

"El documento original contiene páginas en mal estado."

PARTE 2

COMENTARIOS

INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL VIENTO

Los movimientos en la atmósfera son producidos en primer lugar por la acción de la gravedad sobre masas de aire de densidad diferente. Cuando el aire frío baja y el aire caliente sube, la energía potencial es convertida en energía de movimiento. En un planeta rotante, donde la escala de movimiento es bastante grande, el movimiento producido es desviado por la Fuerza Desviante (Coriolis)*, como se muestra en la Figura 1, y los resultados son los sistemas de vientos que observamos.

El origen de la energía potencial está en el cambio de calor por radiación entre la atmósfera, la tierra, el sol y el espacio exterior. Así, el movimiento del aire es una función de la masa, la gravedad, los gradientes de presión vertical y horizontal, y gradientes de temperatura. En las capas inferiores de la tierra, la viscosidad y rugosidad de la superficie son también factores significativos.

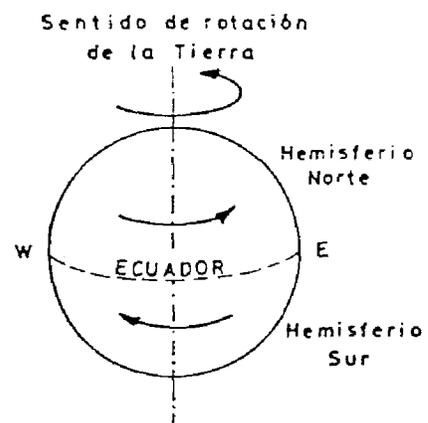


FIG. 1. DESVIACION DE LOS VIENTOS POR EFECTO DE LA ROTACION DE LA TIERRA

El sol calienta la atmósfera de dos maneras:

* Los vientos son desviados por la rotación de la tierra de oeste a este en el hemisferio norte, y de este a oeste en el hemisferio sur.

1. Por absorción de parte de sus radiaciones, principalmente por la presencia de vapor de agua y el anhídrido carbónico en la atmósfera.
2. Por medio del caldeoamiento del suelo que, a su vez, calienta por contacto y radiación, la capa de aire contigua.

La temperatura de un lugar depende de varios factores y decrece generalmente cuando aumenta la latitud geográfica y la altitud sobre el nivel del mar. La mayor inclinación con que llegan los rayos solares explica la influencia de la latitud. El descenso de la temperatura con la altitud obedece a que las capas altas reciben menos calor irradiado de la tierra; contribuye también a esta disminución de temperatura la mayor sequedad y enrarecimiento de las capas altas, lo que da lugar a que absorban menos calor de las radiaciones solares y del irradiado por el suelo y también a una irradiación más rápida durante la noche del calor absorbido en el día.

El movimiento de la atmósfera se distingue por tres regímenes definidos [4]:

1. La Capa Límite Planetaria
2. La envolvente Capa Límite de la Superficie
3. La Atmósfera Libre

La Figura 2 muestra estos tres regímenes donde se indican sus límites aproximados y los factores determinantes en cada uno.

