

*Universidad de Matanzas  
Facultad de Ciencias Técnicas*



**INCIDENCIA DE LA RUGOSIDAD DE TERRENO EN EL CÁLCULO DE LA CARGA DE VIENTO  
SEGÚN DIFERENTES NORMATIVAS**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil**

**Autor: Michael Rodríguez Armenteros**

**Tutores: Javier Alejandro García Miranda**

**Juan Carlos Verdecia Somoano**

*Matanzas, 2018*

## **PENSAMIENTO**

“Da el primer paso con fe. No tienes por qué ver toda la escalera. Basta con que subas el primer peldaño.”

Martin Luther King Jr.

## **DEDICATORIA**

A Dios por mostrarme la luz cuando el camino estaba más oscuro.

A mis padres y mi hermana por el apoyo brindado en todo momento.

A Irianet Herrera por todo.

A mis abuelos y mi familia por ser mi fuente de inspiración.

A la memoria de José Rafael y Jorge Aga.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por tantas bendiciones.

A mis tutores Javier y Juan Carlos y sus familias por el apoyo y la preocupación mostrada durante todos estos meses.

A mis padres y abuelos por tanto amor y apoyo durante toda mi formación profesional.

A mi hermana por confiar en mí.

A Vivian González, José Luis y Johnny por estar pendientes desde lejos, aconsejarme y apoyarme.

A Irianet Herrera, esa maravillosa persona que primero como amiga y después como novia hizo sacar lo mejor de mí como estudiante y como persona

A mi prima Yailén por haber sido mi principal inspiración para estudiar ingeniería.

A mis amigos por los consejos y los gratos momentos compartidos, en especial a Christian Reyes, Prado, Andy, Mandiarote, Omar, el Tío, Cutting, Yudiel, Yenisel, Anet, Eddito y Addiel.

A mis tíos por brindarme tanta confianza y apoyo en todo momento.

A José Rafael y Jorgito por enseñarme a nunca rendirme.

A mis tutores por el apoyo brindado para que todo saliera de la mejor manera.

Al Mago por los momentos duros y felices que pasamos juntos, por ser un gran amigo y ayudarme en la traducción.

A los profesores que influyeron en mi preparación profesional directamente.

A Manuel y Juan Carlos por el apoyo brindado en mi formación profesional.

A mi familia por ser parte indispensable de mis logros.

A todas las personas que han estado a mi lado durante todo este tiempo.

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declaro que yo, Michael Rodríguez Armenteros soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

---

Presidente

---

Secretario

---

Vocal

## **RESUMEN**

Cuba se encuentra ubicada en la región del Caribe, blanco fácil para huracanes y ciclones tropicales; vientos extremos. Las edificaciones a medida que ganan altura se hacen más susceptibles a la acción del viento dependiendo principalmente de la rugosidad de terreno y su efecto sobre el perfil de velocidad del viento. Por lo que en el presente trabajo de diploma el autor presenta un estudio de algunas de las principales normativas de viento, centrándose principalmente en el análisis de la incidencia de la rugosidad de terreno en el perfil de velocidad del viento. Para ello fueron consultadas normativas en diferentes regiones las cuales permitieron al autor realizar una revisión bibliográfica importante para el uso en el estudio del viento en nuestro país y una actualización de la norma vigente en nuestro país.

Palabras claves: viento, perfil de velocidad, rugosidad de terreno, normas, revisión bibliográfica.

## **ABSTRACT**

Cuba is located in the Caribbean region, easy target for hurricanes and tropical cyclones; extreme winds. Buildings as they gain height become more susceptible to wind action depending mainly on the roughness of the terrain and its effect on the profile of wind speed. So in the present work of diploma the author presents a study of some of the main regulations of wind, focusing mainly on the analysis of the incidence of terrain roughness in wind profile. In order to do this, numerous standards were consulted in different regions, which allowed the author to carry out an extensive bibliographic review important for the use in the wind study in our country and an update of the current norm in our country.

Keywords: wind, wind profile, bibliographic review, standards, terrain roughness.



## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	1
Capítulo I Fundamentos teóricos del estudio del viento. ....	5
1.1 Viento. Conceptos generales. ....	5
1.2 Capa límite atmosférica. ....	6
1.2.1 Circulación primaria .....	7
1.2.2 Circulación secundaria.....	8
1.2.3 Circulación local .....	9
1.3 Eventos que producen vientos extremos.....	9
1.3.1 Ciclones tropicales. ....	9
1.3.2 Tormentas eléctricas. ....	11
1.3.3 Depresiones frontales.....	11
1.3.4 Vientos catábaticos. ....	11
1.3.5 Vientos Foehn .....	12
1.4 Velocidad básica. ....	13
1.5 Perfiles de velocidad del viento. ....	15
1.5.1 Perfil exponencial .....	16
1.5.2 Perfil logarítmico .....	16
1.6 Instrumentos para la medición de los vientos .....	18
1.6.1 Veletas.....	18
1.6.2 Anemómetros.....	19
1.6.2.1 Anemómetro láser Doppler.....	20
1.7 Rugosidad de terreno. ....	21
1.8 Turbulencia .....	21
Capítulo II: Métodos y parámetros utilizados según normativas.....	24
2.1 CARGA DE VIENTO. MÉTODO DE CÁLCULO (NC-285:2003) .....	24
2.2 Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones. NCh432.....	31
2.3 Ingeniería Estructural de viento. Topografía del terreno .....	36
2.4 Fuerzas debido al viento en edificaciones. NBR-6123 .....	38
2.5 ISO 4354:2009. “Acción del viento en estructuras” .....	43
2.6 Acciones del diseño estructural. Parte 2: Acción del viento.....	54
2.7 Sociedad americana de ingenieros civiles. Diseño de cargas mínimas para edificaciones y otras estructuras. (ASCE.7-10) .....	62
2.8 IS: 875 Parte 3: Cargas de viento en edificaciones y estructuras. ....	67
2.9 Comparativa entre parámetros usados en estándares según un artículo en la revista “Engineering Structures”. .....	73
Conclusiones .....	76
Recomendaciones .....	77
Bibliografía .....	78

## INTRODUCCIÓN

Cuba se encuentra ubicada en la región del Caribe, la cual es una zona que es azotada por los embates de los huracanes y fuertes vientos, principalmente durante casi toda la temporada ciclónica, que se extiende desde el 1 de junio al 30 de noviembre. Los efectos del calentamiento global provocan el calentamiento de los océanos lo que deriva en fuertes eventos meteorológicos y por consiguiente vientos muchos más fuertes.

Varias normativas y artículos hablan de los efectos del viento sobre las edificaciones debido a la importancia que tiene un correcto estudio de las velocidades del viento en la región donde esté localizada la estructura. Todas realizan diferentes métodos para el cálculo de viento ya que el planeta Tierra no está distribuido homogéneamente, es decir, no existe la misma topografía en todos los terrenos, el viento no fluye en una misma dirección y las estructuras son de diferentes formas y tamaños. El viento es un fluido que tiene un comportamiento difícil de estudiar y su estudio requiere de mano de obra capacitada y equipos de difícil obtención debido a los altos costos por lo que el uso de bibliografías complementarias puede ser de gran ayuda a la hora de realizar investigaciones y buscar patrones según el tipo de terreno y la variación de los perfiles de velocidad con la altura.

Sobre la segunda mitad del siglo XX el estudio de los vientos se había intensificado en numerosas ramas de la ciencia y la técnica con disímiles objetivos. En la agricultura los árboles tienen un papel importante en la protección de los cultivos frente a los fuertes vientos. Disciplinas como la climatología y la geografía estudian los vientos para localizar generadores eólicos o el estudio de la ventilación urbana para disminuir la contaminación atmosférica y la polución.

El estudio del viento está basado en tres disciplinas fundamentales: la meteorología a través de la rama de la climatología urbana, la ingeniería por medio de los estudios de aerodinámica y su incidencia en las construcciones civiles y por último la arquitectura tanto a nivel de urbanismo como de proyectos en sentido general. Cada una de ellas a

aportado resultados al estudio del viento aunque cada cual buscando lo más conveniente en su rama.

Esta situación generó una gran variedad de métodos tales como: mediciones in situ, túneles de viento o sistemas de fluidos computacionales, cálculos numéricos y estadísticos del comportamiento del viento lo que provocó una gran variedad de metodologías de análisis: mapificaciones, gráficas, diagramas, esquemas espectrales del comportamiento del viento, etc.

En fin, la influencia del viento sobre diferentes terrenos y el aumento de su altura provocan cambios en la velocidad del mismo lo que lleva al autor a plantear la siguiente ***situación problémica:***

En Cuba el fenómeno principal que rige el análisis y diseño de las edificaciones son los ciclones y tormentas tropicales. Cuando las estructuras comienzan a elevarse en altura son muy susceptibles a los efectos provocados por la carga de viento, por esta razón el análisis de edificios implica una alta precisión tanto en el análisis estático como dinámico bajo carga de viento. Las características del terreno donde se encuentre ubicada una edificación influyen en el tipo de perfil de velocidades de viento con la altura y en los valores de intensidad de turbulencia utilizados para la determinación del coeficiente de ráfaga y la respuesta dinámica de la estructura, la normativa cubana para el cálculo de carga de viento se encuentra sometida a un proceso de actualización, donde uno de los parámetros más importantes es la influencia del tipo de terreno/rugosidad, de ahí la necesidad de actualizar el estado del conocimiento de dicha influencia según estudios y normativas actualizadas.

Objetivo general:

Definir el estado actual del conocimiento referente a la incidencia de la rugosidad del terreno en el cálculo de la carga de viento según estudios y normativas actualizadas.

Objetivos específicos:

- 1- Caracterizar el estado del conocimiento de la influencia de la rugosidad del terreno en las diferentes normas, libros y artículos.
- 2- Caracterizar procedimientos para la determinación de los parámetros en los que influye rugosidad del terreno en las diferentes normativas, libros y artículos.

Como resultado se espera la obtención de una bibliografía que permita la profundización de las temáticas investigadas con una cuantía metodológica ya que puede ser utilizado en el estudio y profundización de la variación de los perfiles de velocidad del viento a diferentes alturas y según la rugosidad del terreno en el campo de la Ingeniería Civil con un valor práctico al servir como vehículo para el aprendizaje y comprensión en los efectos del viento.

Métodos teóricos.

***Histórico-Lógico:*** Permitirá un acercamiento a los antecedentes históricos y evolución hasta nuestros días en el estudio de la rugosidad del terreno y variación del perfil de velocidad del viento con la altura. El método de análisis histórico estudia el trayecto real de los fenómenos y acontecimientos en el pasar del tiempo mientras que el lógico estudia las leyes generales del funcionamiento y desarrollo.

***Analítico - Sintético:*** Es utilizado para el procesamiento de fuentes de investigación con el objetivo de determinar los diferentes puntos de vista y criterios relacionados con la rugosidad de terreno y perfiles de velocidad en el viento.

***Inductivo-Deductivo:*** Con el objetivo de generalizar los aspectos más importantes obtenidos del estudio actual del estado del arte de la rugosidad del terreno y la variación de los perfiles de velocidad con la altura.

Entre los métodos empíricos empleados se consultaron diferentes fuentes bibliográficas obtenidas en páginas web, libros digitales y físicos, normas y se les realizaron entrevistas a estudiosos del tema.

La investigación estará estructurada en:

- Resumen
- Índice
- Introducción: En esta se caracterizará la situación problemática y se establecerá el protocolo de la investigación que se efectuará.

- Capítulo I: Fundamentos teóricos del estudio del viento. El mismo tendrá contemplado todos los conceptos y parámetros necesarios para entender los efectos del terreno sobre el viento.
- Capítulo II: Métodos y parámetros utilizados según normativas
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Bibliografía

## **CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ESTUDIO DEL VIENTO.**

La ingeniería de viento es de suma importancia para la construcción de edificaciones y otras estructuras. De ahí que el siguiente capítulo tenga como objetivos dejar plasmados los conceptos fundamentales para la comprensión de los estudios de viento y las normas más importantes a nivel mundial.

### **1.1 Viento. Conceptos generales.**

A través de los años el hombre siempre ha sido capaz de estudiar de los fenómenos naturales que ocurren a su alrededor y de ello ha tomado lo mejor y lo peor. Las estructuras no están exentas a eventos naturales como es el caso del viento. El cual constituye una fuerza importante a tener en cuenta en la construcción de las edificaciones hoy en día debido a que las mismas ganan en altura y al mismo tiempo la velocidad del viento será mayor a medida que aumente la altura sobre el terreno hasta alcanzar la capa límite atmosférica.

El viento es un movimiento relativo de aire en la tierra, conducido por varias fuerzas diferentes, especialmente, diferentes presiones en la atmósfera, las cuales son producidas por el calentamiento solar diferencial de distintas partes de la superficie de la tierra, y fuerzas generadas por la rotación de la misma (Holmes, 2004).

El viento es un movimiento de aire originado, en gran medida, por corrientes térmicas en los primeros 15 kilómetros por encima de la superficie terrestre (Arroyo, 2015). Según Tamura (2013) el viento es un fluido causado básicamente por la temperatura de la atmósfera debido al calor solar de la superficie de la tierra. Se comienza a sentir debido a la diferencia de densidad o el gradiente de presión entre puntos de igual elevación. Los efectos mecánicos y efectos de temperatura son fuentes de producción de turbulencias del flujo atmosférico. La variación del calor solar con tiempo hace cambiar las condiciones de las fronteras de las capas atmosféricas a diferentes condiciones meteorológicas: estables, inestables y neutras.

Viento o el movimiento del aire respecto a la superficie de la tierra es causado fundamentalmente por la variación del calor del sol sobre la atmosfera. Es iniciado por las diferencias de presión entre dos puntos de igual elevación. (Simiu &H. Scanlan, 1966)  
 La compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos (D. Roth, 2012)

Davenport (1961) define la relación viento-estructura en la “Cadena de efectos de viento”, figura 1.1, según la combinación de los efectos del clima de la localidad, basados en estudios estadísticos, la exposición del viento local influenciada por la rugosidad del terreno y la topografía, las características aerodinámicas de la estructura y la posibilidad de incrementarse las cargas debido a las vibraciones del viento, definidas como una respuesta mecánica o estructural de la edificación.

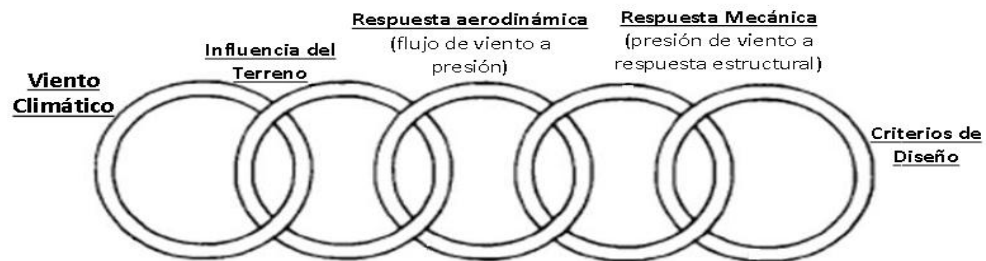


Figura 1.1 Cadena de vientos de Davenport. Davenport (1961)

## 1.2 Capa límite atmosférica.

La atmósfera es convencionalmente subdividida verticalmente en cuatro estratos llamado esferas, separadas por superficies discontinuas llamadas pausas. Las esferas son caracterizadas por inversiones de la razón  $\gamma T/\gamma Z$  donde T es la temperatura y Z la altura. La capa más baja en la cual la razón es  $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$  es llamada troposfera. Esta es relativamente heterogénea. En ocasiones está completamente húmeda y contiene casi todas las nubes y precipitaciones de la atmosfera. Cerca del 90% de la masa de la atmosfera y el 75% del vapor de agua se concentran aquí. La capa entre 10 y 50 km es llamada estratosfera. Existe una capa que separa a la estratosfera de la troposfera llamada tropopausa que tiene una altura que varía cerca de los 9km de los polos y 16km del

ecuador. La estratosfera contiene cerca de un 97 % del ozono en la atmosfera. Esta absorbe la radiación ultravioleta. La estratopausa alrededor de los 50 km separa a la estratosfera de la mesosfera, una región en la cual la temperatura desciende con la altura. Encima de la mesosfera sobre la mesopausa encontramos la termosfera donde la temperatura se incrementa alcanzando los 1000°C Siendo su principal tarea la de proteger a la tierra de las radiaciones de las estrellas. (Solari, 2008)

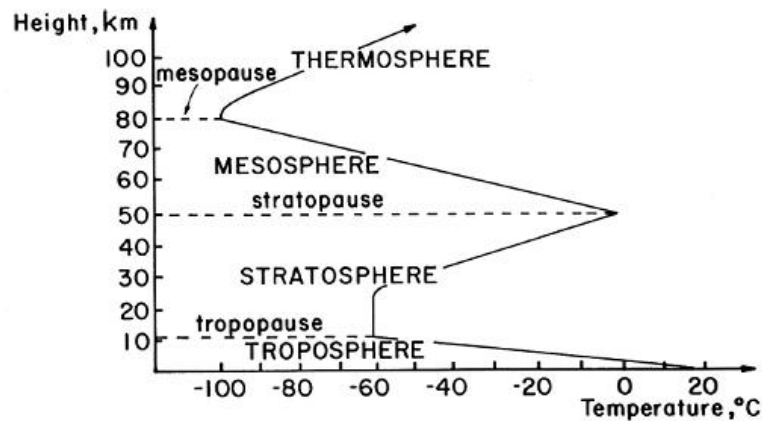


Figura 1.2 Composición de la atmósfera. (Solari,2008)

Los movimientos atmosféricos que se derivan desde el sistema circulación tricelular pueden ser descritos como la superposición de los flujos interdependientes caracterizados por largas escalas en rangos de 1milimetro a miles de kilómetros. Usando estos criterios la circulación atmosférica puede ser clasificada en: circulación primaria, a escala planetaria, circulación secundaria, a escala sinóptica, y circulaciones locales a mesoescala. (Solari, 2008).

### 1.2.1 Circulación primaria

La circulación primaria puede ser explicada en el marco del modelo tricelular. Este comprende los movimientos atmosféricos que ocurren mensualmente o en estaciones sobre áreas de miles de kilómetros. Por ejemplo, esto determina la climatología de la tierra. La circulación primaria incluye tres tipos de vientos: los vientos polares orientales



que van desde las altas presiones polares a las bajas presiones sub-polares, los occidentales que van desde las altas presiones sub-tropicales a las bajas presiones sub-polares y los vientos de intercambio que van las altas presiones sub-tropicales a las bajas presiones ecuatoriales. Los términos occidentales y orientales están asociados a la desviación producida por la fuerza de Coriolis. Todos los vientos pertenecientes a la circulación primaria tienen bajas velocidades. (Solari, 2008)

### 1.2.2 Circulación secundaria

La circulación secundaria es la serie de vientos que surge en bajas presiones debido al calor local o el enfriamiento de las capas atmosféricas. Mientras la circulación primaria estaba asociada a la climatología de la tierra, la circulación secundaria causa el tiempo local. Los vientos que soplan paralelos a las isobaras concéntricas con áreas de altas presiones son llamados anticiclones (figura 1.3). Estos causan buen clima y moderadas velocidades del viento. Su estructura aún no se conoce bien. Los vientos que soplan paralelos a las isobaras concéntricas con áreas de bajas presiones son llamados ciclones. Su diámetro es mayormente en el rango de varios cientos de kilómetros. Estos son subdivididos en ciclones extra-tropicales y ciclones tropicales de acuerdo con el área por el que están formados. (Solari, 2008)

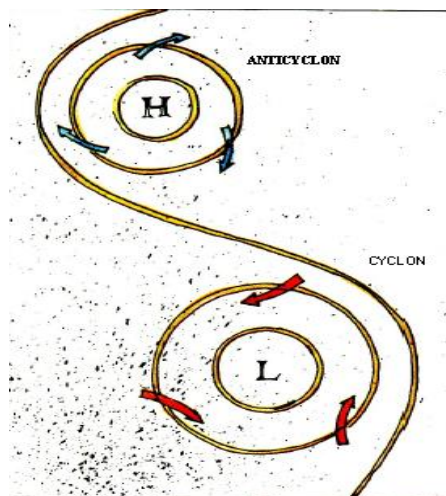


Figura 1.3. Circulación secundaria. (Solari, 2008)

### **1.2.3 Circulación local**

Los vientos locales asociados con condiciones geográficas particulares incluyen las brisas, los vientos foehn y los vientos catábaticos. Las brisas son vientos usualmente dotados con velocidades moderadas las cuales aparecen desde los contrastes termales entre la tierra y el mar o un valle y una montaña.

Una masa de aire fría que ha pasado sobre una montaña o una meseta permite el ascenso a los vientos foehn cuando la compresión adiabática resulta en altas temperaturas de aire seco descendente. A diferencia los vientos foehn cuando los calores adiabáticos no son suficientes para cambiar una masa fría de aire en un aire cálido pero la energía potencial del aire es convertida en energía cinética son causados los vientos catábaticos. (Solari, 2008)

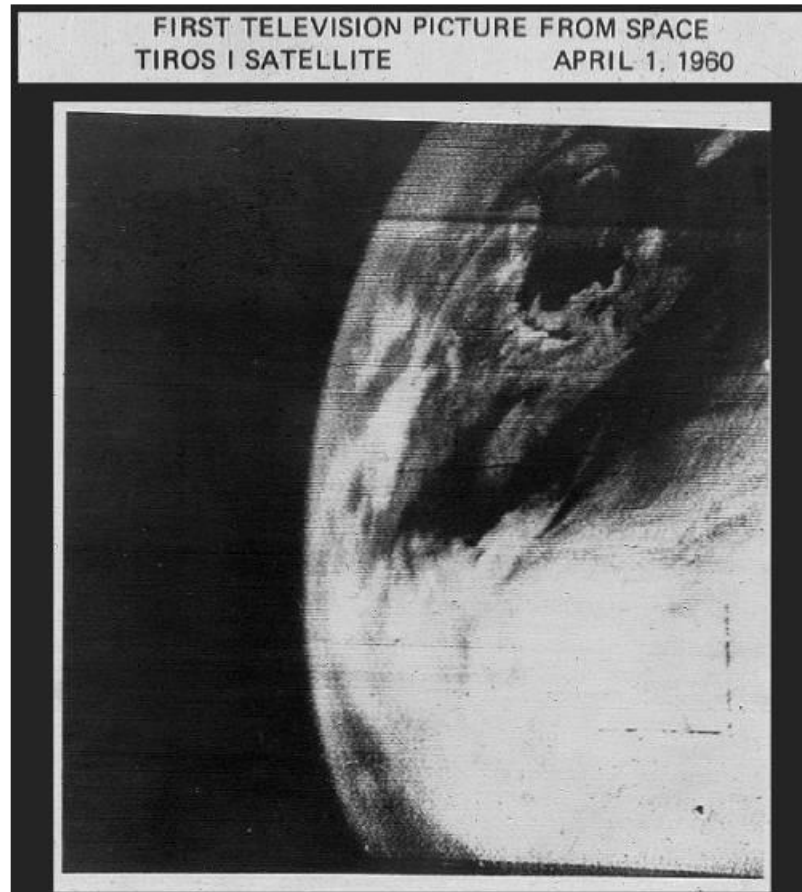
### **1.3 Eventos que producen vientos extremos.**

El viento se puede apreciar de múltiples formas como son los huracanes, ciclones, tormentas tropicales, tormentas eléctricas, depresiones y tornados, vientos catábaticos, foehn, etc. El Caribe está en una posición en la que es atacado por fuertes huracanes durante la etapa más caliente del año según estudios meteorológicos.

#### **1.3.1 Ciclones tropicales.**

Los ciclones tropicales son fuertes vientos que ocurren durante la etapa más caliente del año y provocan grandes daños materiales y humanos principalmente en la zona del mar Caribe. En Cuba comienza la temporada ciclónica del 1ero de junio al 30 de noviembre. Según Tamura (2013) “Los ciclones tropicales son intensas tormentas ciclónicas que ocurren sobre los mares tropicales principalmente en verano y cercanas al otoño. Son conocidos como tifones en el Viejo Este, ciclones en Australia y el Océano Indico y huracanes en América con diferentes definiciones. Por ejemplo, un tifón es un ciclón tropical en el cual los vientos máximos cerca del centro son mayores de los 17m/s. El diámetro de los ciclones tropicales está entre los 100 y los 2000 kilómetros. La profundidad de la atmosfera comprendida está cerca de los 10 a 12 kilómetros. El ojo es formado en el centro de la tormenta. El aire de dentro del ojo es relativamente seco y

poco denso. Aumenta cerca del perímetro del ojo. Fuera de la pared del ojo hay un vórtice en el cual el aire seco y húmedo es elevado y convertido en nubes.”



*Figura 1.4 Ciclón tropical. (Solari, 2008)*

Para Solari (2008) los ciclones tropicales son tormentas en las que su energía se deriva del calor desprendido por la condensación del vapor de agua y originados mayormente, entre los 5 y 20 círculos de latitud. A menudo, los ciclones tropicales producen velocidades que exceden los 120km/h. En estos casos son llamados huracanes en América, tifones en el Viejo Este y ciclones en Australia y el Océano Índico. Estos vientos pueden alcanzar velocidades mayores de 200km. Estos producen devastadores efectos debido a tres causas principales:

1. Velocidad del viento
2. Surgimiento de tormentas
3. Lluvias torrenciales

### **1.3.2 Tormentas eléctricas.**

Las tormentas eléctricas son pequeños disturbios de alcance horizontal comparado con las depresiones tropicales y los ciclones tropicales, pero son capaces de generar fuertes vientos. Son resultado desde el rápido ascenso del movimiento de aires secos y húmedos. Como el aire se mueve ascendentemente este se enfría, se condensa y forma nubes. Las tormentas eléctricas son las causantes de fuertes eventos meteorológicos como son los tornados. (Tamura, 2013)

### **1.3.3 Depresiones frontales.**

Se puede definir depresiones frontales como capas separadas por 2 masas de aire de diferentes densidades que son la principal causa de fuertes vientos y frentes fríos que pueden constar de estrechas bandas de tormentas eléctricas y fuertes fenómenos meteorológicos y en ocasiones son precedidos por líneas de ráfagas las cuales pueden contener fuertes precipitaciones, frecuentes relámpagos, fuertes ráfagas de viento y las posibilidades de tornados e inundaciones. (Tamura, 2013)

### **1.3.4 Vientos catábaticos.**

Viento que cae en el seno de una atmósfera estable, sea cual sea la causa que lo hace partir de un nivel más elevado. Estos vientos, particularmente cuando afectan a grandes regiones, se llaman vientos de otoño. Pueden soplar a más de 100 Km/h. Existen vientos catabáticos calientes (Foehn, Chinook, vientos de Santa Ana, viento Berg o viento del Diablo, Zonda), y vientos catabáticos fríos (Mistral en el Mediterráneo, el viento Bora (o Bura) en el mar Adriático, Oroshi en Japón). El viento catabático frío se origina por enfriamiento radiativo o por movimientos verticales en el punto más alto de una montaña, o glaciar. Como la densidad del aire se incrementa con el descenso de la temperatura, el aire fluye hacia abajo, produciéndose un calentamiento por compresión en el descenso (proceso adiabático), aunque sigue permaneciendo relativamente frío. Los vientos catabáticos fríos se producen a primeras horas de la noche cuando la radiación solar cesa y el suelo se enfría por emisión de radiación infrarroja. El aire frío de una borrasca puede

contribuir al efecto. Sobre la Antártida y en Groenlandia, inmensos vientos catabáticos fríos soplan casi todo el año. Los vientos catabáticos calientes se originan al atravesar una masa de aire un obstáculo geográfico, como una cordillera. Se produce, en ese caso, una serie de procesos dinámicos y adiabáticos que provocan aumentos en la velocidad, la temperatura y la sequedad del aire a sotavento del obstáculo. Estos procesos tienen su culminación en el denominado efecto Foehn, que se produce cuando parte del vapor de agua que contiene el aire se condensa a barlovento del obstáculo. (McKnight, TL & Hess, Darrel, 2000)

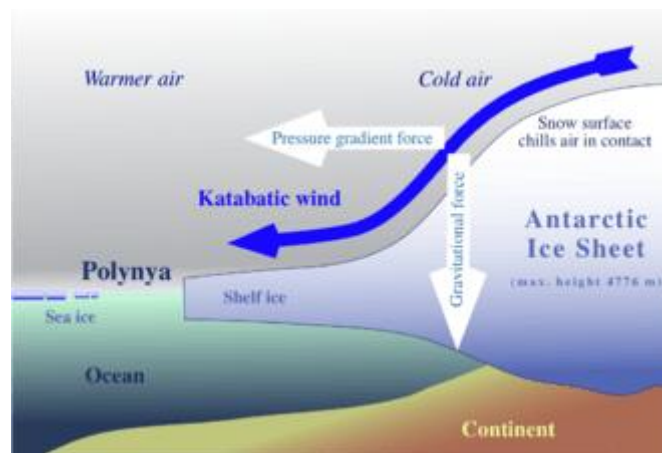
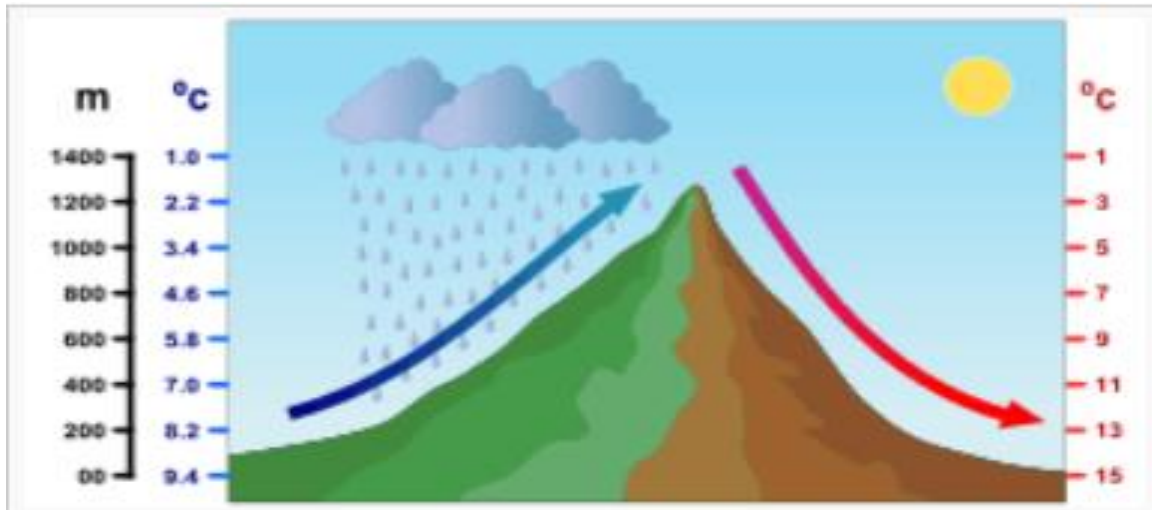


Figura 1.5. Vientos catabáticos. (Solari, 2008)

### 1.3.5 Vientos Foehn

Se produce en relieves montañosos cuando una masa de aire cálido y húmedo es forzada a ascender para salvar ese obstáculo. Esto hace que el vapor de agua se enfríe y sufra un proceso de condensación o sublimación inversa precipitándose en las laderas de barlovento donde se forman nubes y lluvias orográficas. Cuando esto ocurre existe un fuerte contraste climático entre dichas laderas, con una gran humedad y lluvias en las de barlovento, y las de sotavento en las que el tiempo está despejado y la temperatura aumenta por el proceso de compresión adiabática. Este proceso está motivado porque el aire ya seco y cálido desciende rápidamente por la ladera, calentándose a medida que aumenta la presión al descender y con una humedad sumamente escasa. El efecto foehn

es el proceso descrito en las laderas de sotavento y resulta ser un viento secante y muy caliente. (Josefina, 2009)



*Figura 1.6. Viento Foehn. (Solari, 2008)*

#### **1.4 Velocidad básica.**

La velocidad básica es un factor de mucha importancia a la hora de medir la intensidad del viento sobre una estructura pues de su exactitud dependerá en gran medida su diseño.

La velocidad básica del viento al igual que el perfil de velocidad será la velocidad del viento a diferentes alturas y en diferentes terrenos. Muchas literaturas tratan la velocidad básica del viento como perfil de velocidad.

La velocidad básica según la norma brasileña es una velocidad de una racha de 3 segundos que puede ser excedida en una vez aproximadamente cada 50 años. A 10 metros sobre el terreno en un campo plano y abierto. Como regla general es admitido que el viento puede soplar en cualquier dirección. En caso de dudas, en cuanto a la selección de velocidades en obras de gran importancia se deben realizar estudios específicos de las velocidades para su determinación. En estos casos, pueden ser consideradas direcciones preferenciales para el viento básico con su debida justificación.

La referencia de la velocidad de viento (Figura1.7) es normalmente el valor especificado de la velocidad de viento para el área geográfica en la cual la estructura está localizada. Esto se refiere a una exposición estándar (rugosidad, altura y topografía), tiempo promedio y probabilidad de excedencia en un año (el cual puede ser por un tiempo de retorno promedio como es requerido desde el estado de servicio a la determinación del estado límite). En algunas situaciones la referencia de la velocidad del viento puede ser especificada según varía su dirección. (ISO4354,2009)

La velocidad del viento es un campo tridimensional el cual puede ser modelado bidimensionalmente. Los siguientes tres esquemas muestran:1)los perfiles instantáneos de velocidad del viento cuando  $t = \bar{t}$  , 2) el incremento de la velocidad instantánea del viento según la altura  $z = \bar{z} , u = (\bar{z}, t)$ ;3) la relación de la turbulencia según la altura  $z = \bar{z}$  ,

$$\bar{u}(\bar{z}, t) = u(\bar{z}, t) - \bar{u}(\bar{z}) \quad (1.1)$$

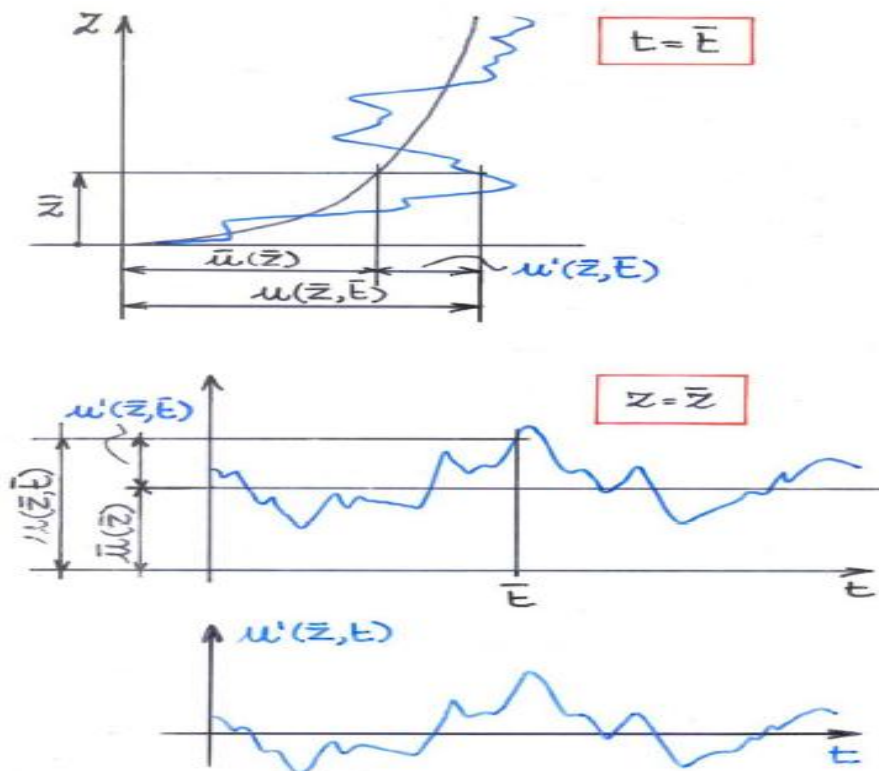


Figura 1.7. Velocidad básica del viento (Solari, 2008)

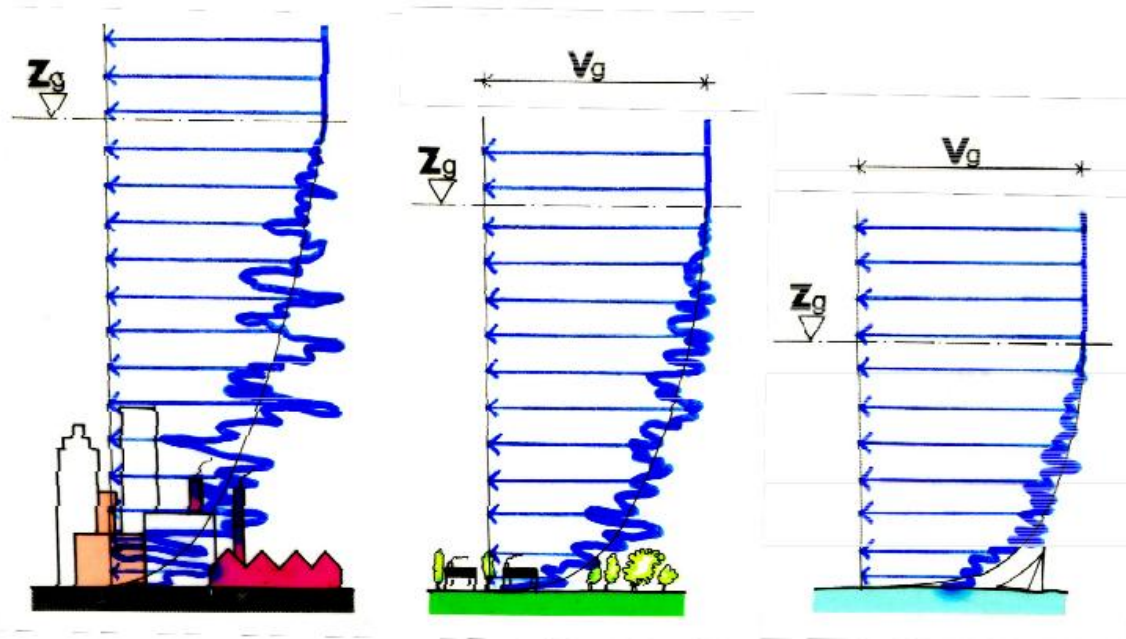
Tomando  $x,y,z$  como coordenadas cartesianas de referencia con origen en el terreno,  $z$  es vertical. El campo del viento es representado por la ley temporal de la velocidad en el punto  $M$  de coordenadas  $x,y,z$ :

$$V(M;t) = V''(M;t) + V'(M;t) \quad (1.2)$$

donde  $V''$  y  $V'$  son dos vectores que denotan, respectivamente, la velocidad básica y el cero significa la fluctuación turbulenta de  $V$  alrededor de  $V'$ .

### 1.5 Perfiles de velocidad del viento.

Los perfiles de velocidad del viento no son más que las velocidades que toma el viento a diferentes alturas debido a la rugosidad de terreno. Estos valores son obtenidos mediante dos ecuaciones fundamentales halladas de forma empírica: ecuación logarítmica y ecuación exponencial. Conocidas fundamentalmente como perfil logarítmico y perfil exponencial, respectivamente. El perfil logarítmico es el más aceptado según sus resultados y el perfil exponencial es el más usado a nivel internacional.



Wind velocity profile



*Figura 1.8. Perfil de velocidad del viento (Solari, 2008)*

### **1.5.1 Perfil exponencial**

En la aplicación de las fórmulas exponenciales se requiere conocer al menos una observación de la velocidad y dirección del viento sobre un punto durante un periodo de un año y buen conocimiento de la geografía física de la zona donde estén emplazados los anemómetros de copa, o bien los sensores sónicos como el Sodar o el lumínico como el Lidar, que también son empleados modernamente para determinar la velocidad del viento, mediante el sonido y la luz, respectivamente. (Wagner, 2008)

$$V_z = V_{ref} \left( \frac{Z}{Z_{ref}} \right)^\alpha \quad (1.3)$$

Donde:

$v_z$  : Velocidad del viento a estimar a una altura Z sobre el nivel del suelo z

$V_{ref}$ : velocidad de referencia, velocidad del viento observada a una altura preestablecida, denominada altura de referencia,  $Z_{ref}$ , generalmente 10 m o 2 m, aunque puede ser otra.  
 $\alpha$ , exponente de rugosidad Varía entre 0 a 0,40; según el tipo de rugosidad del terreno: agua, 0,13; grama, 0,14 a 0,16; cultivos y arbustos, 0,20; bosques, 0,25 y zonas urbanas, 0,40.

### **1.5.2 Perfil logarítmico**

El modelo logarítmico del perfil del viento con corrección por estabilidad atmosférica expresa que el valor de la velocidad del viento está influido por la estabilidad atmosférica del momento y en caso de valores promedios, por la estabilidad predominante. La figura 1.9 de (Gardiner,2004) contiene las formas de los perfiles del viento en cada situación atmosférica: neutra, estable e inestable, y en porción inferior derecho, las comparaciones de las tres condiciones, donde se aprecia con claridad que en atmósfera estable la velocidad del viento en la altura se incrementa mucho más que en atmósfera estable e inestable. En la representación del perfil del viento, sin embargo, lo que más se emplea es

la escala ( $z/L$ ), es decir, su inverso multiplicado por  $z$ , por ejemplo, para la  $Z=40$ , se tiene ( $z/L$ ) del cuadro. Como un complemento al estudio del perfil del viento en la capa atmosférica superficial, se mencionan los modelos del perfil del viento basado en la teoría de la altura de mezcla, y los cuales han resultados exitosos en alturas por encima de la capa atmosférica superficial hasta unos 300 metros sobre el suelo. (Gardiner, 2004) agrupa estos modelos según las condiciones atmosféricas:

- a) En atmósfera neutra
- b) En atmósfera estable
- c) En atmósfera inestable

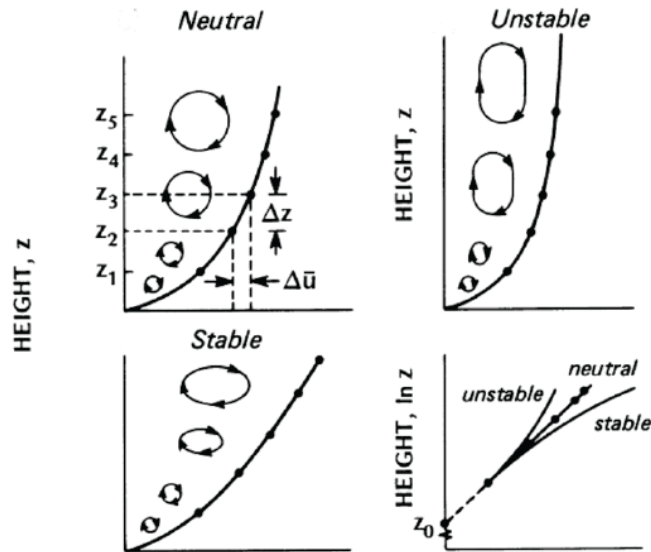


Figura 1.9. Condiciones de estabilidad atmosférica. (Gardiner, 2004)

A gran escala dos características aplican en la capa límite. En la parte más baja de la capa límite, domina la medición de la rugosidad de la superficie. En la parte más alta de la capa límite, cerca del flujo libre la altura es un importante factor. El perfil logarítmico solo toma en cuenta la superficie de rugosidad entonces el perfil solo aplica cerca del terreno de 50 a 100m sobre el terreno. En el perfil logarítmico también es tomado en cuenta la altura de la capa límite. A altas velocidades de viento a más de 20 m/s el perfil logarítmico da efectividad en sus resultados hasta 300m sobre el terreno. La velocidad de fricción  $u$  es definida por:

$$u = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad (1.4)$$

Donde  $\tau$  es la tensión de cizallamiento y  $\rho$  es la densidad del aire.

Para vientos extremos las velocidades de fricción típicas están en el orden de la magnitud de 1-2m/s. Cerca del terreno, el gradiente de velocidad  $dU(z)/dz$  dependen además de  $\tau$ ,  $\rho$  y la altura  $z$  sobre el terreno. Basado en un análisis dimensional, una ecuación diferencial para la velocidad básica puede ser formulada y esto lleva a la expresión del perfil logarítmico

$$U(z) = u * \frac{1}{k} * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1.5)$$

Donde:

k: Constante de von Kármán's ( $k \sim 0.4$ )

z: Longitud de rugosidad

El Eurocódigo usa el perfil logarítmico para la velocidad básica hasta 200m sobre el terreno.

## 1.6 Instrumentos para la medición de los vientos

### 1.6.1 Veletas.

La veleta es el dispositivo más antiguo que se conoce para medir la dirección del viento. El gallo veleta o gallo de la Basílica de San Isidoro de León es el más antiguo que existe y data desde la Persia sasánida dejando claro que el hombre ha sido capaz de medir la dirección del viento desde hace mucho tiempo.

La veleta es un dispositivo giratorio formado por una placa que gira libremente, un señalador que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales. Los lados de una veleta tienen el peso distribuido equitativamente a cada lado del eje pivotante así el puntero puede moverse libremente en su eje y el área de superficie está dividida desigualmente.

El lado con el área superficial de mayor envergadura es soplado lejos de la dirección del viento, así el lado menor, con el puntero, es pivotado para ponerse de cara hacia la

dirección del viento. Por ejemplo, en un viento noreste el puntero apuntará hacia el punto cardinal noreste. La mayoría de las veletas tienen marcadores direccionales por debajo de la flecha, alineados con los puntos cardinales principales.



*Figura 1.10. Veleta. (Burnell & Marcia, 1991)*

### **1.6.2 Anemómetros.**

Herramienta meteorológica usada fundamentalmente para la medición de la velocidad del viento. Es usado también para medir los cambios de velocidad en el viento, particularmente, la turbulencia. Existe un sin número de anemómetros comerciales que en su mayoría son de basto rango de operación, fácil instalación, precisión óptima, bajo consumo energético. Los resultados son mostrados como salida de corrientes (4-20mA) y en forma de voltaje (0-5V).

En meteorología, se usan anemómetros de cazoletas, que consiste en un diminuto molino de tres aspas y cazoletas. Sobre las cazoletas actúa la fuerza del viento. El número de vueltas será leído directamente en un contador o registrado sobre una banda de papel denominada anemograma en cuyo caso el aparato se denomina anemógrafo. Aunque también los hay de tipo electrónicos.

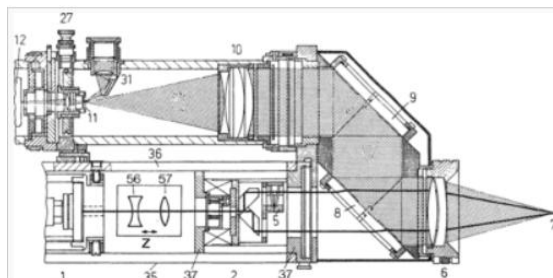


*Figura 1.12. Anemómetro tipo cazoleta. (Applied Technologies, 2013)*

Para la medición de los cambios aleatorios en la velocidad del viento, sobre todo, en las turbulencias es usado el anemómetro de filamento caliente el cual está formado por hilo de níquel o platino calentado eléctricamente, es decir, la acción del viento tiene como principal efecto enfriarlo para hacer variar de esta forma su resistencia. Por lo tanto, la velocidad del viento es proporcional a la corriente a través del hilo.

### 1.6.2.1 Anemómetro láser Doppler

Este anemómetro digital usa un láser que es dividido y enviado al anemómetro. El retorno del rayo láser decae por la cantidad de moléculas de aire en el detector, donde la diferencia entre la radiación relativa del láser en el anemómetro y el retorno de radiación, son comparados para determinar la velocidad de las moléculas de aire. (Paul D, 1976)



Dibujo de un anemómetro láser. El láser es emitido (1) a través de la lente frontal (6) del anemómetro y es sosegado por las moléculas de aire. La radiación retrodispersada (puntos) reentra y el efecto reflejado se dirige a ese detector (12).

*Figura 1.13. Anemómetro laser. (Paul D, 1976)*

## **1.7 Rugosidad de terreno.**

Cada terreno tiene su propia topografía. Esto se debe principalmente a la composición química y física, a la ubicación geográfica, a procesos endógenos o exógenos de los suelos y también al efecto de erosión de los vientos y otros eventos climatológicos. El índice de rugosidad constituye un indicador del terreno a pequeña escala.

La rugosidad del terreno varía además por la erosión de los suelos que puede ser provocada entre otros factores por el viento y las lluvias que arrastran gran parte de los sedimentos del mismo. La rugosidad de terreno en el estudio de ingeniería de viento sobre estructuras no es más que un coeficiente toma en cuenta la protección contra el efecto del viento según las condiciones geográficas y accidentes del relieve.

## **1.8 Turbulencia**

La turbulencia atmosférica está dada por la convección y la agitación mecánica del flujo macro-meteorológico, debido a la rugosidad de la superficie terrestre, creando vórtices de aire en pocos metros y durante varios minutos. Las fluctuaciones de turbulencia se consideran como la superposición de los efectos de remolinos en movimiento periódico. Los grandes remolinos se asocian con la energía cinética de bajas frecuencias, siendo estructuras inestables se transforman en vórtices pequeños sin disipación de energía, sin embargo, los vórtices pequeños de altas frecuencias disipan energía viscosa. La turbulencia es caracterizada mediante la desviación estándar de la velocidad del viento ( $\sigma u$ ), el espectro, la escala integral y la intensidad de turbulencia son necesarios para su completa caracterización (Holmes, 2004).

El espectro de energía describe la distribución de la energía en cada frecuencia (A.G. Davenport, 1967). La medida del tamaño de los vórtices se obtiene por las escalas longitudinales, las cuales pueden ser estimadas por la integración de las funciones de correlación cruzada de la velocidad. La intensidad de turbulencia se expresa como la desviación estándar de las fluctuaciones de la velocidad normalizada por la velocidad media (Blessmann, 1995; Simiu & Scanlan, 1978).

Los códigos y normativas internacionales toman el comportamiento de la componente fluctuante como velocidades de diseño de ráfaga. El coeficiente de ráfaga depende de la muestra tomada para el intervalo del promedio utilizado para la obtención de la velocidad básica, de las características del terreno (topografía y rugosidad), de la altura de la estructura.

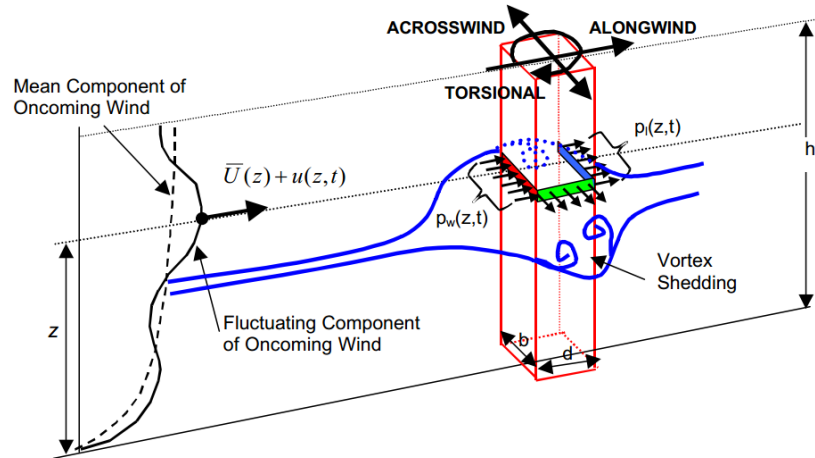
Si el tiempo empleado para medir la velocidad de ráfaga es 3 segundos se puede utilizar como tal, si los tiempos empleados son de una hora o 10 minutos la velocidad básica será afectada por un coeficiente llamado “Factor de Ráfaga”

El factor de ráfaga se establece según Holmes(2004) como la relación entre el máximo valor de la velocidad de ráfaga ( $\hat{U}$ ) y la velocidad media ( $\bar{U}$ ) en un intervalo de 10

minutos o una hora  $G = \frac{\hat{U}}{\bar{U}}$

El valor de ráfaga es asociado a la intensidad de turbulencia máxima que se pueda registrar en una localidad, región o territorio y esta será regida por el evento climático predominante por lo que se han realizados múltiples estudios para determinar dichos factores en diferentes condiciones de vientos extremos.

La velocidad del viento genera cargas impuestas sobre la estructura que varían espacial y temporalmente. Luego, la interacción del viento sobre la estructura puede ser modelada en tres componentes de la respuesta estructural: longitudinal, transversal y torsional, como se observa en la Figura 1.13. La respuesta longitudinal proviene de las fluctuaciones de la presión de viento que se acerca a la estructura, está relacionada directamente con la turbulencia atmosférica y la energía de las ráfagas del viento. La respuesta transversal es producto del movimiento de la estructura perpendicular a la dirección actuante del viento, el cual es introducido por las fluctuaciones de presión en una de las caras de la estructura y el desprendimiento de vórtices. La respuesta torsional se origina por el desbalance en la distribución de presiones instantáneas sobre las superficies de la estructura (Kijewski, 2004).



*Figural.14. Descripción del campo de velocidad actuante y efectos resultantes inducidos por el viento sobre la estructura (Kijewski, 2004)*

En fin, el coeficiente de ráfaga no es más que los cambios en la velocidad del viento en intervalos de 3s, 10 minutos y una hora sobre un punto. Debido principalmente a la altura de la edificación en el caso de la construcción y la topografía y rugosidad del terreno.



## CAPÍTULO II: MÉTODOS Y PARÁMETROS UTILIZADOS SEGÚN NORMATIVAS.

Este capítulo cuenta con un estudio de las normas más importantes para el cálculo de la acción del viento sobre las estructuras y como punto fundamental de estudio la influencia de la rugosidad de terreno en la carga de diseño de viento. Para una mejor comprensión del mismo en cada norma se realizará un breve resumen de la misma y los conceptos más importantes tratados por cada una de ellas.

### 2.1 CARGA DE VIENTO. MÉTODO DE CÁLCULO (NC-285:2003)

La norma cubana (NC-285:2003) Carga de viento. Método de cálculo, establece el método de cálculo necesario para el cálculo estático y dinámico en obras de ingeniería o algunos de sus elementos donde el viento es considerado una sobrecarga de uso. Para ello se apoya en una serie de normativas, tales como, NC-46:1999 “Construcciones sismo resistentes, “Requisitos básicos para el diseño y construcción” y la NC-120:2001 “Hormigón hidráulico. Especificaciones” y conceptos dados durante el desarrollo de este epígrafe.

**Requisitos de cálculo:** A salvo de que la estructura no esté soterrada serán proyectadas para que la edificación logre resistir la acción del viento.

**Dirección del viento:** Salvo condiciones excepcionales se supondrá que el viento actúa horizontalmente y en cualquier dirección. De estas direcciones se considerará fundamentalmente el efecto del viento, según las direcciones principales de la estructura. En estructuras, sobre todo expuestas al viento tales como faros, torres y otras se realizará también un estudio en cuanto a su acción en la dirección de las diagonales de dichas estructuras.

**Presión del viento:** Cuando se tengan observaciones directas de las velocidades básicas del viento, se podrán calcular las presiones básicas características del viento (en lo adelante “presión básica”) en una superficie normal a su dirección, mediante la fórmula:

$$q = \frac{V_{10}}{1.6 * 10^3} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2.1)$$

Donde:

q: presión básica característica del viento correspondiente a velocidades del aire en terrenos llanos y abiertos a una altura de 10 m sobre el terreno, (kN /m<sup>2</sup>)

V<sub>10</sub>: velocidad característica del viento para un período básico de recurrencia y a una altura de 10 m sobre el terreno, (m/s),

1,6\*10<sup>3</sup>: factor empírico

La carga de viento o cargas unitarias características totales por unidad de área (q) a considerar en los cálculos se obtiene mediante la expresión:

$$q = q_{10} * C_t * C_s * C_h * C_r * C_{ra} * C_f \text{ [ kN/m}^2\text{]} \quad (2.2)$$

Donde:

q<sub>10</sub>: presión básica del viento, [ kN/m<sup>2</sup> ]

C<sub>t</sub>: coeficiente de recurrencia

C<sub>s</sub>: coeficiente de topografía o sitio

C<sub>h</sub>: coeficiente de altura

C<sub>r</sub>: coeficiente de ráfaga

C<sub>ra</sub>: coeficiente de reducción

C<sub>f</sub>: coeficiente de forma

#### **Periodos de recurrencia media de las velocidades de los vientos:**

La velocidad básica del viento se tomará con un período básico de recurrencia de 50 años para todas las estructuras permanentes y que además presenten características normales de sensibilidad al viento, importancia económica y duración.

Para estructuras de menor importancia económica, de menor afectación a la vida y a la propiedad en caso de fallo o de menor duración probable de la vida útil o funcional, ejemplo de edificaciones de carácter provisional, puede tomarse un período de recurrencia menor de 50 años.

***Presiones básicas por provincias o regiones:*** Para provincias o regiones las presiones básicas (q<sub>10</sub>) para una recurrencia de 50 años son:

- Zona 1: Desde Pinar del Río, incluyendo la Isla de la Juventud, La Habana, Ciudad de la Habana, Matanzas y Villa Clara hasta Cienfuegos **q<sub>10</sub>=1.3kN/m<sup>2</sup>**
- Zona 2: Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey **q<sub>10</sub>=1.1kN/m<sup>2</sup>**
- Zona 3: Las Tunas, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo **q<sub>10</sub>=0.9kN/m<sup>2</sup>**

Los valores señalados aparecen en el mapa:



Figura 2.1 Presión básica del viento en las zonas de Cuba (NC-285, 2003)

**Coefficiente de topografía o de terreno:** La influencia de caracteres topográficos definidos, permitirá variar la presión mediante el coeficiente de topografía o sitio ( $C_s$ ) que tendrá valores que se establecen en la tabla de la norma.

Como ejemplos de posibles sitios expuestos se pueden analizar los cayos, las penínsulas estrechas valles estrechos donde el viento se encajona, las cimas de promontorios, las montañas aisladas o elevadas y otros. (Los faros son considerados ejemplos de estructuras en sitio expuesto).

Para elementos y proyectos típicos de uso múltiple y nacional se usará el coeficiente correspondiente a sitio normal; excepto en obras cuya ubicación normal es siempre en sitio expuesto.

**Categorías de terreno:** La influencia que reflejan las grandes variaciones de la rugosidad del terreno que varía según la topografía natural, la vegetación y edificaciones existentes determina las tres categorías de terreno en la cual el edificio o estructura estará ubicado.

- Terreno tipo A: Estos serán terrenos abiertos (llanuras, costas, orillas de laguna y represas, etc.). También en terrenos con obstáculos y edificaciones que no superen los 10 m. Se considera costa una distancia hasta 500 metros a partir de la línea del mar.
- Terreno tipo B: Estos serán terrenos cubiertos con obstáculos y edificaciones que superen los 10 m. (ciudades, zonas boscosas, etc.). Se considera representativo de este tipo de terreno, cuando las condiciones señaladas se mantengan en una distancia de 500m o más, a partir de la edificación u obra.

- Terreno tipo C: Estos serán los centros de grandes ciudades, en los que al menos el 50 % de las edificaciones tengan una altura promedio mayor de 22 m o más. Esta condición debe prevalecer en la dirección analizada, en al menos una distancia de 800 m de construcciones ó 10 veces la altura del edificio u obra (el mayor de los dos). Se debe tener en cuenta un posible efecto de túnel o incremento de la presión, por un aumento de la velocidad del viento debido a que el edificio o estructura se encuentre ubicado en la zona de excitación o influencia de otros edificios o construcciones adyacentes.

***Variación de la presión básica con la altura. Altura de gradiente. Coeficiente de altura.***

***Altura de gradiente:*** Altura a la cual el viento alcanza su valor máximo, dependiendo de la rugosidad del terreno y manteniéndose constante a partir de dicha altura.

***Coeficiente de altura:*** El coeficiente de altura vendrá dado por la siguiente tabla:

*Tabla 2.1 Gradiente del coeficiente de altura (NC-285, 2003)*

Tipo de terreno	$C_h$	$Z_g(m)$
A	$(Z/10)^{0.32}$	300
B	$0.65*(Z/10)^{0.44}$	400
C	$0.30*(Z/10)^{0.66}$	500

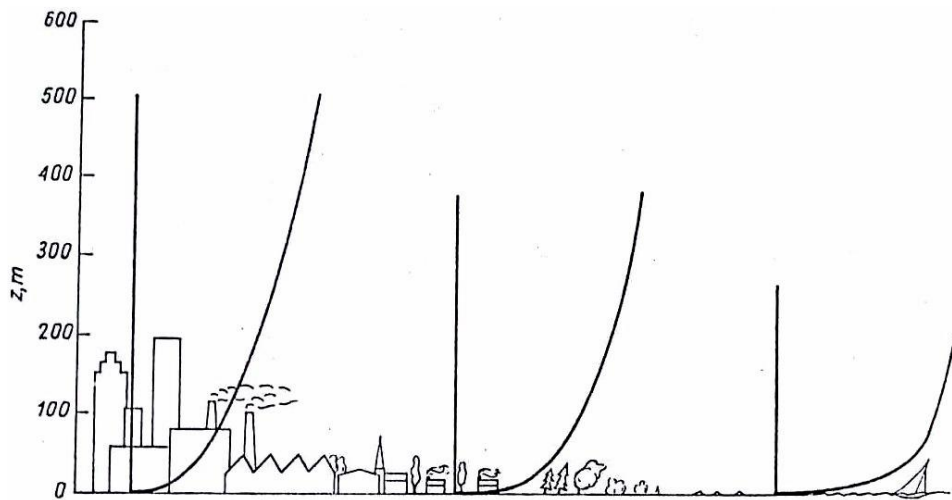


Figura 2.2. Gradientes de la velocidad del viento según la categoría de terreno.

Tabla 2.2 Coeficientes de altura (NC-285, 2003)

Altura (m)	A	B	C
De 0 a 5	0.80	0.48	0.19
10	1.00	0.65	0.30
20	1.25	0.88	0.47
30	1.42	1.05	0.62
40	1.56	1.20	0.75
50	1.67	1.32	0.87
60	1.77	1.43	0.98
70	1.86	1.53	1.08
80	1.95	1.62	1.18
90	2.02	1.71	1.28
100	2.09	1.79	1.47
125	2.24	1.97	1.59
150	2.38	2.14	1.79
175	2.50	2.29	1.98
200	2.61	2.43	2.17

### **Coeficientes de ráfaga: (Cr)**

Los coeficientes de ráfagas (Cr) son empleados para tener en cuenta la naturaleza fluctuante de los vientos y su interacción con edificaciones y otras construcciones. El coeficiente de ráfaga (Cr) será utilizado en el cálculo de los elementos resistentes a la carga de viento, tales como tímpanos independientes y acoplados, pórticos, columnas aisladas, estructuras de núcleo tipo cajón que rodean los ascensores, etc. Su valor se determina según la Tabla 2.2, en función del tipo de terreno y para la altura total del edificio o estructura H. Para el cálculo de elementos aislados, ventanas, paneles de fachada (fenestración) se determinará el coeficiente de ráfaga Cr (Z) según la misma Tabla 2.2, pero evaluando para la altura sobre el terreno a la cual se encuentra ubicado el elemento o panel que se está analizando en la estructura. Para el cálculo y diseño de las cimentaciones, el coeficiente de ráfaga a utilizar tendrá el valor de uno.

Tabla 2.3 Coeficientes de ráfagas (NC-285, 2003)

Altura(m)	Terreno A	Terreno B	Terreno C
<10	1.22	1.46	1.90
10	1.18	1.36	1.72
20	1.14	1.28	1.54
30	1.12	1.24	1.44
40	1.10	1.21	1.38
50	1.09	1.18	1.32
60	1.08	1.17	1.30
70	1.07	1.15	1.27
80	1.06	1.14	1.24
90	1.06	1.13	1.22
100	1.05	1.12	1.21
110	1.04	1.11	1.19
120	1.03	1.10	1.18
130	1.02	1.09	1.17
140	1.01	1.08	1.15
150	1.00	1.07	1.14

### **Incremento de la velocidad del viento encima de colinas y acantilados**

Para estructuras situadas en colinas, terrenos ondulados, acantilados, el incremento de la velocidad del viento sobre colinas y acantilados es un aspecto importante que considerar.

Para el incremento de la velocidad del viento y acantilados el valor de la altura será igual al definido por un terreno llano en la categoría A multiplicado por el factor  $(1+\Delta S_z)^2$  donde  $\Delta S$  es el factor de incremento de la velocidad normativa del viento. Esto se demuestra en la figura. Para ello se aplica la fórmula:

$$C_{h,mod} = C_h \left[ 1 + \Delta S_{z,max} \left( 1 - \frac{|x|}{k_{red} L_H} \right) e^{-\left( \frac{a^* z}{L_H} \right)} \right]^2 \quad (2.3)$$

Donde:

$C_h$ : coeficiente de altura para un terreno llano (categoría A)

$\Delta S_{z,max}$ : factor relativo de incremento de la velocidad en la cresta cerca de la superficie

$a$ : coeficiente de decaimiento del incremento de la velocidad del viento con la altura.

$x$ : distancia (corriente arriba o abajo del viento) medida desde la cresta hasta la fachada del edificio u obra en metros.

$z$ : altura sobre el nivel del terreno local en metros.

Los valores de  $\Delta S_{z,max}$  dependen de la forma y la pendiente de la colina o talud. En la tabla 5 se dan valores representativos máximos del factor relativo de incremento de la velocidad sobre las crestas de las colinas y/o acantilados o taludes. Las definiciones de la altura de la colina  $H$  y de la mitad del ancho de la colina  $L_H$  aparecen dadas en la figura.

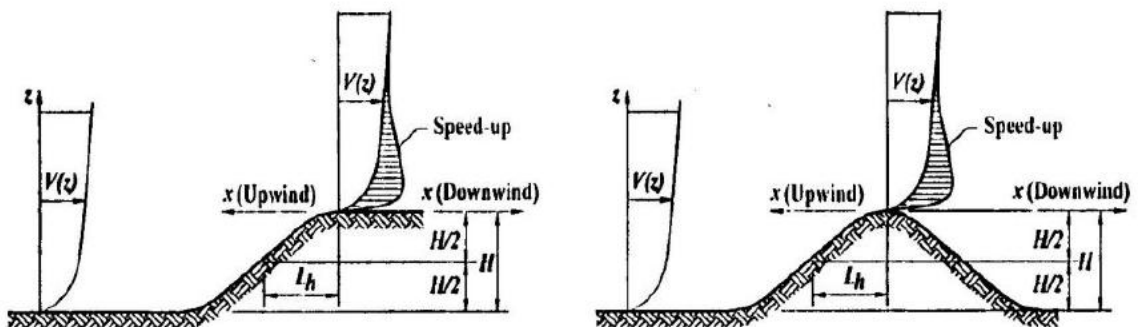


Figura 2.3. Variación del coeficiente de altura en colinas y acantilados (NC-285, 2003)

Se debe señalar que el factor relativo de incremento de la velocidad afecta principalmente a la velocidad normativa del viento y no a sus efectos de turbulencia.

Tabla 2.4 Parámetros que toman en cuenta la forma de las colinas y taludes

Formas de las colinas y taludes	$\Delta S_{z,max}$	a	$k_{red}$	
			X < 0	X > 0
Crestas bidimensionales(o valles con H negativa)(Colina continua)	2 H/L <sub>H</sub>	3	1,5	1,5
Acantilados o taludes bidimensionales	1,8 H/L <sub>H</sub>	2,5	1,5	4
Colinas tridimensionales axial simétricas(Colina aislada)	1,6 H/L <sub>H</sub>	4	1,5	1,5
<b>NOTA:</b> Para H/L <sub>H</sub> > 0,5 se asume H/L <sub>H</sub> = 0,5.				

Concluyendo, la norma cubana solo utiliza tres tipos de terreno para el cálculo de la carga de viento. También propone un coeficiente de altura modificado para el incremento de velocidad en colinas y acantilados solo para terrenos del tipo A o de terreno abierto.

## 2.2 Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones. NCh432.

Esta norma establece la forma en la que debe considerarse la acción del viento. Es aplicada en todos los cálculos de resistencia de todo tipo de construcciones en toda la región chilena excepto el territorio Antártico. A continuación, se exponen los conceptos necesarios para una mejor comprensión de la misma.

**Presión básica:** producto de la presión media por el factor de ráfaga.

**Presión media:** valor medio de la presión del viento, durante una ventisca.

**Ráfaga:** aumento brusco de la velocidad del viento, de muy corta duración.

**Turbulencia:** irregularidad en el escurrimiento del aire.

**Velocidad media del viento:** valor medio de la velocidad del viento durante una ventisca.

**Ventisca:** golpe de viento que dura varios minutos.

**Viscosidad del aire:** rozamiento del aire con el aire.

**Zona de gradiente de presiones:** zona de variación de la presión con la altura.

**Zona de gradiente de velocidades:** zona en que se manifiestan cambios en la velocidad de traslación del aire por efecto de su rozamiento con la superficie de la tierra y por la viscosidad del aire.

**Zonificación:** división de un territorio en zonas de iguales características en relación con la velocidad del viento.

**Efecto del viento**



El efecto del viento se considerará, en general, en los dos ejes principales de una construcción.

En casos especiales la Autoridad Revisora podrá exigir que, además de las direcciones según los ejes principales, se considere el efecto del viento según otras direcciones, por ejemplo, según las diagonales en el caso de torres de reticulados poligonales.

Se considerará, de ordinario, que la acción del viento no perturbada se ejerce horizontalmente.

Para la presión básica del viento se puede aplicar la fórmula:

$$q = \frac{u^2}{16} \quad (2.4)$$

$q$  = es la presión básica, en  $\text{kg/m}^2$ ;

$u$  = es la velocidad máxima instantánea del viento, en m/s.

La velocidad  $u$ , máxima instantánea del viento, que se considerará para el cálculo de la presión básica, deberá obtenerse de una estadística directa o indirecta, que abarque un período no inferior a 20 años y aceptada por la Autoridad Revisora de la norma.

Para establecer la presión a alturas distintas a la que fue medida, se puede usar la ecuación siguiente:

$$p_x = p_h * \left(\frac{x}{h}\right)^{2*\alpha} \quad (2.5)$$

Donde:

$p_x$  = es la presión a la altura  $x$ ;

$h$  = es la altura a que se midió la presión  $p_h$  y

$\alpha$  = el coeficiente de rugosidad, que se toma igual a 0,16 a campo abierto o frente al mar o en condiciones similares y 0,28 en la ciudad o lugares asimilables a la ciudad en cuanto a rugosidad del terreno para los efectos del viento.

La velocidad  $u$ , máxima instantánea del viento, que se considerará para el cálculo de la presión básica, deberá obtenerse de una estadística directa o indirecta, que abarque un período no inferior a 20 años y aceptada por la Autoridad Revisora de la norma.

En caso de no contarse con los valores estadísticos deberá usarse para construcciones de hasta 100m de altura deberá usarse la tabla 2.3

Tabla 2.5 Presión básica para diferentes alturas sobre el suelo (432, 1971(NCh-432, 1971)

Construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable, a juicio de la Autoridad Revisora		Construcciones situadas en campo abierto, ante el mar, o en sitios asimilables a estas condiciones, a juicio de la Autoridad Revisora	
Altura sobre el suelo, m	Presión básica, q, en kg/m <sup>2</sup> *)	Altura sobre el suelo, m	Presión básica, q, en kg/m <sup>2</sup> *)
0	55	0	70
15	75	4	70
20	85	7	95
30	95	10	106
40	103	15	118
50	108	20	126
75	121	30	137
100	131	40	145
150	149	50	151
200	162	75	163
300	186	100	170
		150	182
		200	191
		300	209

La anterior tabla permite la interpolación lineal para valores intermedios

En esta norma existen tres tipos de categorías de terreno los cuales son: campos abiertos o superficies del mar, ciudades o zonas arboladas y centros de grandes ciudades y zonas industrializadas.

Debido al rozamiento de las capas inferiores de aire con la tierra y la viscosidad del aire (rozamiento del aire con el aire) la velocidad  $u$  es menor en las capas inferiores. Se acepta con frecuencia para esta variación de velocidad la expresión exponencial:

$$u_x = u_h \left( \frac{x}{h} \right)^\alpha \quad (2.6)$$

Donde:

$x$  :es la altura a que se mide la velocidad  $u_x$ ;

$h$ : es la altura hasta donde alcanza la "gradiente de velocidad" producida por el rozamiento, o sea, la altura de la zona hasta donde ya no se manifiesta su influencia;

$\alpha$ : es un exponente cuyo valor depende de la rugosidad de suelo.

En campo abierto o superficie del mar puede estimarse, aproximadamente que  $\alpha= 0,16$  y  $h = 280$  m; en las ciudades o zonas arboladas,  $\alpha= 0,28$  y  $h= 400$  m; en el centro de una gran ciudad, con edificación en altura,  $\alpha= 0,40$  y  $h= 500$  m).

Según las normas alemanas (DIN), la presión que ejerce el viento más allá de la zona de influencia del rozamiento es  $P_h = 130 \text{ kg/m}^2$ , lo que equivale a una velocidad media de 45,7 metros por segundo. Se ha examinado los registros que tiene la Armada Nacional desde 1911 y se ha comprobado que la mayor velocidad registrada del viento, ocurrió en Punta Corona, en el Canal de Chacao, donde un anemómetro situado a 48 m de altura sobre el suelo, registró 60 nudos. Esta velocidad, debidamente homologada a la altura límite de la "gradiente", corresponde a 41,3 m/s, lo que concuerda bastante bien con el máximo de 45,7 m/s de las normas DIN.

Combinando las ecuaciones se encuentra el valor de la presión del viento a una altura  $x$  cualquiera, si es conocido su valor a una altura  $h$ , determinada, como sigue:

$$\frac{p_x}{p_h} = \left(\frac{u_x}{u_h}\right)^2 = \left[\left(\frac{x}{h}\right)^\alpha\right]^2 = \left(\frac{x}{h}\right)^{2\alpha}, \text{ por lo tanto:}$$

$$p_x = p_h \left(\frac{x}{h}\right)^{2\alpha} \tag{2.7}$$

Aplicando logaritmos:  $\log p_x = \log p_h + 2\alpha \log\left(\frac{x}{h}\right)$

A continuación, la figura muestra los principales valores de  $p_x$ .

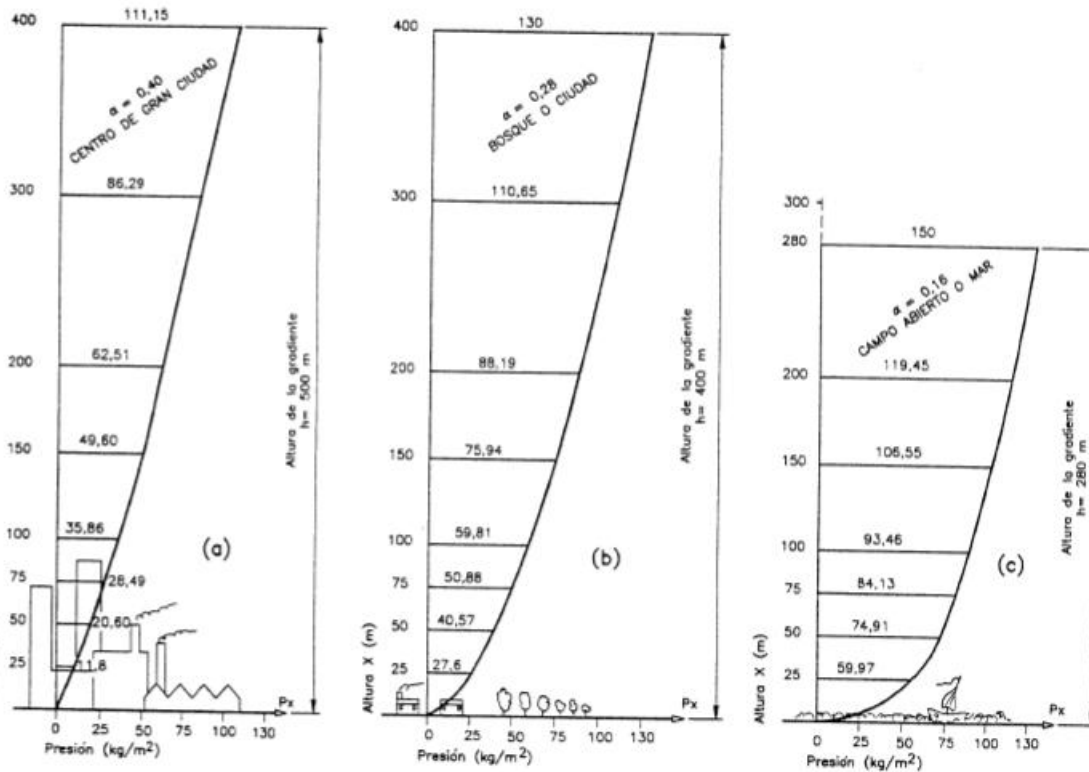


Figura 2.4 Gradiente de presiones para velocidades medias durante una ventisca de 600 s de duraci3n (NCh-432, 1971)

### Ráfagas

Si se producen variaciones bruscas de velocidad, en forma de ráfagas la presi3n máxima queda afectada por un factor "R" de ráfaga, donde su expresi3n es:

$$P_{m\acute{a}x} = R * P_x \tag{2.7.1}$$

Donde:

$$R = 1 + a * b * \sqrt{c + d} \tag{2.8}$$

Donde:

"a" es un factor que expresa, por una parte, en qué proporci3n se aproxima a la resonancia (a la unidad) la relaci3n entre el per3odo propio de vibraci3n de la estructura y el ritmo de repetic3n de las ráfagas sucesivas; y, por otra parte, la influencia que dicha resonancia tiene en la solici3n de la estructura. Como la oportunidad para que se presente un estado de resonancia o próximo a la resonancia es mayor mientras mayor sea la duraci3n de  $\tau$  de la ventisca, el factor "a" crece con  $\tau$ . Adem3s, como el n3mero de

impulsos resonantes que se acumulan durante la ventisca es mayor si el período  $\tau$  de resonancia es menor, el factor "a" decrece con los valores crecientes de T. Resulta así que

"a" es una función  $\frac{\tau}{T}$  que queda representada por una curva como la

"b" es un factor de forma de la "gradiente" de presiones y depende de la rugosidad del suelo y la altura H del edificio. Valores de "b" obtenidos en la misma forma que los de "a"

"c" es un factor que depende, también, de la altura H del edificio y se relaciona con la proporción de la gradiente que abarca H, ya que de esa proporción dependerá cuanto afecten al edificio las irregularidades que siempre se presentan en dicha gradiente. Su expresión es:

$$d = \frac{S * E}{\beta} \quad (2.9)$$

### **2.3 Ingeniería Estructural de viento. Topografía del terreno**

La topografía del terreno tiene un efecto considerable sobre las ráfagas y velocidades medias del viento. Principalmente es notable en la aceleración del flujo sobre las crestas de las colinas. La topografía también puede causar efectos de refugio sobre valles y en los lees de colinas o cumbres. Escarpas, lomas y valles son puntos topográficos comúnmente usados, entre los cuales las colinas y escarpas son aplicados en la ingeniería de viento usualmente. Numerosos estudios sobre el flujo de la capa límite sobre la topografía se han llevado a cabo. En disímiles códigos y normativas se define el factor topográfico como la relación entre las características de la velocidad del viento a determinada altura sobre un terreno especial y la velocidad del viento a determinada altura  $z$  sobre la parte plana del terreno.

La figura muestra la proporción de la aceleración de velocidad básica del viento sobre una loma obtenida por un ensayo de túnel de viento usando una prueba de Split-fiber. La proporción de incremento de la velocidad del viento es mayor en la cresta cerca del

terreno y se reduce a una mayor altitud y distancia desde la cresta. Esta es una típica característica del flujo sobre una loma.

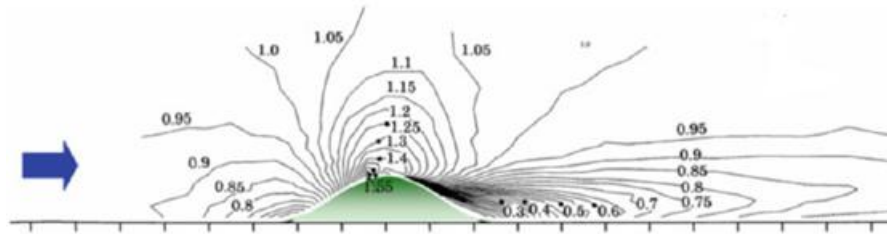


Figura 2.5 Efectos topográficos de una colina (Tamura, 2013)

Para escarpas poco profundas y lomas teniendo un aire en ascenso con ángulo menor de  $17^\circ$  con flujo normal sobre la superficie principal el flujo primero desacelera desde la velocidad más cercana al mínimo valor cerca del aire ascendente del pie de la pendiente. Después este acelera a un máximo cerca de la cresta, entonces desacelera otra vez el aire descendente de la cresta.

Para escarpas y lomas teniendo un aire en ascenso con ángulo mayor de  $17^\circ$  el flujo separa contra el viento la cara de la pendiente y en la dirección de la cresta del viento, formando burbujas de separaciones como se muestra en la figura. Los efectos de rugosidad de terreno y rugosidad de superficie de las propias características también son reconocidos.

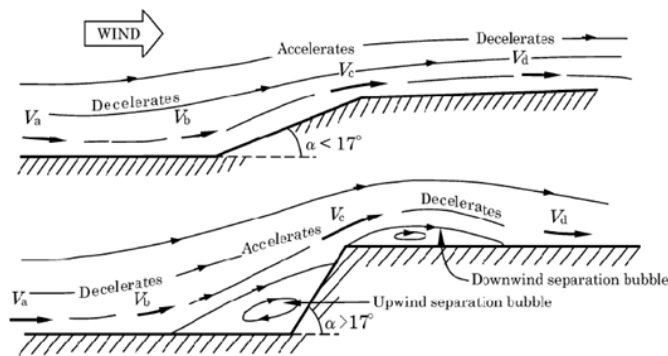


Figura 2.6 Flujo del viento sobre acantilados (Cook, 1985)

Los efectos de la topografía se observan también en la turbulencia y distorsionan la forma del espectro turbulento.

## 2.4 Fuerzas debido al viento en edificaciones. NBR-6123

La norma brasileña fija las condiciones necesarias para considerar las fuerzas debido a la acción estática y dinámica del viento para el cálculo de edificaciones. Esta norma no es aplicable a casos fuera de los comunes, es decir, solo los que están contenidos en ella. Para situaciones obtenidas en túneles de viento los coeficientes de la norma serán cambiados por los obtenidos en dichas pruebas. Para una mejor definición de la misma se dan, a continuación, algunos conceptos fundamentales tratados por la norma.

**Sotavento:** Región opuesta a aquella de donde sopla el viento en relación con la edificación.

**Succión:** Presión efectiva debajo de la presión atmosférica de referencia.

**Viento básico:** Viento que corresponde a la velocidad básica.

**Viento de alta turbulencia:** Una edificación puede ser considerada en vientos de alta turbulencia cuando su altura no excede 2 veces la altura de las edificaciones vecinas, extendiéndose estas en la dirección y sentido del viento incidente a una distancia mínima de:

- 500m para una edificación de hasta 40m de altura
- 1000m para una edificación de hasta 55m de altura
- 2000m para una edificación de hasta 70m de altura
- 3000m para una edificación de hasta 80m de altura

**Viento de baja turbulencia:** Viento que se verifica en todos los demás casos.

**La velocidad básica del viento** es una velocidad de una racha de 3 segundos que puede ser excedida en una vez aproximadamente cada 50 años. A 10 metros sobre el terreno en un campo plano y abierto. Como regla general es admitido que el viento puede soplar en cualquier dirección. En caso de dudas, en cuanto a la selección de velocidades en obras de gran importancia se deben realizar estudios específicos de las velocidades para su determinación. En estos casos, pueden ser consideradas direcciones preferenciales para el viento básico con su debida justificación.

La fuerza del viento sobre una estructura está dada por la expresión:

$$q=0.613*V_k^2 \quad (2.10)$$

Donde:

q: es la presión dinámica

$V_k$ : viene determinada por la expresión:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \text{ Ecuación (2.11)}$$

donde

$V_0$ : es la velocidad básica del viento

$S_1$ : Factor topográfico

$S_2$ : Factor que tiene en cuenta la rugosidad de terreno

$S_3$ : Factor basado en conocimientos probabilísticos

Factor topográfico  $S_1$ .

El factor topográfico  $S_1$  toma en consideración las variaciones del relieve del terreno y es determinado de la siguiente forma:

1. Terreno plano o poco accidentado.
2. Taludes y colinas.

Los taludes y colinas elevados pueden admitir un flujo en el sentido indicado en la figura 2.7.

En el punto A (acantilados) y en los puntos A y C (colinas):

$$S_1 = 1.0$$

En el punto B: [ $S_1$  es una función  $S_1(z)$ ]:

$$\theta \leq 3^\circ, S_1(z) = 1.0$$

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ: S_1 = 1.0 +$$

$$+ \left( 2.5 - \frac{z}{d} \right) \text{tg}(\theta - 3) \geq 1 + \quad (2.11)$$

$$+ \left( 2.5 - \frac{z}{d} \right) 0.31 \geq 1 \quad (2.12)$$

[Interpolar linealmente para  $3^\circ < \theta < 6^\circ < 17^\circ < \theta < 45^\circ$ ]

Donde:

z = Altura medida a partir de la superficie del terreno en un punto considerado.

d = Diferencia de nivel entre la base y el tope de la colina o el acantilado.

$\theta$  = inclinación media de la pendiente de la colina o en contra al acantilado.



Nota: Entre A y B y entre B y C el factor  $S_1$  es obtenido por interpolación

3. Para los valles profundos, protegidos de vientos de cualquier dirección  $S_1=0.9$ .

Los valores indicados en la sección anterior constituyen una aproximación básica y deben ser usados con precaución.

En caso de ser necesario un conocimiento más preciso de la influencia del relieve se le podrá aplicar los resultados obtenidos en ensayos de modelos topográficos en túneles de viento o las medidas del anemómetro obtenidas en el terreno.

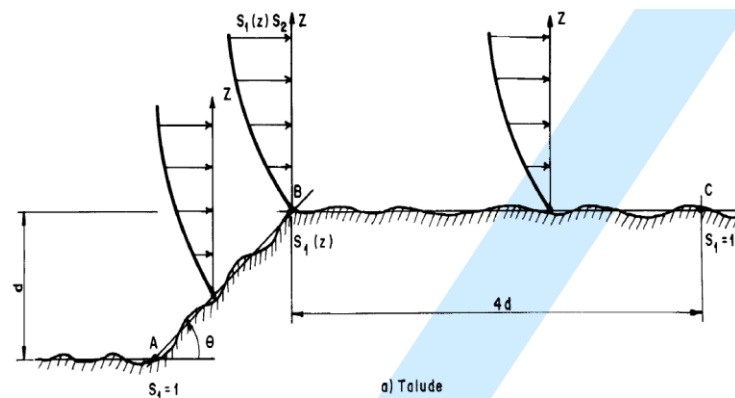


Figura 2.7a. Incidencia del viento en una colina. (NBR6123, 1988)

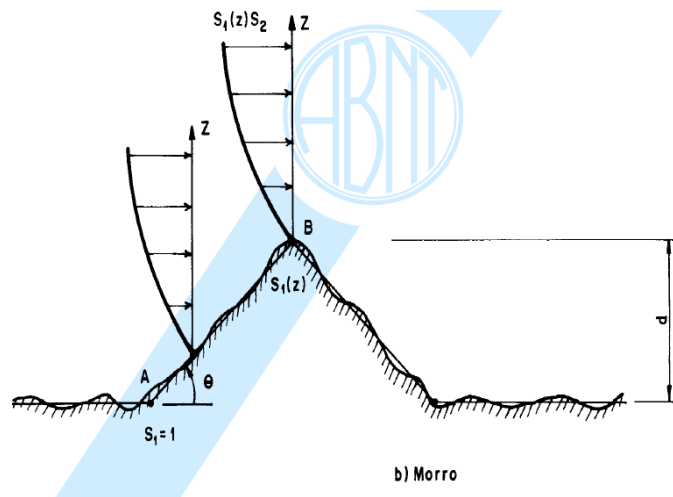


Figura 2.7 b). Incidencia del viento en un acantilado. (NBR6123, 1988)

Rugosidad del terreno, dimensiones de la edificación y altura sobre el terreno. Factor  $S_2$ .

El valor  $S_2$  considera el efecto combinado de la rugosidad del terreno, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el terreno y las dimensiones de la edificación. En

vientos fuertes, en estabilidad neutra, la velocidad del viento aumenta con la altura sobre el terreno. Este aumento depende de la rugosidad del terreno y del intervalo de tiempo considerando la influencia de la velocidad. Este intervalo de tiempo está relacionado con las dimensiones de la edificación, para edificaciones pequeñas y elementos de edificaciones son más afectados por rachas de cortas duración que grandes edificaciones. Para estas es más adecuado considerar el viento medio calculado con un intervalo de tiempo mayor.

Para los fines de esta norma la rugosidad del terreno es clasificada en cinco categorías.

Categoría 1: Superficies lisas de grandes dimensiones con más de 5km de extensión medida en la dirección del viento incidente. Ejemplos: mar en calma, lagos y ríos y pantanos sin vegetación.

Categoría 2: Terrenos abiertos con pocos obstáculos aislados tales como árboles y edificaciones bajas. Ejemplos: zonas costeras, campos con vegetación alta. La cota media del tope de los obstáculos es igual a 1m o inferior a 1m.

Categoría 3: Terrenos planos u ondulados con obstáculos tales como edificaciones de baja altura esparcidas, pocos árboles para obstaculizar el efecto del viento. Ejemplos: casas de campo con excepción de las partes con matas, suburbios con distancia considerable del centro con casa bajas. La cota media del tope de dos obstáculos es igual a 3m.

Categoría 4: Terrenos cubiertos por obstáculos numerosos y poco espaciados en zonas forestales, industrial o urbanizada. Ejemplos: zonas de parques y bosques con muchos árboles, ciudades pequeñas y sus alrededores, suburbios densamente construidos de grandes ciudades, áreas industriales total o parcialmente.

La cota medida al tope de dos obstáculos se considera igual a 10m. Esta categoría también incluye zonas con obstáculos mayores que no son considerados en la categoría 5.

Categoría 5: Terrenos cubiertos por obstáculos numerosos, grandes, altos y pocos espaciados. Ejemplos: bosques con árboles altos de copas aisladas, centro de grandes ciudades, complejos industriales bien distribuidos. La cota medida del tope de dos obstáculos es igual o superior de 25m.

Dimensiones de edificación: Las direcciones del viento varían constantemente y su valor medio puede ser calculado mediante cualquier intervalo de tiempo. Se ha verificado que

el intervalo de tiempo más corto de las medidas usadas (3s) corresponde a rachas cuyas dimensiones involucran obstáculos de hasta 20m en la dirección del viento.

Cuanto mayor es el intervalo de tiempo usado en el cálculo de la velocidad media mayor será la distancia incluida para la racha.

Para la definición de las partes de la edificación es necesario considerar las acciones del viento y es necesario también considerar las características constructivas o estructurales que originan poca o ninguna continuidad estructural a lo largo de la edificación tales como:

- Edificaciones con juntas que separen a la estructura en dos o más partes estructuralmente independientes.
- Edificaciones con poca rigidez en la dirección perpendicular a la dirección del viento y por eso con poca capacidad de distribución de cargas.

Se escogieron las siguientes clases de edificaciones, partes de edificaciones y sus elementos con intervalos de tiempo para el cálculo de velocidad media, respectivamente de 3s, 5s y 10s:

Clase A: Todas las unidades de ventilación, sus elementos de fijación y piezas individuales de estructuras sin ventilación. Toda edificación en la cual la mayor distancia horizontal o vertical no exceda los 20m.

Clase B: Toda la edificación o parte de la edificación para la cual la mayor dimensión horizontal o vertical de la superficie esté entera esté entre 20m y 50m.

Clase C: Toda la edificación o parte de la edificación para la cual la mayor dimensión horizontal o vertical de la superficie frontal exceda los 50m.

Para toda la edificación o parte de la edificación para la cual la mayor dimensión horizontal o vertical de la superficie frontal exceda los 80m.

Altura sobre el terreno: El factor  $S_2$  usado en el cálculo de las velocidades de viento para una altura  $Z$  encima del nivel general del terreno es obtenido por la expresión:

$$S_2 = b * Fr * \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (2.13)$$

Siendo  $Fr$  el factor de ráfaga, y siempre corresponde a la categoría 2. La expresión aplicada también a la altura  $z_g$  define el límite superior de la capa límite atmosférica;  $b$  la menor dimensión de una edificación y  $p$  el exponente de variación del factor  $S_2$ .

Los parámetros que permiten determinar  $S_2$  para las diversas categorías de rugosidad del terreno y las clases de dimensiones de las edificaciones en esta norma son dados por la tabla 2 de la norma.

Para el estudio de los elementos de ventilación es importante usar el factor  $S_2$  correspondiente al tope de la edificación. Esta recomendación está basada en el hecho de que la fachada de barlovento y las fachadas laterales del viento son empujadas hacia abajo. Con el consecuente aumento de presión de presión dinámica en la parte inferior de la edificación. Para la misma razón el factor  $S_2$  es considerado constante hasta 10 m de altura en la categoría 5

## **2.5 ISO 4354:2009. “Acción del viento en estructuras”**

La ISO (International Organization for Standardization) u Organización Internacional para Estandarización 4354:2009 en español, describe la acción del viento en estructuras y especifica métodos de cálculo para valores característicos de cargas de vientos para el uso en el diseño de edificios, chimeneas, torres, puentes y otras estructuras según sus componentes y apéndices. Las cargas son apropiadas para el uso en conjunción con la ISO 2394 y otros estándares internacionales que usen cargas de viento. Esta norma facilita la conversión entre los valores máximos y básicos de las velocidades del viento. Además, trata los tres principales tipos de tormentas. Vientos sinópticos, tormentas eléctricas y ciclones tropicales (huracanes y tifones).

Esta norma internacional provee los métodos básicos para los cuales determinar las cargas de viento analíticamente a través de la determinación de presiones de diseño o fuerzas de viento longitudinales a la estructura y fuerzas de vientos transversales a la estructura y momentos para estructuras de forma simple y efectos de la direccionalidad del viento. También sirve para túneles de viento o para la determinación computacional de presiones, fuerzas y momentos para estructuras con formas complejas y el efecto de la dirección del viento resultando complejas combinaciones de fuerzas y momentos.

Dos métodos para la determinación analítica de diseño son dados en esta Norma Internacional basados en un pico o máximo de velocidad y los otros en la velocidad básica. Ambos métodos pueden ser usados cuando las respuestas a los efectos son

importantes y cuando no son solamente importantes los picos de velocidad usados en la norma, tomando como el máximo factor dinámico como 1.

Efectos del viento que deben considerarse en el diseño de las estructuras y que pueden producir daños tales como:

- Fuerzas excesivas en la estructura o inestabilidad en la estructura o en sus miembros estructurales o elementos.
- Flexión excesiva o distorsión de la estructura de sus elementos
- