09322	0.12549
12	-0.09000	0.12884
13	-0.05017	0.13626
14	-0.02223	0.13896
15	-0.00033	0.13977
16	0.00000	0.13857
17	0.00047	0.13577
18	-0.00017	0.13696
19	-0.00013	0.13625
20	-0.00094	0.12884
21	-0.00028	0.12549
22	-0.00093	0.11254
23	-0.00078	0.10853
24	-0.00050	0.08836
25	-0.00094	0.07988
26	-0.00050	0.05734
27	-0.00032	0.04699
28	-0.00015	0.02328
29	0.00014	0.00121

Las fuerzas en los elementos son:

En las columnas

		i	j			i	j
1	Normal	308	308	2	Normal	308	308
	Cortante	458	-158		Cortante	-458	158
	Momento	-28594	0		Momento	28594	0

En la armadura

Elemento	Fuerza	Elemento	Fuerza
3	- 226	29	196
4	- 375	30	- 233
5	- 226	31	388
6	388	32	464
7	- 233	33	741
8	196	34	930
9	- 113	35	1030
10	115	36	1035
11	- 22	37	945
12	21	38	945
13	62	39	1035
14	- 65	40	1030
15	167	41	930
16	- 166	42	741
17	253	43	464
18	- 178	44	- 62
19	- 178	45	- 175
20	253	46	- 199
21	- 166	47	- 132
22	167	48	34
23	- 65	49	275
24	62	50	34
25	21	51	- 132

Elemento	Fuerza	Elemento	Fuerza
26	- 22	52	- 199
27	115	53	- 175
28	- 113	54	- 62

V.3.3. ANALISIS UTILIZANDO LAS NORMAS ASCE
NAVE INDUSTRIAL ASCE

En la nave no se guardarán sustancias tóxicas, así que elegimos la velocidad mínima de diseño para un período de retorno de 50 años que es de 60 millas/h. Siendo la estructura menor de 30 pies (10 m) no se considera variación de la velocidad.

La presión será:

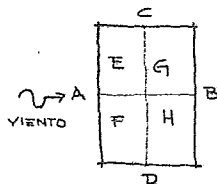
$$p = 0.002558 v^2 \quad \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \right]$$

en este caso

$$p = 0.002558 (60)^2 = 9.209 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \right]$$

esta presión multiplicada por el coeficiente de empuje adecuado nos da la presión de diseño por unidad de área.

Coeficiente de empuje:



A = 0.9

B = -0.5

C = -0.7

D = -0.7

E = -0.6

F = -0.6

G = -0.5

H = -0.5

Presiones interiores ± 0.2

Coefficientes finales

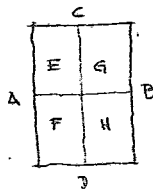
- A = 1.1
- B = -0.7
- C = -0.9
- D = -0.9
- E = -0.8
- F = -0.8
- G = -0.7
- H = -0.7

Las presiones serán:

Cara	Presión lb/ft ²	Presión Kg/m ²
A	10.13	49.46
B	- 6.45	-31.47
C	- 8.29	-40.47
D	- 8.29	-40.47
E	- 7.37	-35.97
F	- 7.37	-35.97
G	- 6.45	-31.47
H	- 6.45	-31.47

Cuando el viento actúa en una dirección perpendicular

Viento



Coefficientes de empuje

- A = -0.5
- B = -0.5
- C = 0.9
- D = -0.4
- E = -0.7

- 190 -

F = -0.2

G = -0.7

H = -0.2

Presiones interiores ± 0.2

A = -0.7

B = -0.7

C = 1.1

D = -0.6

E = -0.9

F = -0.4

G = -0.9

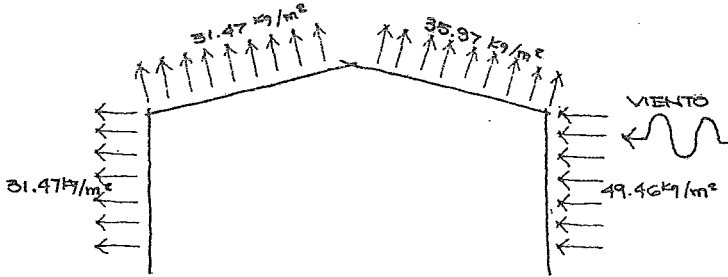
H = -0.4

Las presiones serán:

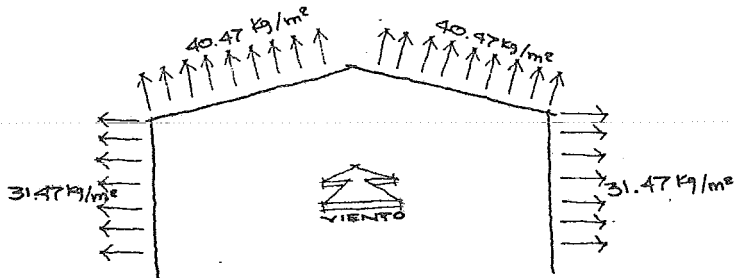
Cará	Presión lb/ft ²	Presión Kg/m ²
A	- 6.45	-31.47
B	- 6.45	-31.47
C	10.13	49.46
D	- 5.53	-26.98
E	- 8.29	-40.47
F	- 3.68	-17.98
G	- 8.29	-40.47
H	- 3.68	-17.98

Para los marcos transversales los casos más desfavorables son:

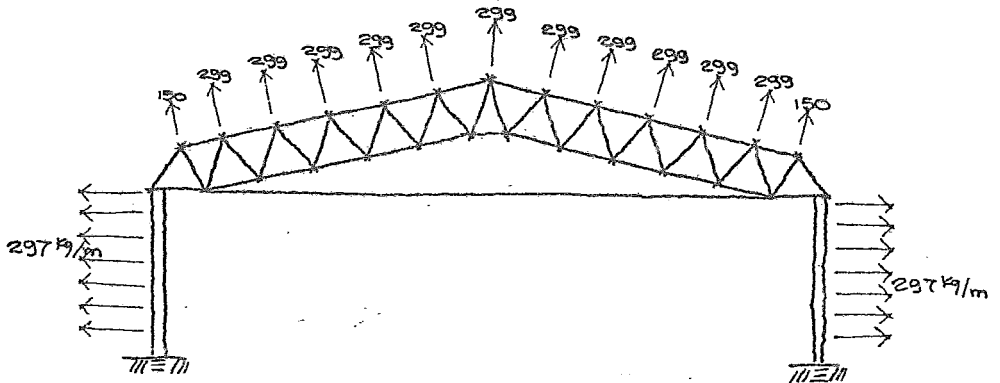
a) Cuando el viento actúa normal a las generatrices



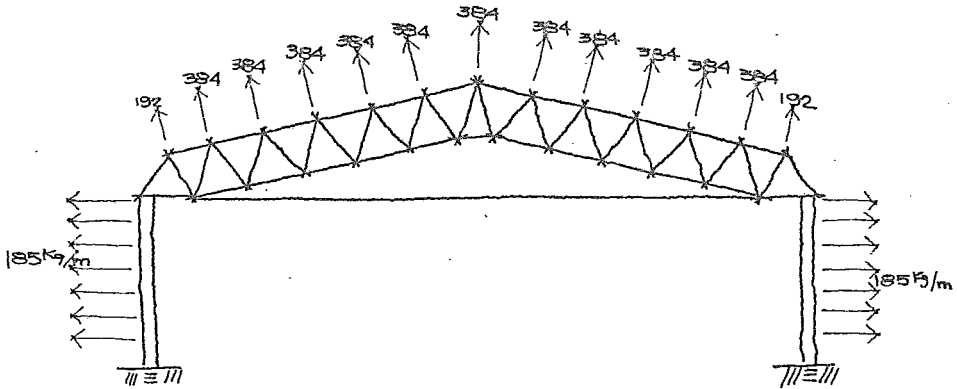
b) Cuando el viento actúa perpendicular a las generatrices



Para el caso a) las cargas en el marco son:

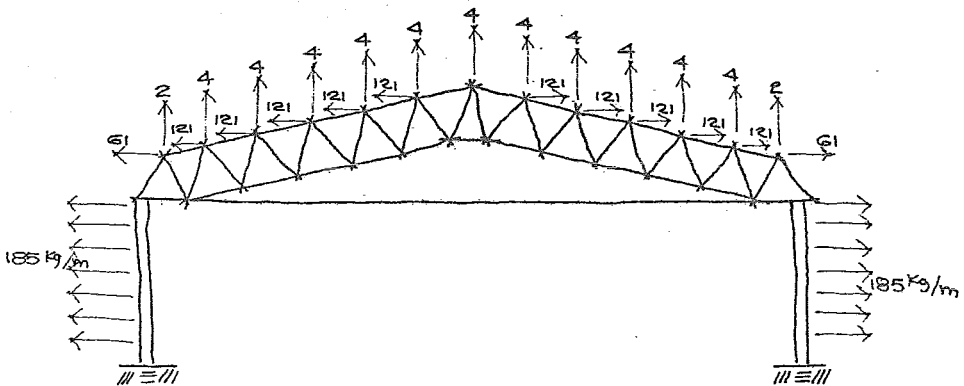


Para el caso b) las cargas son:



Siendo el caso b) el más desfavorable se elige para el análisis.

Combinando el viento con la carga muerta se obtiene el siguiente sistema de cargas.



Haciendo el análisis los desplazamientos de los nudos libres son:

CONDICIONES DE CONTORNO: $U_1 = V_1 = W_1 = 0$

CONDICIONES DE CONTORNO: $U_2 = V_2 = W_2 = 0$

3	77	50
4	243	267
5	1	736
6	1	111
7	1	1254
8	1	1281
9	1	1214
10	1	1211
11	1	1274
12	1	1217
13	1	1714
14	1	1211
15	72	1211
16	1	1272
17	1	4872
18	1	1244
19	1	1272
20	1	1217
21	1	1211
22	512	1215
23	1	1212
24	1	1212
25	212	1212
26	1	1212
27	1	2712
28	1	1212
29	1	1212
30	1	1212

Las fuerzas en los elementos son:

En las columnas

		i	j		i	j	
1	Normal	24	24	2	Normal	24	24
	Cortante	+ 624	- 208		Cortante	- 624	208
	Momento	-41689	0		Momento	41689	0

En la armadura

Elemento	Fuerza	Elemento	Fuerza
3	- 18	29	11
4	13	30	1
5	- 18	31	30
6	30	32	83
7	1	33	194
8	11	34	272
9	23	35	312
10	- 23	36	320
11	58	37	284
12	- 58	38	284
13	91	39	320
14	- 91	40	312
15	130	41	272
16	-126	42	194
17	164	43	83
18	- 61	44	- 38
19	- 61	45	- 14
20	164	46	43
21	-126	47	135
22	130	48	265
23	- 91	49	396
24	91	50	265
25	- 58	51	135
26	- 58	52	43
27	- 23	53	- 14
28	23	54	- 38

V.3.4. ANALISIS UTILIZANDO LAS NORMAS ANSI
 NAVE INDUSTRIAL ANSI

El manual propone que en ningún caso la presión actuante será menor de 10 lbs/ft^2 (48.82 Kg/m^2)

Velocidad mínima de diseño: 70 mill/hora (113 Km/hora)

Categoría de Exposición B. Areas urbanas y suburbanas

Presión

$$P = q C_p$$

Donde

$$\bar{q} = 0.00256 k (IV)^2$$

C_p = Coeficiente de empuje

k = Coeficiente de exposición

I = Factor de importancia

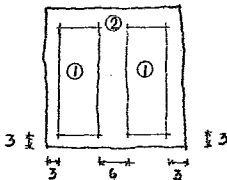
$$V = 70 \text{ mill/hora}$$

$$I = 1$$

$$k = 0.50$$

Coeficientes de empuje

Presiones interiores



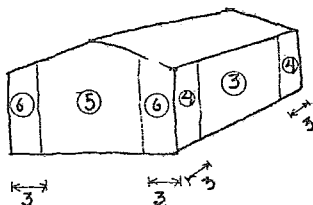
$$C1 = -1.1$$

$$C2 = -2.0$$

$$\pm 0.25$$

$$C1 = -1.35$$

$$C2 = -2.25$$



$$C3 = 1.0$$

$$C4 = 1.0$$

$$C5 = -1.1$$

$$C3 = 1.25$$

$$C4 = 1.25$$

$$C5 = -1.35$$

C6 = -1.1

C6 = -1.35

$$q = 0.00256 (0.50) (1 \times 70)^2 = 6.2720$$

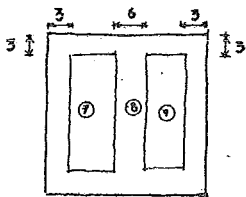
P = 6.2720 Cp

Presiones de diseño:

P1 = -8.47 lb/ft ²	-41.35 Kg/m ²	-(48.82)
P2 = -14.11 "	-68.89 "	
P3 = 7.84 "	38.28 "	(48.82)
P4 = 7.84 "	38.28 "	(48.82)
P5 = -8.47 "	-41.35 "	-(48.82)
P6 = -8.47 "	-41.35 "	-(48.82)

se tomarán las presiones anotadas entre paréntesis, ya que sólo en un caso la presión es mayor de 10 lb/ft² (48.82 Kg/m²)

Para viento actuando en una dirección perpendicular se - tendrá algo similar, ya que los coeficientes de empuje se obtienen en función del área tributaria.



C7 = C1 = -1.1

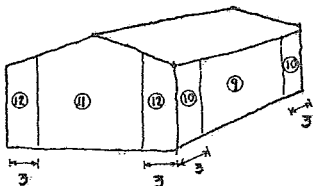
C8 = C2 = -2.0

C9 = C5 = -1.1

C10 = C6 = -1.1

C11 = C3 = 1.0

C12 = C4 = 1.0



Para presiones interiores se toma + 0.25

C7 = -1.35
C8 = -2.25
C9 = -1.35
C10 = -1.35
C11 = 1.25
C12 = 1.25

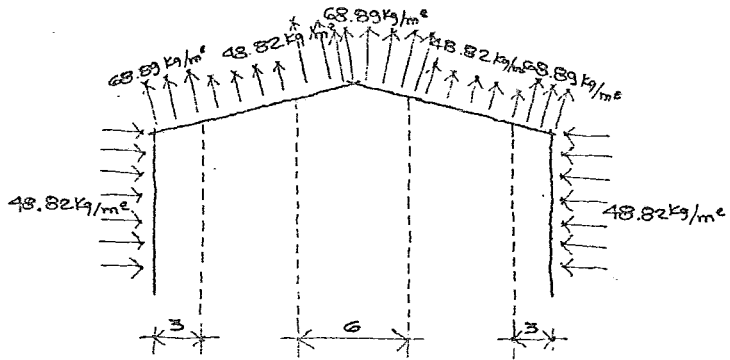
Las presiones de diseño serán:

P7 =	-8.47	lb/ft ²	41.34	Kg/m ²	-(48.82)
P8 =	-14.11	"	-68.90	"	
P9 =	- 8.47	"	-41.34	"	-(48.82)
P10 =	- 8.47	"	-41.34	"	-(48.82)
P11 =	7.84	"	38.28	"	(48.82)
P12 =	7.84	"	38.28	"	(48.82)

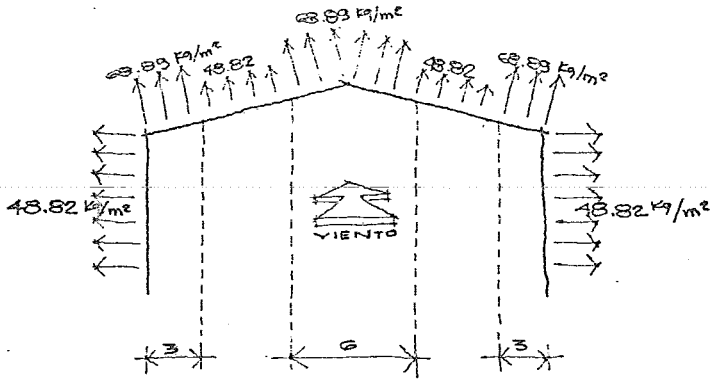
Igualmente se tomarán los valores entre paréntesis, ya que la presión es menor de 10 lb/ft² (48.82 Kg/m²)

En este caso la carga sobre la cubierta de la nave es independiente de la dirección del viento. Las demás zonas como se obtuvo una presión menor de 10 lb/ft², se toma este valor y cambia sólo si se trata de presión o succión en las paredes laterales.

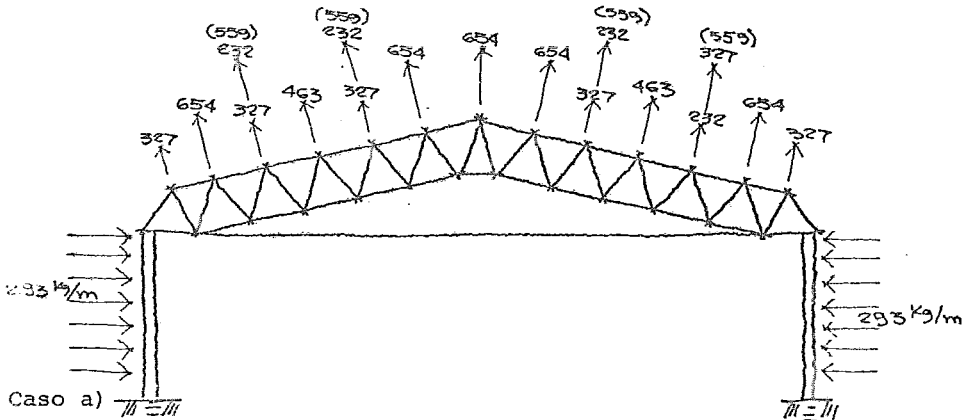
a) Primer caso viento normal a las generatrices.

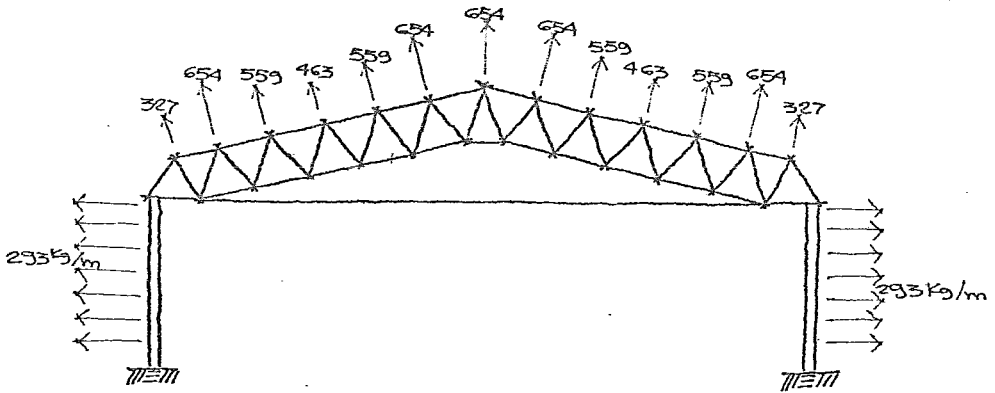


b) Segundo caso viento paralelo a las generatrices



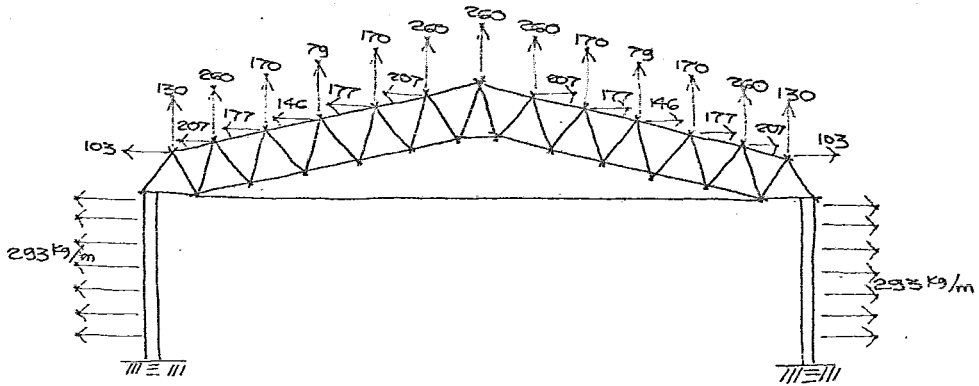
Las fuerzas en el marco son:





Caso b)

Combinando la acción del viento con la carga muerta -
tenemos:



Las fuerzas en los elementos son:

En las columnas:

		i	j			i	j
1	Normal	1186	1186	2	Normal	1186	1186
	Cortante	974	- 345		Cortante	- 974	345
	Momento	-56856	0		Momento	56856	0

En la armadura

Elemento	Fuerza	Elemento	Fuerza
3	- 869	29	745
4	-1528	30	-903
5	- 869	31	1488
6	1488	32	1628
7	- 903	33	2355
8	745	34	3809
9	- 438	35	3089
10	439	36	3188
11	- 205	37	3015
12	206	38	3015
13	- 105	39	3188
14	97	40	3089
15	162	41	3809
16	- 162	42	2355
17	478	43	1628
18	- 518	44	-150
19	- 518	45	-585
20	478	46	-789
21	- 162	47	-892
22	162	48	-727
23	97	49	-190
24	- 105	50	-727
25	206	51	-892
26	- 205	52	-789
27	439	53	-585
28	- 438	54	-150

ELEMENTOS MECANICOS (RESUMEN)

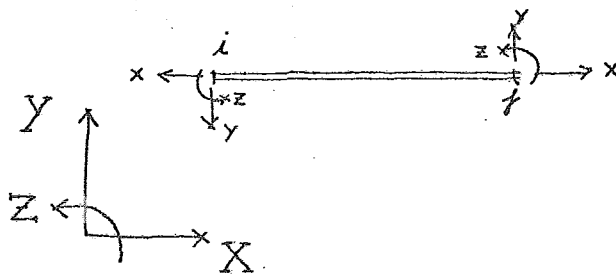
ELEMENTO		CM + CV		CM + RCDF		CM + ASCE		CM + ANSI	
		i	j	i	j	i	j	i	j
1	N	-3239	-3239	308	308	24	24	1186	1186
	V	+ 44	+ 44	+ 458	-158	+ 624	-208	+ 974	-345
	M	-26201	0	-28594	0	-41689	0	-56856	0
2	N	-3239	-3239	308	308	24	24	1186	1186
	V	- 44	- 44	- 458	158	- 624	208	- 974	345
	M	26201	0	28594	0	41689	0	56856	0

3	2344	-226	- 18	- 869
4	4430	-375	13	-1528
5	2346	-226	- 18	- 869
6	-4021	388	30	1488
7	2606	233	1	- 903
8	-2099	196	11	745
9	1592	-113	23	- 438
10	-1594	115	- 23	439
11	1000	- 22	58	- 205
12	- 999	21	- 58	206
13	459	62	91	- 105
14	- 434	- 65	- 91	97
15	- 234	167	130	162
16	235	-166	-126	- 162
17	- 762	253	164	478

18	1254	-178	- 61	- 518
19	1254	-178	- 61	- 518
20	- 762	253	164	478
21	235	-166	-126	- 162
22	- 234	167	130	162
23	- 434	- 65	- 91	97
24	459	62	91	- 105
25	- 999	21	- 58	206
26	1000	- 22	58	- 205
27	-1594	115	- 23	439
28	1592	-113	23	- 438
29	-2099	196	11	745
30	2606	-233	1	- 903
31	-4021	388	30	1488
32	-4222	464	83	1628
33	-5929	741	194	2355
34	-7093	930	272	3809
35	-7700	1030	312	3089
36	-7672	1035	320	3188
37	-7084	945	284	3015
38	-7084	945	284	3015
39	-7672	1035	320	3188
40	-7700	1030	312	3089
41	-7093	930	272	3809
42	-5929	741	194	2355
43	-4222	464	83	1628

44	231	- 62	- 38	- 150
45	1809	-175	- 14	- 585
46	2805	-199	43	- 789
47	3252	-132	135	- 892
48	3016	34	265	- 727
49	1964	275	396	- 190
50	3016	34	265	- 727
51	3252	-132	135	- 892
52	2805	-199	43	- 789
53	1809	-175	- 14	- 585
54	231	- 62	- 38	- 150

Convención utilizada



unidades Kg-cm.

COMENTARIOS SOBRE LA NAVE INDUSTRIAL

En los reglamentos utilizados hay diferencias en las velocidades de diseño, pero, principalmente en la distribución de presiones sobre la nave industrial. Este hecho hace que al combinar la acción del viento con la carga muerta y efectuar el análisis se tengan resultados totalmente distintos, llegando incluso a cambiar el signo de esfuerzos (tensión-compresión) en un elemento dependiendo del reglamento utilizado.

C A P I T U L O VI

COMPARACION DE RESULTADOS.

VI.1. ALTO HORNO

Una estructura poco común como el alto horno, no es tratada en ningún reglamento. En ellos se trata de abarcar a la mayoría de las formas estructurales de construcción frecuente (edificios de oficinas, casas habitación, anuncios, etc.) - inclusive se presentan métodos simplificados para tales casos.

En caso de una estructura fuera de las que abarcan los reglamentos, dice en ellos; se tiene que efectuar el análisis y diseño con procedimientos que tienen que ser aprobados por la autoridad correspondiente. Es entonces cuando el ingeniero trabaja con los recursos que su experiencia le permite, - sin saber si lo que realiza es lo adecuado.

En el proceso construcción-operación del alto horno se pueden distinguir varias fases 1) Levantar el cuerpo del horno, 2) Construir un marco tridimensional que lo cubra, 3) - Operación del horno. En estas etapas se pueden considerar - cargas de distinta naturaleza.

Fase 1) La carga crítica que se presenta al construir el cuerpo del horno es el viento, ya que se encuentra vacío y unido solamente a su cimentación (ver foto).

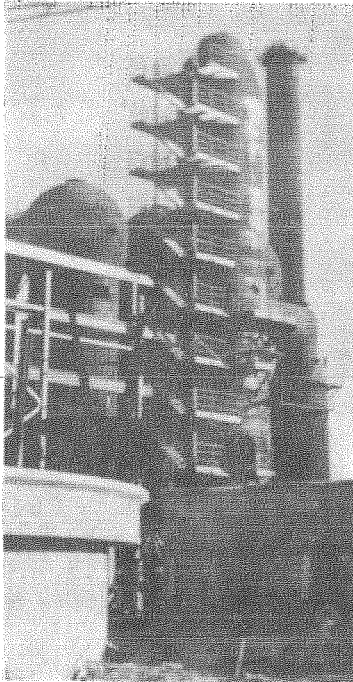


Foto alto horno sin marco.

Fase 2) Al construir el marco el sismo empieza a tener mayor significación que el viento, ya que por no tener cubierta presenta un área reducida al viento.

Fase 3) Durante el funcionamiento del horno se encuentran en su interior las sustancias para producir el acero. Los efectos del sismo son los críticos ahora debido a la gran masa que representa el horno y su contenido. El marco se diseña para resistir esta carga lateral (ver foto)

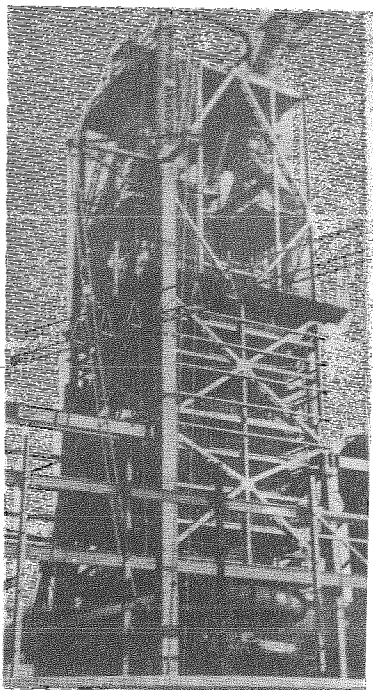


Foto del horno con marco

El problema siguiente es determinar la forma en que se distribuyen las presiones en el cuerpo del horno al actuar el viento. Ningún reglamento contiene los coeficientes de em-

puje para una forma similar. Es necesario realizar pruebas de túnel de viento para obtener los coeficientes cuyo procedimiento general se indica en III.5 (En una prueba de este tipo se obtuvieron los coeficientes presentados en el Apéndice 2).

Determinar la velocidad de diseño no es gran dificultad si la zona donde se construirá es considerada en los reglamentos, en caso contrario se puede hacer un análisis estadístico como se explica en II.4.

Comparando los resultados se observa que existen diferencias al considerar la ley de variación de la velocidad con la altura (0.28 en el RCDF, 0.286 ASCE y por medio de tablas de ANSI) y en el factor de ráfaga (1.3 para RCDF y ASCE y variable con la altura en ANSI). En la velocidad de diseño no existe gran diferencia (200 - 250 Km/hr.). Esto demuestra que no hay una unificación de criterios en la elaboración de normas y procedimientos.

En los reglamentos las estructuras se consideran como si estuviesen concluidas. Sólo en ANSI se dedica un párrafo al respecto cuando dice que se deben de tener refuerzos temporales adecuados para resistir viento durante las fases de construcción. En el alto horno resulta que el viento es crítico durante una de las fases del proceso constructivo.

VI.2. NAVE INDUSTRIAL

Una nave industrial es, estructura común, por lo que la determinación de la distribución de presiones se puede encontrar en cualquier reglamento.

Para este ejemplo la velocidad de diseño es más o menos la misma en los tres casos (80 Km/hr para el RCDF, 96 Km/hr. para ASCE y 112 Km/hr. para ANSI), siendo el más desfavorable ANSI. Donde radica la mayor diferencia de criterios es en la distribución de presiones sobre la nave (coeficiente de empuje) y de ahí las diferentes cargas actuando en las armaduras.

El RCDF propone coeficientes para muros normales al flujo del viento. En el caso de cubiertas inclinadas los coeficientes están en función del ángulo y si se encuentran orientadas al barlovento o sotavento. Para muros paralelos a la corriente los coeficientes son variables respecto a las dimensiones del muro.

Por su parte ASCE, considera si el muro es paralelo o normal a la acción del viento. Para la cubierta se considera su inclinación, en función del ángulo, y su orientación. Con este reglamento la determinación de los coeficientes es más sencilla e inmediata.

ANSI parece considerar el aumento de presiones que ocurren alrededor de las cubiertas, fenómeno poco estudiado (ref. 22), estableciendo un coeficiente en función de la inclinación igual a menos dos. Para las paredes normales y paralelas a la corriente los coeficientes se establecen de manera similar al reglamento ASCE. En el problema de la nave la mayoría de las presiones resultaron menores de 48.82 kg/m^2 por lo que se considero la estructura sometida a presiones y succiones constantes de acuerdo con el valor indicado, excluyendo la zona de alrededor de la cubierta donde la succión es mayor.

Estas consideraciones conducen a la determinación de sistemas de cargas muy diferentes entre sí. Las diferencias son radicales, se pueden observar los desplazamientos de los nudos libres y las fuerzas sobre los elementos.

En el resumen de elementos mecánicos se observan mejor éstas diferencias. En los elementos 7 - 17, en ANSI y RCDF hay una disminución de esfuerzos con intercambio de signos de un elemento a otro, mientras que para ASCE hay un aumento en los esfuerzos iniciando con valores muy distintos al de los otros reglamentos. Del 32 al 36 en los tres reglamentos se observa un aumento en las tensiones, disminuyendo un poco en el elemento 37. La relación entre los reglamentos, promedio, para estos elementos es; ANSI= 3 veces RCDF, ANSI= 19 veces ASCE. Del elemento 44 al 48 en el RCDF hay un aumento de compresiones con una disminución y un cambio de signo en

los elementos 47 y 48 respectivamente. Para ASCE hay una disminución de compresiones en los elementos 44 y 45 y después hay un aumento en las tensiones. Con ANSI se tiene un aumento en compresiones con una disminución en el último elemento.

Lo más importante es observar el elemento 4, el tensor. Cuando se realiza el análisis bajo carga muerta + carga viva este elemento se encuentra trabajando optimamente. Es evidente que debido a su esbeltez es incapaz de trabajar a compresión. Al hacer el análisis por viento RCDF y ANSI indican que se encuentra a compresión, representando problemas de inestabilidad en la estructura que no existen al hacer el análisis con ASCE. Entonces, un ingeniero puede modificar las condiciones de trabajo en un análisis estructural de una estructura simplemente cambiando de reglamento.

Era de esperarse que para una estructura común los resultados obtenidos fuesen similares, puesto que se han realizado diversos estudios de los efectos del viento sobre ella. En este ejemplo se confirma la diferencia de criterios en la elaboración de normas y la necesidad de unificar puntos de vista por parte de las personas encargadas de elaborar reglamentos.

C O N C L U S I O N E S

A fines del siglo pasado se iniciaron los estudios sobre los efectos del viento en las estructuras civiles. Las bases teóricas ya se conocían tiempo atrás con la Mecánica de Flúidos, pero no se consideraba que el viento se comportase como tal. En México se inician los registros a partir de 1940, las investigaciones sobre problemas específicos del viento se inician en 1960. En tanto las condiciones socio-económicas lo han permitido se ha otorgado la importancia requerida a la investigación sobre el viento.

Existen teorías sobre la distribución del viento en la superficie terrestre que aún se enseñan en las escuelas de aprendizaje elemental, ahora se conocen otras ideas al respecto, por lo que las reformas necesarias en la educación deben hacerse no solo renovando el material, sino también las ideas y conceptos de lo que se enseña.

Para la elaboración de cartas de velocidad probable del viento se utiliza la estadística de extremos. Esta teoría tiene poco tiempo de haberse desarrollado por lo que su aplicación en la estimación de velocidades de viento es reciente. Con esta herramienta se han realizado cartas de isotacas para la República Mexicana, además de regionalizaciones eólicas.

Cuando se habla de dirección del viento, los reglamentos sólo consideran dos direcciones ortogonales para determinar la condición más desfavorable. En los registros de viento, principalmente en los de ciudad, se puede observar que tal es la variación que no se puede decir que existe una dirección definida. Esto significa que las condiciones idealizadas a través de los cuerpos normativos, deben ser cuidadosamente revisadas.

Con las investigaciones realizadas se ha encontrado una expresión que permite calcular la variación de la velocidad del viento con la altura. Esta expresión es adecuada para la representación de la variación, sin embargo existen diferencias significativas entre los reglamentos con los que se trabajó, sobre todo en el factor que depende de la topografía del terreno.

Existe una expresión para determinar al factor de ráfaga en función de las características de la estructura y su altura. ANSI establece un factor variable con la altura. RCDF y ASCE, por su parte, proponen como factor de ráfaga un valor constante, haciendo consideraciones sobre las características de la peor ráfaga que pudiese afectar una estructura. Al hacerlo de esta forma quizá tratan de que se tenga un mayor margen de seguridad.

Al comparar los reglamentos utilizados, la mayor diferen

cia surge cuando se desea determinar la distribución de presiones. Si se presenta una estructura fuera de lo común, el ingeniero debe investigar por los medios a su alcance cual es la distribución para ese caso en particular. Por otra parte, para una estructura que se construye frecuentemente, hay diferencias radicales en los criterios de los reglamentos.

Es necesaria una revisión de los lineamientos generales de diseño por viento, abarcando, primordialmente, dos aspectos: Estudios con modelos a escala natural y revisión de los daños que causa el viento. Con los primeros se determina físicamente la distribución real de presiones en un tipo de estructura, evitándose las simplificaciones del túnel de viento. Por otro lado al revisar una estructura afectada por el viento, si no existen errores de diseño, se pueden determinar cual fue el comportamiento de ella ante la acción del viento y, consecuentemente la causa de la falla. Haciendo conjunto, estos factores conducirán a la elaboración de un reglamento que represente realmente las características de la estructura, comportamiento y efectos del viento.

No sólo es necesario dedicar mayores esfuerzos a la investigación, sino coordinar objetivos y, principalmente, llegar a un acuerdo, tanto a nivel nacional como internacional, por parte de las instituciones dedicadas a ello. Es así como se podrá proporcionar a los ingenieros herramientas adecuadas para el mejor desempeño de su labor.

A P E N D I C E 1

REGISTROS DE VIENTO UTILIZADOS EN LOS EJEMPLOS.

Viento registrado en el edificio prisma (velocidad instantánea)

(Velocidad m/seg).

5.00	5.70	5.70	5.75	5.75	5.75	5.92	6.05	6.07	6.05
6.37	6.11	6.18	6.25	6.26	6.47	6.55	6.63	6.71	6.58
6.75	7.03	7.14	7.25	7.35	7.45	7.55	7.65	7.72	7.78
7.24	7.50	7.75	8.00	8.05	8.26	8.11	8.13	8.15	8.17
8.13	8.21	8.23	8.25	8.33	8.31	8.34	8.36	8.33	8.41
8.44	8.47	8.50	8.53	8.56	8.59	8.62	8.65	8.68	8.71
8.76	8.82	8.83	8.85	8.85	8.85	8.87	8.90	8.93	8.96
9.00	9.07	9.14	9.20	9.27	9.34	9.36	9.38	9.40	9.40
9.40	9.37	9.36	9.30	9.25	9.20	9.15	9.10	9.09	9.08
9.08	9.06	9.06	9.09	9.09	9.09	9.10	9.10	9.14	9.19
9.24	9.29	9.35	9.40	9.45	9.50	9.52	9.54	9.56	9.56
9.60	9.60	9.59	9.59	9.56	9.58	9.57	9.56	9.54	9.52
9.50	9.45	9.42	9.38	9.33	9.26	9.23	9.15	9.07	8.99
8.90	8.90	8.93	8.96	9.00	9.04	9.08	9.12	9.16	9.20
9.25	9.30	9.35	9.40	9.45	9.50	9.54	9.57	9.53	9.48
9.45	9.40	9.35	9.30	9.17	9.04	8.90	8.76	8.63	8.50
8.35	8.22	8.17	8.07	8.03	8.00	7.96	7.92	7.88	7.75
7.67	7.59	7.50	7.39	7.29	7.19	7.09	6.99	6.93	6.87
6.32	6.77	6.75	6.76	6.76	6.75	6.75	6.74	6.73	6.72
6.71	6.09	6.08	6.07	6.59	6.51	6.46	6.42	6.38	6.31
6.24	6.16	6.06	6.00	5.92	5.84	5.76	5.68	5.60	5.52
5.44	5.36	5.26	5.20	5.13	5.06	4.99	4.92	4.85	4.77
4.68	4.59	4.51	4.43	4.35	4.27	4.19	4.11	4.03	3.95
3.93	3.86	3.83	3.79	3.75	3.70	3.66	3.62	3.58	3.53
3.49	3.45	3.41	3.38	3.35	3.33	3.31	3.29	3.27	3.25
3.23	3.19	3.15	3.10	3.05	3.00	2.95	2.90	2.88	2.86
2.83	2.82	2.80	2.79	2.78	2.77	2.76	2.77	2.80	2.77
3.13	3.20	3.33	3.47	3.55	3.66	3.77	3.91	4.05	4.13
4.21	4.22	4.23	4.24	4.25	4.35	4.42	4.46	4.51	4.54
4.57	4.60	4.70	4.80	4.90	4.99	5.10	5.21	5.31	5.42
5.53	5.64	5.75	5.80	5.85	5.90	5.87	5.84	5.81	5.79
5.77	5.77	5.77	5.75	5.75	5.66	5.59	5.52	5.45	5.33
5.33	5.29	5.18	5.13	5.08	5.03	4.98	4.98	4.98	4.97
4.97	4.96	4.95	4.94	4.95	4.96	4.97	4.98	5.00	5.01
5.02	5.03	5.04	5.05	5.02	4.99	4.96	4.96	4.93	4.91
4.87	4.84	4.81	4.78	4.75	4.72	4.70	4.69	4.68	4.67
4.62	4.67	4.65	4.63	4.60	4.57	4.58	4.50	4.46	4.42
4.38	4.34	4.30	4.25	4.20	4.15	4.10	4.05	4.01	3.97
3.91	3.89	3.85	3.81	3.76	3.75	3.71	3.68	3.67	3.65
3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65	3.64	3.62	3.60
3.53	3.56	3.54	3.52	3.50	3.47	3.43	3.39	3.35	3.31
3.27	3.23	3.19	3.15	3.13	3.09	3.06	3.03	3.00	2.97
2.95	2.91	2.85	2.85	2.82	2.77	2.76	2.73	2.70	2.67
2.64	2.61	2.58	2.55	2.52	2.50	2.48	2.46	2.44	2.42
2.47	2.39	2.38	2.37	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.25
2.23	2.21	2.19	2.17	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05
2.05	2.03	2.02	2.01	2.00	1.99	1.98	1.98	1.96	1.97
1.97	1.97	1.96	1.96	1.96	1.95	1.95	1.95	1.95	1.96
1.99	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
1.97	1.94	1.91	1.88	1.84	1.85	1.89	1.89	2.19	2.20
2.20	2.20	2.18	2.17	2.15	2.17	2.18	3.19	3.30	3.35

3.40	3.45	3.50	3.52	3.53	3.54	3.55	3.58	3.61	3.65
3.60	3.74	3.79	3.84	3.89	3.95	4.02	4.09	4.15	4.21
4.27	4.32	4.36	4.39	4.42	4.43	4.46	4.50	4.55	4.60
4.65	4.71	4.77	4.83	4.89	4.96	5.02	5.08	5.14	5.20
6.05	6.24	6.42	6.60	6.74	6.89	7.02	7.11	7.20	7.28
7.30	7.44	7.52	7.60	7.62	7.64	7.66	7.66	7.67	7.68
7.60	7.58	7.56	7.54	7.52	7.50	7.48	7.46	7.44	7.42
7.40	7.37	7.33	7.29	7.25	7.20	7.15	7.10	7.05	7.00
6.95	6.96	6.94	6.92	6.90	6.90	6.90	6.90	6.89	6.87
6.85	6.79	6.73	6.67	6.61	6.55	6.49	6.43	6.37	6.31
6.25	6.21	6.18	6.17	6.16	6.15	6.15	6.15	6.15	6.14
6.12	6.10	6.08	6.06	6.04	6.02	6.00	5.98	5.96	5.94
5.92	5.90	5.88	5.86	5.84	5.79	5.74	5.71	5.68	5.65
5.62	5.59	5.56	5.53	5.50	5.47	5.44	5.40	5.38	5.32
5.29	5.26	5.23	5.20	5.18	5.16	5.14	5.12	5.10	5.08
5.07	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06	5.09	5.12	5.15
5.18	5.21	5.24	5.28	5.30	5.32	5.33	5.34	5.34	5.34
5.33	5.32	5.31	5.29	5.27	5.25	5.22	5.19	5.16	5.13
5.10	5.08	5.06	5.03	5.00	4.95	4.90	4.85	4.80	4.75
4.70	4.65	4.63	4.55	4.53	4.44	4.38	4.32	4.26	4.20
4.14	4.08	4.02	3.96	3.90	3.86	3.82	3.78	3.74	3.70
3.66	3.62	3.58	3.55	3.53	3.49	3.45	3.41	3.37	3.33
3.30	3.27	3.27	3.27	3.31	3.35	3.39	3.44	3.46	3.47
3.48	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.48	3.47	3.48	3.47
3.46	3.44	3.42	3.40	3.38	3.36	3.33	3.31	3.29	3.26
3.24	3.22	3.21	3.22	3.25	3.28	3.31	3.34	3.35	3.36
3.37	3.38	3.39	3.40	3.41	3.42	3.43	3.44	3.45	3.46
3.46	3.47	3.47	3.48	3.48	3.47	3.46	3.45	3.45	3.44
3.39	3.37	3.35	3.33	3.31	3.28	3.25	3.22	3.19	3.16
3.13	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.98	2.95	2.92	2.89
2.92	2.91	2.90	2.89	2.88	2.87	2.86	2.85	2.84	2.83
2.82	2.81	2.80	2.79	2.77	2.76	2.75	2.74	2.73	2.72
2.70	2.69	2.68	2.67	2.66	2.65	2.64	2.63	2.62	2.61
2.60	2.59	2.58	2.57	2.56	2.54	2.52	2.50	2.48	2.46
2.44	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.30	2.28	2.26
2.24	2.23	2.22	2.21	2.20	2.19	2.18	2.17	2.15	2.13
2.11	2.09	2.07	2.06	2.05	2.04	2.03	2.03	2.01	2.00
1.99	1.98	1.97	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	1.90
1.83	1.87	1.86	1.84	1.83	1.82	1.81	1.79	1.78	1.77
1.76	1.75	1.74	1.73	1.72	1.71	1.70	1.70	1.69	1.68
1.67	1.66	1.66	1.67	1.67	1.68	1.69	1.70	1.71	1.72
1.73	1.74	1.75	1.76	1.77	1.78	1.80	1.82	1.84	1.87
1.90	1.93	1.97	1.99	2.02	2.05	2.08	2.11	2.14	2.17
2.20	2.23	2.26	2.29	2.32	2.34	2.36	2.38	2.40	2.41
2.42	2.43	2.44	2.45	2.46	2.48	2.50	2.52	2.54	2.56
2.58	2.60	2.62	2.65	2.67	2.69	2.71	2.73	2.75	2.77
3.13	3.20	3.25	3.30	3.35	3.40	3.45	3.50	3.54	3.58
3.62	3.66	3.70	3.74	3.77	3.80	3.83	3.84	3.84	3.84
3.86	3.89	3.92	3.96	4.00	4.04	4.07	4.10	4.13	4.16
4.19	4.22	4.24	4.26	4.28	4.30	4.32	4.34	4.37	4.40
4.43	4.46	4.49	4.52	4.55	4.59	4.63	4.67	4.71	4.75
4.79	4.83	4.87	4.91	4.95	4.99	5.04	5.09	5.10	5.11
5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.11	5.09	5.08	5.10	5.12
5.14	5.16	5.18	5.20	5.22	5.24	5.26	5.28	5.30	5.32
5.34	5.36	5.38	5.39	5.40	5.41	5.42	5.42	5.42	5.42
5.41	5.38	5.35	5.32	5.30	5.28	5.26	5.24	5.22	5.20
5.15	5.15	5.16	5.05	5.00	4.95	4.90	4.85	4.82	4.79
4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.76	4.75	4.74	4.70	4.68
4.63	4.60	4.58	4.57	4.56	4.55	4.54	4.53	4.52	4.51
4.50	4.47	4.44	4.40	4.36	4.33	4.30	4.28	4.25	4.23

11.63	11.62	11.00	10.96	10.93	10.90	10.89	10.88	10.67	10.56
10.88	10.83	10.30	10.77	10.74	10.69	10.64	10.58	10.33	10.48
10.47	10.46	10.45	10.45	10.45	10.47	10.50	10.52	10.54	10.56
10.57	10.58	10.62	10.67	10.72	10.77	10.82	10.81	10.80	10.78
10.76	10.74	10.72	10.69	10.60	10.63	10.60	10.54	10.67	10.38
10.28	10.16	10.09	10.00	9.74	9.68	9.62	9.77	9.76	9.75
9.77	9.79	9.62	9.85	9.83	9.92	9.96	10.00	10.64	10.00
10.12	10.16	10.20	10.21	10.22	10.19	10.16	10.12	10.35	9.80
9.91	9.77	9.63	9.46	9.34	9.20	9.10	9.00	8.90	8.86
8.70	8.60	8.55	8.53	8.55	8.57	8.60	8.62	8.63	8.64
8.65	8.68	8.72	8.80	8.86	8.96	9.04	9.12	9.20	9.27
9.34	9.40	9.44	9.47	9.50	9.45	9.43	9.37	9.45	9.44
9.44	9.45	9.45	9.39	9.32	9.25	9.18	9.11	9.34	8.99
8.93	8.92	8.89	8.86	8.84	8.83	8.86	8.89	8.92	8.91
8.90	8.85	8.80	8.80	8.80	8.79	8.76	8.77	8.76	8.75
8.80	8.85	8.90	8.96	9.03	9.10	9.17	9.23	9.28	9.33
9.38	9.42	9.46	9.50	9.54	9.58	9.62	9.68	9.70	9.80
9.90	9.97	10.04	10.10	10.15	10.20	10.25	10.30	10.32	10.33
10.34	10.35	10.34	10.33	10.35	10.37	10.40	10.40	10.39	10.36
10.36	10.34	10.34	10.35	10.35	10.35	10.36	10.36	10.37	10.37
10.38	10.38	10.39	10.41	10.43	10.45	10.47	10.49	10.51	10.52
10.54	10.55	10.57	10.59	10.61	10.63	10.65	10.67	10.69	10.71
10.72	10.73	10.73	10.73	10.69	10.65	10.63	10.61	10.60	10.59
10.58	10.57	10.56	10.55	10.54	10.54	10.55	10.55	10.56	10.56
10.56	10.57	10.57	10.57	10.58	10.60	10.66	10.72	10.78	10.85
10.92	10.99	11.03	11.07	11.10	11.13	11.16	11.19	11.22	11.25
11.23	11.19	11.16	11.13	11.10	11.07	11.04	11.00	10.94	10.88
10.81	10.74	10.66	10.58	10.50	10.42	10.34	10.26	10.18	10.10
10.95	10.60	9.95	9.90	9.87	9.85	9.85	9.88	9.92	9.96
9.98	10.02	10.06	10.10	10.15	10.20	10.22	10.23	10.23	10.24
10.24	10.24	10.24	10.24	10.28	10.32	10.36	10.40	10.45	10.56
10.71	10.60	10.90	11.00	11.06	11.12	11.18	11.22	11.23	11.24
11.24	11.24	11.23	11.23	11.19	11.15	11.11	11.06	11.01	10.96
10.91	10.86	10.81	10.76	10.71	10.66	10.61	10.56	10.52	10.49
10.46	10.43	10.40	10.37	10.34	10.32	10.30	10.28	10.27	10.26
10.26	10.25	10.25	10.23	10.21	10.19	10.14	10.11	10.06	10.01
9.96	9.87	9.78	9.69	9.59	9.50	9.44	9.38	9.33	9.29
9.23	9.16	9.13	9.13	9.15	9.18	9.22	9.26	9.30	9.33
9.35	9.37	9.39	9.41	9.43	9.45	9.47	9.50	9.57	9.64
9.72	9.80	9.86	9.92	9.97	10.02	10.04	10.06	10.08	10.10
10.10	10.10	10.10	10.07	10.04	10.01	9.98	9.95	9.92	9.89
9.86	9.86	9.87	9.92	9.97	10.02	10.07	10.12	10.17	10.20
10.22	10.21	10.20	10.18	10.15	10.11	10.07	10.03	9.98	9.93
9.87	9.81	9.75	9.67	9.59	9.51	9.43	9.35	9.27	9.10
9.09	9.00	8.91	8.82	8.73	8.64	8.60	8.56	8.52	8.48
8.44	8.41	8.37	8.33	8.29	8.25	8.20	8.15	8.09	8.03
7.97	7.91	7.85	7.79	7.73	7.67	7.62	7.57	7.52	7.47
7.42	7.38	7.34	7.30	7.26	7.22	7.19	7.16	7.13	7.10
7.07	7.04	7.01	6.99	6.98	6.99	7.01	7.03	7.06	7.15
7.24	7.34	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71
7.74	7.75	7.73	7.70	7.67	7.64	7.61	7.58	7.54	7.50
7.45	7.42	7.38	7.34	7.30	7.27	7.23	7.20	7.16	7.13
7.09	7.06	7.02	6.99	6.95	6.92	6.80	6.66	6.51	6.70
6.72	6.68	6.63	6.58	6.54	6.50	6.46	6.44	6.42	6.41
6.40	6.39	6.41	6.43	6.45	6.49	6.52	6.55	6.58	6.61
6.65	6.68	6.69	6.73	6.77	6.81	6.85	6.89	6.92	6.95
6.98	7.01	7.04	7.07	7.10	7.10	7.10	7.09	7.08	7.07
7.05	7.03	7.01	6.99	6.97	6.95	6.93	6.91	6.89	6.87
6.87	6.86	6.89	6.89	6.86	6.82	6.79	6.76	6.73	6.76
7.59	7.56	7.66	7.73	7.79	7.85	7.89	7.93	7.97	8.01

6.65	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10	3.06
6.07	6.10	6.13	6.16	6.19	6.23	6.27	6.30	6.33	6.34	6.34
6.34	6.34	6.36	6.38	6.40	6.41	6.42	6.42	6.43	6.43	6.43
6.25	6.19	6.12	6.07	6.05	6.03	6.02	6.02	6.02	6.02	6.02
7.76	7.73	7.70	7.66	7.63	7.60	7.57	7.54	7.51	7.46	7.46
7.45	7.42	7.42	7.42	7.43	7.46	7.49	7.53	7.57	7.61	7.61
7.65	7.69	7.73	7.76	7.79	7.81	7.83	7.84	7.84	7.84	7.84
7.65	7.62	7.60	7.60	7.60	7.63	7.67	7.71	7.75	7.80	7.80
8.05	8.10	8.15	8.20	8.24	8.28	8.32	8.36	8.39	8.42	8.42
6.45	6.67	6.99	6.50	6.51	6.52	6.53	6.55	6.62	6.73	6.73
6.54	6.95	9.06	9.16	9.25	9.30	9.34	9.38	9.42	9.47	9.47
9.52	9.57	9.69	9.81	9.93	10.06	10.20	10.39	10.58	10.77	10.77
10.94	11.01	11.07	11.14	11.21	11.28	11.34	11.40	11.42	11.44	11.44
11.45	11.46	11.47	11.47	11.47	11.47	11.45	11.42	11.39	11.36	11.36
11.33	11.36	11.27	11.24	11.20	11.17	11.14	11.11	11.08	11.05	11.05
11.02	10.99	10.97	10.93	10.88	10.85	10.79	10.75	10.71	10.67	10.67
10.63	10.59	10.55	10.52	10.50	10.48	10.45	10.42	10.39	10.36	10.36
10.33	10.30	10.27	10.24	10.21	10.18	10.15	10.12	10.06	10.00	10.00
9.95	9.90	9.85	9.80	9.76	9.73	9.69	9.65	9.61	9.57	9.57
9.55	9.53	9.51	9.49	9.46	9.47	9.46	9.45	9.37	9.29	9.29
9.21	9.13	9.05	9.32	8.99	8.96	8.93	8.90	8.87	8.84	8.84
6.81	6.78	6.76	6.72	6.65	6.54	6.50	6.53	6.45	6.37	6.37
6.29	6.21	6.13	6.05	6.07	7.90	7.83	7.77	7.71	7.64	7.64
7.58	7.52	7.46	7.40	7.32	7.24	7.16	7.08	7.00	6.92	6.92
6.84	6.76	6.71	6.66	6.61	6.56	6.51	6.49	6.47	6.47	6.47
6.47	6.47	6.46	6.41	6.35	6.30	6.25	6.20	6.15	6.10	6.10
6.05	6.00	5.97	5.84	5.76	5.68	5.60	5.61	5.62	5.64	5.64
5.65	5.65	5.65	5.64	5.63	5.62	5.62	5.66	5.70	5.75	5.75
5.80										

TES = 2.94
TES = 7.09

AGENCIA DE SERVICIO DE CON

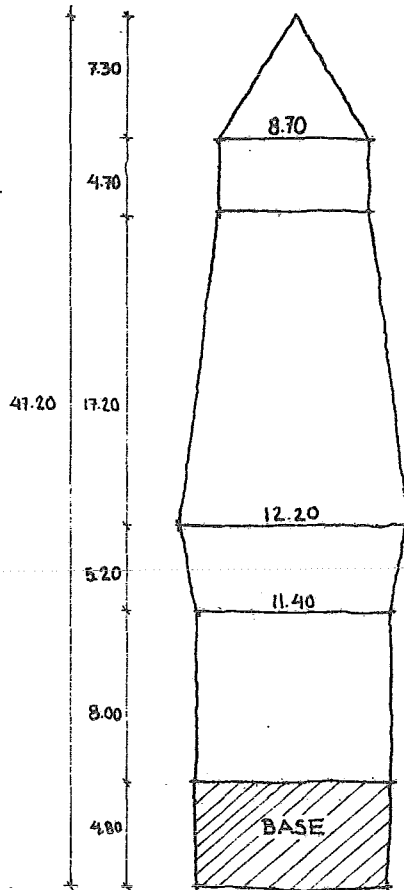
Viento registrado en el Observatorio de Tacubaya, D.F.
Velocidad máxima anual. (kilómetros/hr).

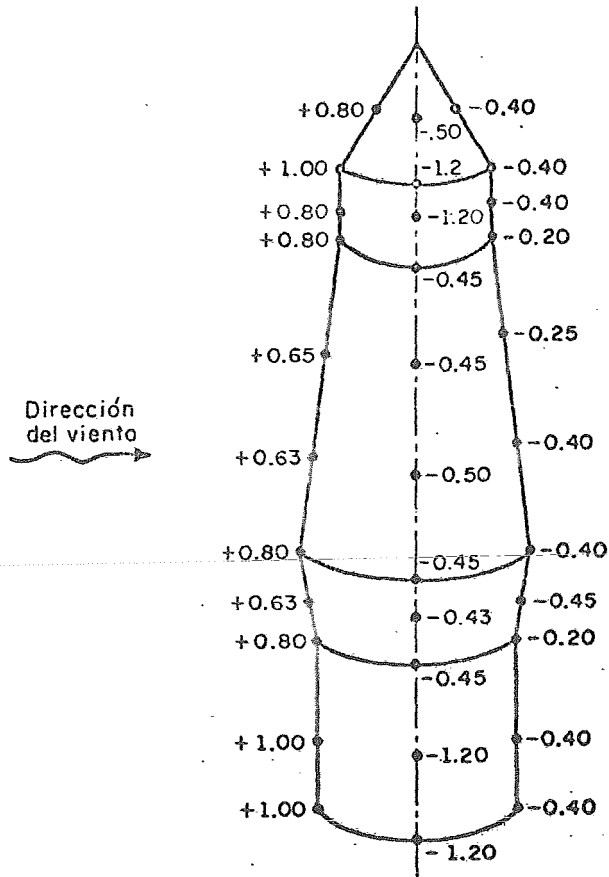
1941	70.20	1961	57.96
1942	57.60	1962	75.96
1943	89.64	1963	64.80
1944	59.40	1964	60.12
1945	63.00	1965	91.44
1946	60.48	1966	65.16
1947	56.16	1967	61.20
1948	64.44	1968	61.20
1949	66.96	1969	79.97
1950	93.60	1970	81.72
1951	54.72	1972	60.48
1952	74.52	1972	55.08
1953	65.88	1973	70.20
1954	56.16	1974	55.08
1955	56.52	1975	75.60
1956	58.32	1976	78.12
1957	69.48	1977	71.28
1958	79.20	1978	66.20
1959	64.44	1979	63.72
1960	no hay registro	1980	65.52
		1981	58.32

A P E N D I C E 2

DIMENSIONES Y COEFICIENTES DE EMPUJE DEL ALTO HORNO.

Dimensiones (metros)





Coeficientes de empuje para el alto horno

A P E N D I C E 3

COORDENADAS DE LOS NUDOS DE LA NAVE INDUSTRIAL

TABLA DE INCIDENCIAS DE ELEMENTOS

APENDICE 3

Coordenadas de los nudos de la nave industrial [c.m.]

Nudo	X	Y	Nudo	X	Y
1	0	0	16	935	900
2	1870	0	17	885	763
3	1870	600	18	780	867
4	1791	707	19	738.5	730
5	1697.5	600	20	638.5	835
6	1656	740	21	597	698
7	1556	632	22	497	804
8	1514	772	23	455.5	665
9	1414.5	665	24	355.5	772
10	1373	804	25	314	632
11	1273	698	26	214	740
12	1231.5	835	27	172.5	600
13	1131.5	730	28	79	707
14	1040	867	29	0.	600
15	985	763			

Tabla de incidencias de elementos

elemento	nudo inicial	nudo final
1	1	29
2	2	3
3	27	29
4	5	27
5	3	5
6	3	4
7	4	5
8	5	6
9	6	7
10	7	8
11	8	9
12	9	10
13	10	11
14	11	12
15	12	13
16	13	14
17	14	15
18	15	16
19	16	17
20	17	18
21	18	19
22	19	20
23	20	21
24	21	22
25	22	23
26	23	24

Tabla de incidencias de elementos

elementos	nudo inicial	nudo final
27	24	25
28	25	26
29	26	27
30	27	28
31	28	29
32	26	28
33	24	26
34	22	24
35	20	22
36	18	20
37	16	18
38	14	16
39	12	14
40	10	12
41	8	10
42	6	8
43	4	6
44	5	7
45	7	9
46	9	11
47	11	13
48	13	15
49	15	17
50	17	19
51	19	21
52	21	23
53	23	25
54	25	27

R E F E R E N C I A S

- 1.- APLICACION DE LA ESTADISTICA DE EXTREMOS A LA DETERMINACION DE VELOCIDADES DE VIENTO PARA DISEÑOS ESTRUCTURALES.

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Instituto de Ingeniería, México, 1964.
Universidad Nacional Autónoma de México No. 105.
- 2.- DESPLAZAMIENTO DE ESTRUCTURAS SIMPLES BAJO LA ACCION DE VIENTOS MAXIMOS REGISTRADOS EN LA CIUDAD DE MEXICO.

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Instituto de Ingeniería, México, 1971.
U.N.A.M. No. 280
- 3.- EMPUJE DE VIENTO SOBRE UNA PLACA

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Instituto de Ingeniería, México, 1974.
U.N.A.M. No. 336.
- 4.- ESTUDIO AERODINAMICO DE LAS ESTACIONES ELEVADAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO.

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Revista Ingeniería, No. 1
Nueva Epoca.
- 5.- INTRODUCCION A .PROBABILIDADES Y ESTADISTICA.

Rascón Ch., Octavio.
Instituto de Ingeniería, México, 1972.
U.N.A.M. No. DI
- 6.- LA INVESTIGACION SOBRE VIENTO Y SU INTEGRACION CON LA INGENIERIA.

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Revista Ingeniería, Julio-Septiembre, 1977.
- 7.- MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES

Estructuras, C.1.4. Diseño por viento.
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

8.- MANUAL DE DISEÑO POR VIENTO.

Instituto de Ingeniería, México, 1977
U.N.A.M. No. 407.

9.- MEDICION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO SOBRE EL EDIFICIO PRISMA.

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Instituto de Ingeniería, México, 1975.
U.N.A.M. No. 346.

10.- MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES.

American National Standard Institute, New York, 1982.
A58.1-1982

11.- NORMAS Y ESPECIFICACIONES.

Petróleos Mexicanos, México, 1975.
Norma No. 2.207.01 "Efectos del viento en las estructuras".

12.- EL OBSERVATORIO METEOROLOGICO

Ayllón Torres, Teresa
Escuela Normal Superior, México, 1977.

13.- PERIODICIDAD EN EL MOVIMIENTO DEL AIRE

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Instituto de Ingeniería, México, 1974.
U.N.A.M. No. 327.

14.- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL D.F.
Diario Oficial, 9 de febrero 1966.

15.- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL D.F.

Diario Oficial, 14 septiembre 1976.

- 16.- SIMPLIFIED BUILDING DESIGN FOR WIND AND EARTHQUAKE -
FORCES.

Ambrose, James.
John Wiley and sons, United States, 1980.
- 17.- TURBULENCIA DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN ESTRUCTURAS.

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Instituto de Ingeniería, México, 1974.
U.N.A.M. No. 346.
- 18.- VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA ALTURA EN
UN PUNTO.

Rodríguez Cuevas, Neftalí.
Revista Ingeniería, octubre-diciembre, 1961.
- 19.- WIND FORCES ON BUILDING AND STRUCTURES.

Houghton, E.L.
John Wiley and sons, United States, 1976.
- 20.- WIND FORCES ON STRUCTURES.

American Society of Civil Engineers.
Transactions: Paper No. 3269, Vol. 126, Part II, 1961.
- 21.- WIND LOADING ON BUILDING.

Angus J., Mac Donald
Applied Science Publishers, London, 1975.
- 22.- WIND AND SEISMIC EFFECTS.

Nat, Bur, Stand., Washintong, 1976.
Art. "A study of wind pressures on a single-family -
dwellling in model and full-scale".