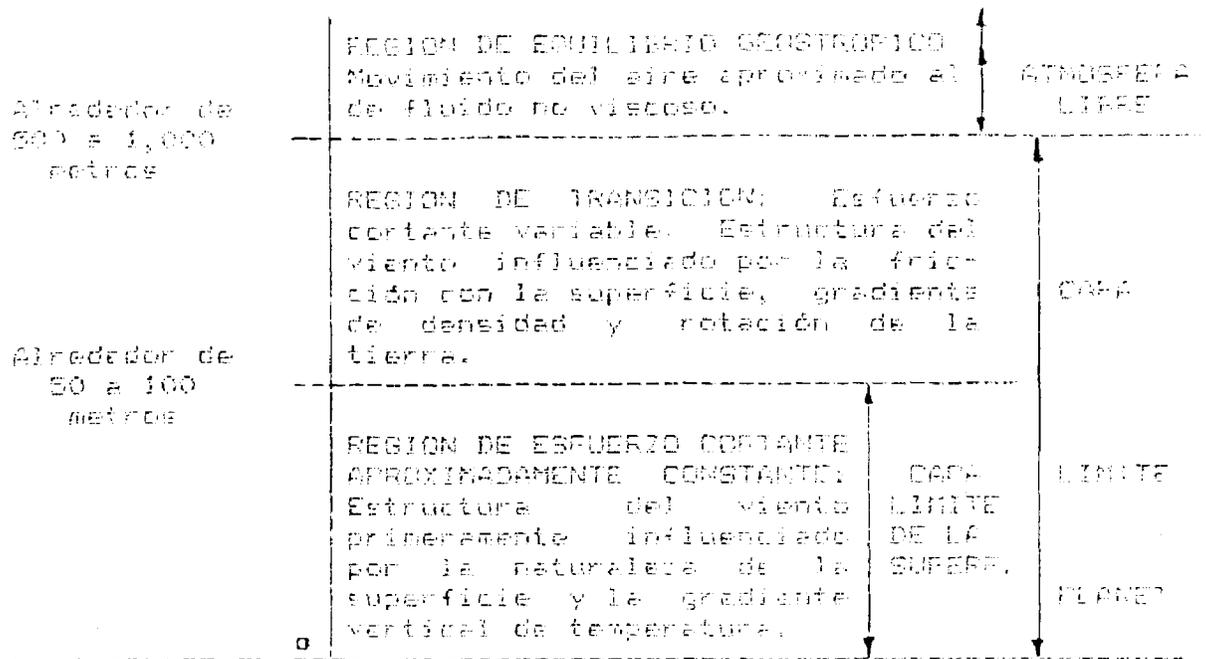


FIG. 2. REGIMENES DE MOVIMIENTOS DEL AIRE.

Una aproximación satisfactoria de la dirección y magnitud del viento en la atmósfera libre puede ser obtenida despreciando la componente vertical del movimiento y la viscosidad. Si las condiciones del flujo, constante o lentamente variables, son establecidas en un punto, las fuerzas actuantes sobre la masa de aire son solamente la gradiente de presión horizontal y la fuerza de Coriolis. Despreciando la aceleración en la dirección viento abajo, estas dos fuerzas deben actuar en dirección contraria.

Puesto que se conoce que la fuerza de coriolis actúa en ángulo recto a la velocidad resultante, la velocidad debe estar en la dirección de las isobaras, como se muestra en la Fig. 3. Las velocidades pueden ser calculadas de este modelo; el viento así calculado es llamado Viento Gradiente o Viento Geostrópico, si las isobaras están virtualmente en línea recta de modo que allí

la acción de la fuerza centrífuga es despreciable.

Dentro de las capas límite, otros factores considerados dejan poco que decir. La velocidad, la rugosidad de la superficie y la mezcla vertical inducida por los gradientes de temperatura son tales que el flujo es invariablemente turbulento. Esto puede determinarse mediante una velocidad media (no necesariamente en la dirección del viento gradiente) sobre la cual son superpuestas rápida y usualmente fluctuaciones fortísimas llamadas ráfagas.

Una condición observada, particularmente grave e inestable, es aquella en la cual un avance de masa de aire frío es retardado por fricción con la tierra, desbordándose una masa de aire caliente de menor densidad. La resultante vertical acelerada y transferencia de impulso produce fuertes vientos horizontales.

Los otros tipos de movimiento del aire son aquellos que emigran alrededor de la Tierra en un complejo y constante modelo desarrollado. En grande escala, los principales aspectos son las regiones de ciclones o anticiclones activos y masas migratorias de aire frío y caliente. Las masas de aire caliente migran de la región ecuatorial a la polar y el aire frío se mueve en la dirección opuesta, como se muestra en la Fig. 4.

Las fuerzas actuantes sobre las estructuras son significativamente importantes sólo durante la ocurrencia de vientos fuertes; por lo tanto, es importante el estudio de este tipo de vientos que son de interés para el ingeniero estructural en sus diseños.

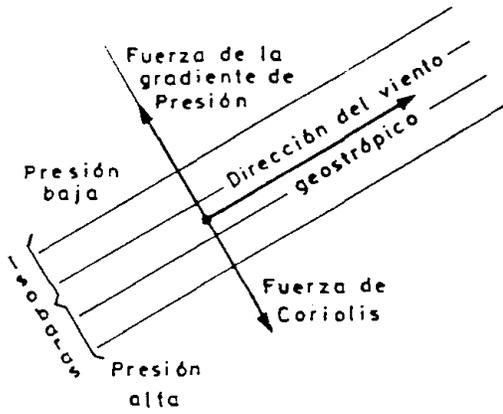


FIG. 3. VIENTO GEOSTRÓPICO EN EL HEMISFERIO NORTE

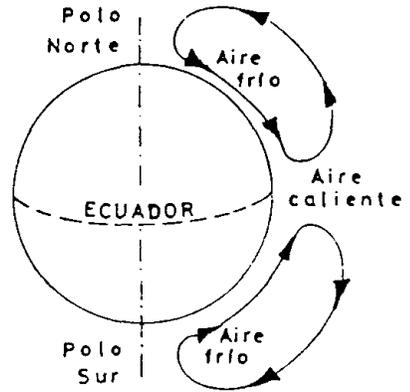


FIG. 4. MAPAS MIGRATORIAS DE AIRE FRÍO Y CALIENTE

CAPITULO I

CALCULO DE VELOCIDADES DE VIENTOS EXTREMOS

1.1 INTRODUCCION

La elección del viento sobre las estructuras depende fundamentalmente de la intensidad de este fenómeno, más o menos imprevisible; por lo tanto, debemos encontrar una velocidad básica del viento de diseño para la zona en que se construya la estructura.

La velocidad de viento para diseño se basa esencialmente en las velocidades máximas de viento, las cuales se obtienen con la ayuda de la meteorología mediante los registros de las velocidades de viento. La Estadística que nos proporciona los métodos necesarios para analizar los datos y la Teoría de Probabilidades, ciencia que estudia las variables aleatorias, carácter principal de la velocidad del viento.

Los estudios estadísticos de los registros de vientos en diferentes partes de un territorio muestran que la probabilidad de ocurrir vientos fuertes no es la misma en todas las áreas geográficas, por ello, se hace necesario la determinación de velocidades básicas de viento para una zona establecida a partir del comportamiento probabilístico de dichas velocidades de viento altas.

Las velocidades básicas de viento están en relación con un periodo de recurrencia previamente aceptado, de acuerdo al uso y vida útil de la estructura, y su aplicación en el diseño de estructuras se realiza utilizando los llamados Mapas Eólicos, donde se grafican dichas velocidades básicas de viento.

1.2 DATOS DE VELOCIDADES DE VIENTO

Para el análisis estadístico de las velocidades máximas de viento, los datos a usarse deberán ser confiables y constituir un grupo homogéneo.

Los datos son considerados como confiables si se determina que el funcionamiento de los instrumentos usados es completamente adecuado. Los instrumentos estarán expuestos de tal modo que no serán influenciados por variaciones de flujo local debido a la proximidad de una obstrucción.

Una serie de datos de velocidades de viento es indicado como homogéneo, si los datos pertenecientes a un grupo son obtenidos bajo condiciones idénticas o equivalentes. Estas condiciones se determinan mediante los factores siguientes [5]:

- * Tipo de instrumentación. Serán idénticos o, en caso contrario, se tomarán en cuenta y, por tanto, los datos serán ajustados.
- * Altura sobre el suelo. Los datos de velocidades de viento deberán estar referidos a una misma altura de observación

y, si la altura es cambiada durante el periodo de registro, los datos deberán ser ajustados.

- * Escabrosidad del terreno circundante. Las estaciones ubicadas en regiones abiertas permiten la obtención de datos más confiables.
- * Tiempo promedio. Un buen sistema de estaciones estará situado en lugares donde las condiciones del tiempo sean idénticas y más uniformes.

Se debe tener bastante precaución en el uso de cualquier publicación de datos de viento y, sobre todo, en la ubicación de las estaciones. La mayor parte de estaciones que se ubican en las ciudades y lugares resguardados, no obtienen datos confiables. Así, para conseguir velocidades máximas de condiciones más representativas en un área, y para alcanzar un patrón razonablemente uniforme de comparación, los datos de regiones abiertas son más apropiados, ya que permiten la posibilidad de usar velocidades reducidas en áreas urbanas resguardadas, lo cual es preferible a tener que estar obligado a extrapolar los datos de estaciones de ciudades, hasta velocidades más altas, para aplicarlos a las localidades más expuestas.

En el presente trabajo se realizó el cálculo de las velocidades de vientos extremos, correspondientes mayormente a la región de la selva, tomándose velocidades máximas de viento de 17 estaciones ubicadas en las principales localidades donde el SENAMHI disponía de datos con grandes periodos de registro.

1.3 MODELOS PROBABILISTICOS DE LAS VELOCIDADES DE VIENTOS EXTREMOS

En modernos códigos y normas de construcciones, las velocidades básicas del viento de diseño son especificadas claramente en términos probabilísticos y están basadas en el conocimiento de la probabilidad de ocurrencia de velocidades altas de viento, obtenidas del análisis estadístico de los registros de velocidades de viento. Existen algunos procedimientos básicos para el cálculo de estas probabilidades de ocurrencia de vientos extremos. La naturaleza de las variables propuestas para que funcione un modelo apropiado de viento extremo es proporcionada por las distribuciones probabilísticas de los valores más altos.

De cualquier estación dada una variable al azar puede ser definida, la cual depende de la velocidad de viento más alta. Si la estación es una en la cual los registros de vientos sobre un número consecutivo de años están disponibles; entonces, la FUNCION DE DISTRIBUCION CUMULATIVA (FDC) de esta variable al azar puede, al menos en teoría, ser calculada para caracterizar el comportamiento probabilístico de las velocidades de viento más altas. La velocidad básica de viento de diseño se define, entonces, como la velocidad correspondiente a un valor especificado $F(v)$ de la FDC o, equivalentemente (respecto de la relación: $R = 1/1 - F(v)$ en la cual $R =$ Intervalo Medio de Recurrencia) como la velocidad correspondiente a un intervalo medio de recurrencia (IMR) especificado.

Por ejemplo, la AMERICAN NATIONAL STANDARD A.58.1 especifica que, una velocidad de viento básica de diseño correspondiente a un IMR de 50 años (es decir, para un valor $F(v_1)$ de la FDC igual a 0.98, o para una probabilidad de excederse de la velocidad básica del viento en algún año igual a 0.02), deberá usarse en el diseño de toda estructura permanente, excepto en aquellas estructuras con un alto grado de riesgo para la vida y la propiedad en caso de fallar, por lo que se deberá usar un IMR de 100 años [$F(v_1) = 0.99$]; y estructuras que no tienen ocupantes o donde el riesgo es insignificante para las vidas humanas, se tomará un IMR de 25 años [$F(v_1) = 0.96$]. Una velocidad de viento correspondiente a unos N-años de IMR es comúnmente referido para como N-años de viento [5].

"Los IMR especificados por los códigos de construcciones, antes que estar basados en un análisis de riesgo formal, son seleccionados en una manera tal como para producir velocidades básicas las cuales, por consenso profesional, son juzgadas como adecuadas desde un punto de vista de seguridad estructural. Sin embargo, se asume generalmente que adecuadas definiciones probabilísticas de velocidades de viento de diseño prometen, al menos en teoría, la ventaja de asegurar un cierto grado de consistencia, con respecto al efecto de las cargas de viento con seguridad estructural. Esto es cierto en el sentido en que todos los factores pertinentes, siendo iguales, si son usados en diseño IMR apropiados, las probabilidades de fallar los edificios en diferentes climas de viento serán en el promedio de las mismas" [5].

En la aplicación práctica de la aproximación probabilística para la definición de velocidades de viento de diseño, surgen ciertas preguntas importantes: 1. ¿Cuál es el tipo de distribución de probabilidad mejor adaptado para el comportamiento probabilístico? Esta pregunta de seleccionar la distribución más apropiada merece mucha atención, ya que la magnitud de la velocidad básica del viento puede depender fuertemente del modelo probabilístico usado. 2. Asumiendo que el tipo de distribución de probabilidad mejor adaptado para el comportamiento modelo de los vientos máximos es conocido, surge una segunda pregunta importante: ¿cuáles son los errores asociados con la aproximación probabilística para la definición de velocidades de viento para diseño? Tales errores dependen, primeramente, de la calidad de los datos y del tiempo de duración del registro (es decir, del tamaño de la muestra) disponible para el análisis.

Como se dijo anteriormente, las velocidades de viento para diseño deberán ser máximas, lo más uniformes posible y con conocimiento de la probabilidad de ser excedidas; estas velocidades son estudiadas por medio de las leyes estadísticas y, de éstas, aquellas que consideren los efectos periódicos. Esto es tratado con la ayuda de la estadística de extremos que, independientemente de los valores de la población, la distribución de límites de valor máximo sólo pueden presentar tres formas, las que convencionalmente se denominan distribuciones asintóticas, de las cuales se ha considerado la distribución asintótica tipo II, definida por:

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

para: $x \geq 0$, $\beta > 0$ y $\gamma > 0$; y teniendo como condición de frontera $F(0) = 0$, esta función seleccionada representa con bastante aproximación, en una población de valores correspondientes a un sitio de observación, el resultado de las mediciones directas [1].

Los antecedentes más útiles de velocidades básicas de viento para diseño son aquellos recopilados por la ASCE [2], donde se fundamenta que los registros de velocidades extremas anuales en una región abierta se ajusta a la distribución de frecuencia:

$$F(x) = e^{-\left(x/\beta\right)^{\gamma}} \dots\dots\dots (2)$$

donde:

$F(x)$ = La probabilidad de que la velocidad del viento sea menor que x

x = Velocidad del viento correspondiente a un intervalo medio de recurrencia especificado.

γ, β = Parámetros ajustables para adecuar datos observados.

Usando la Ecuación 2 se puede proyectar para varias localidades la probabilidad de ocurrencia de 0.50 (2 años de IMR) , 0.20 (50 años de IMR) y 0.01 (100 años de IMR). Como se puede apreciar, las Ecuaciones 1 y 2 son idénticas.

1.4 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS DE VIENTOS EXTREMOS

Como se planteó anteriormente, la distribución de las velocidades máximas de viento son representadas adecuadamente por medio de la estadística de extremos. De las condiciones de frontera puede observarse que la función tipo II, llamada también de Fisher y Tippett, representa una función de valores extremos para una población de números positivos, con frontera inferior nula, por lo que representa a una distribución de velocidades máximas de viento.

De la Ecuación 1, siendo v_1 = Velocidad correspondiente a una probabilidad $F(v_1)$ (de la Función de Distribución de Probabilidades), de modo que:

$$F(v_1) = \text{Prob. } [v \leq v_1]$$

$$1 - F(v_1) = Q = \text{Prob. } [v \geq v_1] = \text{Quantil}$$

$$F(v_1) = (R - 1)/R, \quad R = \text{Intervalo Medio de Recurrencia} \quad (3)$$

obtenemos lo siguiente:

$$L v_1 = L\beta - \frac{1}{\gamma} LL 1/F(v_1) \dots \dots \dots (4)$$

La ecuación anterior representa a una recta, la cual se ajusta aplicando la teoría de mínimos cuadrados. Tomando antilogaritmo de la Ecuación 4:

$$v_1 = e^{L\beta - \frac{1}{\gamma} LL 1/F(v_1)} \dots \dots \dots (5)$$

De acuerdo a la vida útil y al uso de la estructura, es conveniente adoptar los IMR de 100/3, 50 y 100 años, para los cuales se aplicará la Ecuación 5, obteniendo lo

siguientes:

IMR AÑOS DE VIDA UTIL	β	$F(V)$ i	$LL 1/F(V)$ i
100/3	3%	0.97	- 3.4914
50	2%	0.98	- 3.9019
100	1%	0.99	- 4.6001

Reemplazando los valores en la Ecuación 5:

$$v_{(100/3)} = e^{L\beta + \frac{1}{\gamma} (3.4914)}$$

$$v_{(50)} = e^{L\beta + \frac{1}{\gamma} (3.9019)}$$

$$v_{(100)} = e^{L\beta + \frac{1}{\gamma} (4.6001)}$$

Las ecuaciones anteriores representan las velocidades extremas de viento para periodos de recurrencia de 100/3, 50 y 100 años respectivamente.

Con los datos de velocidades máximas de viento de las 17 estaciones correspondientes a la sierra y selva, se procedió a elaborar las tablas de frecuencia respectivas, realizándose luego el cálculo analítico de cada uno de los observatorios, tal como se presenta en el Apéndice A con un ejemplo.

1.5. INTERPRETACION DE RESULTADOS

Surgen varias dificultades en la interpretación de los resultados obtenidos de velocidades extremas de viento, ya que primeramente son muy divergentes, dificultando de este modo su agrupación en zonas específicas.

Existen también, discrepancias en ciertos resultados, a veces para estaciones de una misma zona, las cuales pueden deberse principalmente a lo siguiente: diferencia de elevaciones de los respectivos anemómetros, diferencias en el tipo de exposición, calibración de los instrumentos así como, posiblemente a incorrectos cálculos de la velocidad máxima del viento en determinado periodo de registro. Todo esto más nuestra diversidad de formas topográficas a lo largo, ancho y alto de nuestro país, debido a nuestras variadas regiones naturales predominantemente andina y selvática, no facilitan la obtención de valores uniformes y, por lo tanto, no permiten una agrupación de resultados fáciles de manejar.

Sin embargo, los resultados de velocidades extremas de viento se han representado en tres mapas eólicos, en donde se pueden obtener fácilmente para un determinado lugar geográfico, las velocidades extremas de viento para periodos de recurrencia de 33, 50 y 100 años. Se ha buscado dar valores a todas las capitales de departamento y a las principales ciudades del Perú. En ciertas capitales, tales como Tacna y Piura, se obtuvieron velocidades extremas casi iguales a las calculadas en la Ref. 1.

Bajo el presente procedimiento es apropiado usar, para la resistencia de estructuras, el mapa edólico 2, el cual establece velocidades básicas de viento de diseño para estructuras normales permanentes. Excepcionalmente, estructuras sensibles al viento o críticas pueden garantizar el uso de un IMR de 100 años (mapa edólico 3). Para estructuras temporales donde algún riesgo es justificable, los ingenieros, según su criterio, pueden desear el uso de las condiciones menos severas presentadas en el mapa edólico 1.

1.6 DIBUJO DE LOS MAPAS EDOLICOS

Las velocidades básicas de viento calculadas de las 17 estaciones estudiadas, fueron agrupadas conjuntamente con las velocidades básicas obtenidas en la Ref. 1; todas estas velocidades están referidas a una misma altura de la veleta o anemómetro (10 metros). Sin embargo, esta altura podrá ser corregida para alturas apropiadas por un método que se tratará más adelante. Esta elevación de 10 metros es arbitraria, pero puede corresponder a la ubicación de la mayoría de los anemómetros.

La graficación de las velocidades básicas en el mapa del Perú se efectuó teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- a. Se ubica la estación en el mapa mediante sus coordenadas geográficas respectivas.
- b. Se anota el valor de la velocidad básica del viento en el punto ubicado, de acuerdo al intervalo medio de

recurrencia que pertenece y se está graficando.

- c. Se unen todos los puntos que tengan velocidades básicas iguales, resultando una serie de curvas que vienen a ser las llamadas "ISOTACAS".

Los tres mapas eólicos presentados en la norma "cargas de viento" propuesta, muestran para un determinado lugar e intervalo medio de recurrencia seleccionado (de acuerdo a la vida útil y uso de la estructura), la velocidad básica de viento para diseño en kilómetros por hora y a 10 metros sobre el suelo.

De esta manera, se trata de completar, en gran parte, los mapas eólicos del trabajo "DISTRIBUCION DE VIENTOS EXTREMOS EN EL PERU", en lo que respecta principalmente a la región selvática.

CAPITULO II

DETERMINACION DE FUERZAS DE VIENTO

2.1 INTRODUCCION

Este capítulo tratará sobre la naturaleza del flujo del viento alrededor de los edificios, las presiones producidas y la determinación de fuerzas actuantes en elementos de edificios así como en la estructura.

Todas las estructuras expuestas son afectadas por las fuerzas de viento. En la mayoría de edificios bajos, el adecuado suministro de resistencia al viento es una cuestión sencilla. En edificios altos, torres, puentes colgantes, etc., los efectos del viento pueden gobernar una gran parte del diseño y demandar una investigación intensa. En cualquier evento, la casualidad de vientos golpeando una estructura no puede ser descuidada.

En la mayoría de estructuras es satisfactorio tratar al viento como una carga estática. Los factores que determinan la conveniente presión estática está mejor sobreentendida mediante una ecuación de la forma [4]:

$$p = C_p C_a C_r q \dots\dots\dots (6)$$

donde:

p = Intensidad de la presión estática equivalente

C_p = Un coeficiente que depende de la forma de la estructura

C_e = Un coeficiente dependiente del aspecto topográfico cercano

C_r = Un coeficiente de ráfaga que depende de la magnitud de velocidades de ráfaga y del tamaño de la estructura

q = Intensidad de la presión dinámica

y

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \dots \dots \dots (7)$$

ρ = Densidad del aire

v_H = Velocidad del viento de diseño a la altura H (la altura sobre el suelo a la cual p es calculada) o una altura característica de la estructura.

También:

$$v_H = v_h \left(\frac{H}{h} \right)^{1/\alpha} \dots \dots \dots (8)$$

v_h = Velocidad básica del viento de diseño a la altura h (la altura seleccionada como patrón para la medida de las velocidades de viento)

α = Un exponente de incremento de velocidad con la altura, determinado por la superficie rugosa en la cercanía del lugar y otras influencias.

En este trabajo se tomarán en cuenta los factores dependientes de la forma de la estructura y coeficientes de ráfaga, mas no así los coeficientes por aspectos topográficos cercanos: ya que la infinita variedad de situaciones de la naturaleza local, de nuestra topografía, hace imposible tratar este fenómeno en términos generales. En el caso de estructuras importantes sensibles al viento, localizadas donde existen motivos para sospechar efectos orográficos significativos (cumbre de un cerro, por ejemplo), las consideraciones serán dadas tomando lecturas del anemómetro en el sitio y comparándolas con aquellas lecturas tomadas al mismo tiempo en un nivel de terreno representativo, y ajustando la velocidad de diseño o presión sobre las bases de estos estudios de tiempo corto.

2.2 AERODINAMICA DE EDIFICIOS

El flujo del viento alrededor de los edificios es un proceso extremadamente complejo, y no puede ser descrito por reglas simples o fórmulas matemáticas. Las amplias variaciones en tamaño y forma de los edificios, tipo de exposición al viento, topografía local así como la naturaleza fortuita del viento, tienden a complicar el problema. Las características de estos flujos sólo se pueden establecer a través de observaciones directas de situaciones en tamaño natural o recurriendo a procedimientos adecuados de experimentos en túneles de viento. Sin embargo, la conducta puede ser fijada considerando algunas situaciones de flujo típicas.

2.2.1 Flujo Típico del Viento Alrededor de Edificios

Una situación de flujo típico se ilustra en la Fig. 5, donde el viento está soplando una de las caras del edificio con techo a dos aguas. Los flujos son lentos o desacelerados a medida que se acercan al edificio, produciéndose una presión positiva en la cara de barlovento. Creada la obstrucción por causa del edificio, este flujo se vuelca alrededor de las esquinas y sobre el techo. El flujo separado (llega a ser separado de la superficie del edificio) en estos puntos y la baja presión, por debajo de la atmosférica, origina una presión negativa o succión en los muros extremos y en cierta porción del techo.

Una gran zona de presión baja de flujo retardado es creada a sotavento del edificio, la cual produce una succión en el muro de sotavento y en la cara a sotavento del techo. Las presiones en esta zona no son uniformes ni estables, debido a la turbulencia, característica del viento, y a los diferentes tamaños y formas de dicha zona. Sin embargo, está establecido que los modelos y flujos de viento alrededor de los edificios no se alteran apreciablemente con un cambio en la velocidad del viento.

En general, la presión del viento es máxima cerca al centro de barlovento y decae rápidamente cerca de las esquinas. Las presiones en los costados o muros

extremos no son también uniformes; la succión más intensa ocurre justamente aguas abajo de las esquinas de barlovento.

2.2.2 Efecto de la Inclinación del Techo

Las presiones actuantes en un techo dependen completamente de su inclinación; son generalmente positivas sobre la zona de barlovento para inclinaciones mayores que 30 grados. Para inclinaciones menores a 30 grados, la inclinación a barlovento puede estar sujeta a succiones severas, y que alcanza un máximo a una inclinación de 10 grados aproximadamente. Bajo condiciones de viento extremo, estas succiones pueden ser lo suficientemente intensas como para vencer el peso muerto del edificio, requiriéndose para este caso un adecuado sistema de anclaje.

Es probable que ocurran succiones intensas a lo largo de las orillas del techo y línea de cumbrera debido a la separación del flujo del viento en estos puntos. Para ciertas combinaciones de inclinación y dirección del viento, puede desarrollarse un torbellino cónico a lo largo de los bordes del techo de barlovento (ver Fig. 6). Esta es una envolvente del flujo dentro de un modelo helicoidal, con velocidades muy altas y, consecuentemente, succiones muy intensas. Si estos torbellinos no se tienen en cuenta adecuadamente, en el diseño, a lo largo de los bordes del techo, pueden causarse primeramente fallas locales en el techado y

hasta pérdida completa del techo. Las áreas donde pueden esperarse succiones intensas se muestran en la Fig. 7.

2.2.3 Techos en Voladizo

Al mismo tiempo que se calcula la carga total de elevación en un techo, se debe incluir también la presión actuante sobre la superficie inferior del techo en voladizo. Estas presiones son usualmente positivas y la fuerza resultante actúa en la misma dirección que la fuerza de levantamiento debido a succión sobre la superficie superior del techo. Las presiones actuantes sobre el interior del edificio (será discutido más adelante) pueden también contribuir a la fuerza total de elevación y deben ser igualmente tomadas en cuenta.

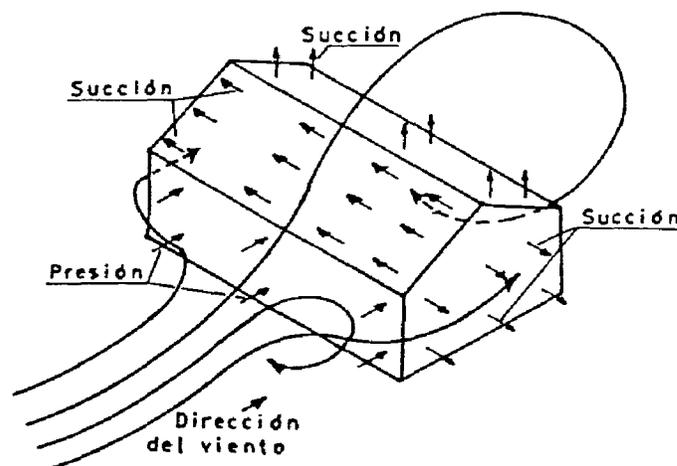
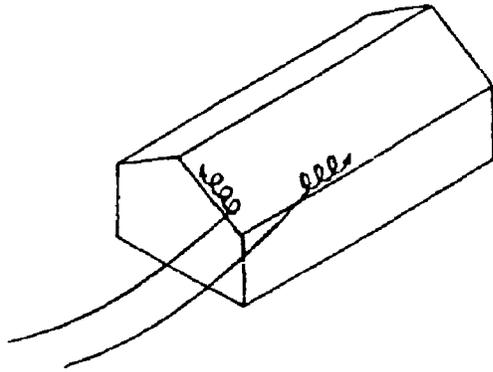
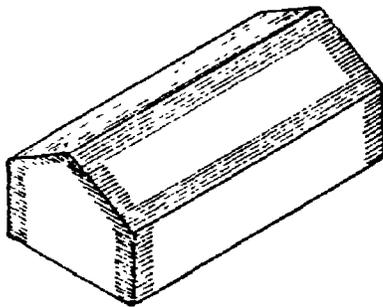


FIG. 5. MODELO DE FLUJO TÍPICO Y PRESIONES EN LAS SUPERFICIES



Torbellinos producidos a lo largo del borde del techo, cuando el viento sopla hacia una esquina.

FIG 6. TORBELLINOS A LO LARGO DEL BORDE DEL TECHO



Áreas donde debe tomarse en cuenta succiones altas para el revestimiento.

FIG. 7. ÁREAS DE SUCCIONES INTENSAS

2.3 VELOCIDAD DEL VIENTO DE DISEÑO

Se deben considerar diversos factores en la selección de una velocidad de viento, sobre la cual se basan las cargas de diseño para edificios u otras estructuras. En ellos se incluyen la climatología del área geográfica, la rugosidad del terreno en general, el aspecto de la topografía local, la altura del edificio, la vida esperada del edificio y el nivel aceptable de riesgo de exceder la carga de diseño.

La medición climatológica de datos de viento y el procedimiento para obtener velocidades básicas fueron discutidos en el Capítulo anterior, y la determinación de los factores modificatorios para determinar la velocidad de viento para diseño se discuten en las secciones siguientes.

2.3.1 Intervalo Medio de Recurrencia (IMR)

La selección de un intervalo medio de recurrencia con la cual hay asociada una cierta velocidad básica de viento, depende de la función del edificio y las consecuencias de su falla. En la Tabla I, presentada en el Artículo 8 de la norma de cargas de viento propuesta, muestra los IMR recomendados para varias clases de estructuras.

Los IMR de la Tabla I conjuntamente con los Mapas Eólicos 1, 2 y 3 (Art. 2) podrá determinar, para cierto lugar, qué velocidad básica se usará para el diseño de estructuras, teniendo en cuenta la función que desempeñará en el tiempo de vida útil.

2.3.2 Variación de la Velocidad del Viento de Diseño con la Altura

El aire en condiciones normales, dentro de la capa límite planetaria, es retardado por los efectos de rugosidad de la superficie y la viscosidad; existiendo un incremento gradual de la velocidad

gradiente [4]. La ley de incremento es de importancia particularmente en la aplicación de datos tomados a niveles bajos para estructuras muy altas.

En mecánica de fluidos se ha visto que el perfil del flujo en una capa límite turbulenta se acerca, muchas veces, a la siguiente expresión:

$$v = v_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{1/\alpha} \dots\dots\dots (9)$$

Donde Z y v son elevaciones y velocidades medias, respectivamente, como se muestra en la Figura 8.

Para flujos turbulentos sobre una placa muy lisa, con valores moderados del número de Reynolds, el valor $1/\alpha$ está establecido a ser muy cercano a $1/7$, dando origen al comúnmente llamado perfil de Raiz Séptima [4].

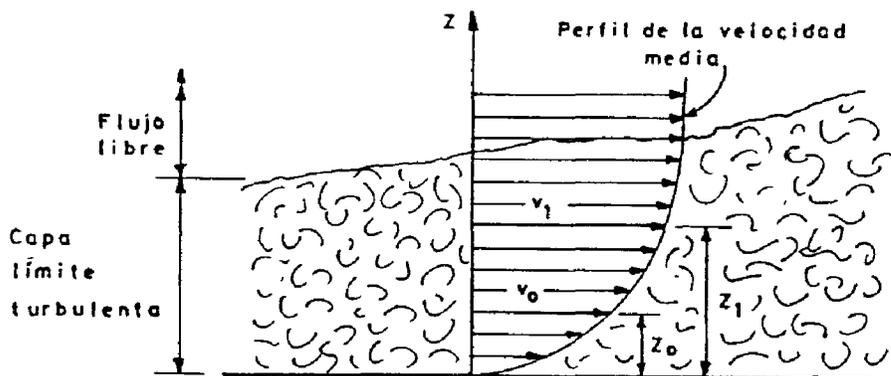


FIG.8. PERFIL DEL FLUJO EN LA CAPA LIMITE TURBULENTA

Las sugerencias más utilizadas en los EE.UU., con respecto a la variación de la velocidad del viento con la altura, son aquellas presentadas por la ASCE. Sus recomendaciones son resumidas en una Tabla donde obtienen dicha variación, mediante una aproximación escalonada de la ley de raíz séptima, para áreas interiores y costeras de los EE.UU. Las velocidades básicas de diseño se obtienen de un mapa, donde se muestran las velocidades e tramas de viento a 30 pies sobre el suelo y con un intervalo medio de recurrencia de 50 años.

En el presente trabajo se realizó el cálculo de la variación de la velocidad del viento con la altura para obtener directamente la presión dinámica en kg/m^2 a diferentes alturas sobre el suelo, tal como se muestra en la Tabla II (Art. 9) de la norma propuesta. La velocidad básica del viento es seleccionada de los mapas eólicos 1, 2 ó 3. En esta Tabla se ha tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Para las velocidades básicas de viento de hasta 100 km/h el exponente $1/\alpha$ es de 0.3 (en la Ecuación 9).
- b. Para velocidades básicas mayores, los exponentes varían de 0.3 a 1/5, aproximándolas por funciones escalonadas.
- c. En ambos casos, los cálculos se efectúan hasta una altura de 200 metros, sobre la cual se usa una

velocidad constante.

- d. La presión dinámica mínima admisible es de $q = 15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$, la que corresponde a una velocidad básica de viento de 55.8 km/h y a 10 metros sobre el suelo.

2.3.3 El Coeficiente de Ráfaga

En todo registro de velocidades de viento, el anemómetro de registro normal no es bastante sensible para registrar aproximadamente ráfagas instantáneas, por lo que tales registros no indicarán las condiciones generales del tiempo, pudiendo ocurrir, durante el periodo de registro, ráfagas significativas con velocidades mucho más altas que, por su importancia, es necesario tener en cuenta.

Despreciando oscilaciones dinámicas, una ráfaga de velocidad promedio conocida tendrá que ser de suficiente duración para sumir a una estructura por un periodo de tiempo necesario, hasta establecer un modelo de flujo característico, antes que llegue a ser estructuralmente significativa. Dicha estructura no experimentará el efecto estático total de un cambio de velocidad conocida, hasta que aquel cambio prevalezca (recorriendo) por casi 8 veces la dimensión de la estructura en la dirección del viento.

El factor de ráfaga (velocidad de la ráfaga : velocidad básica del viento) tiene cierta relación con la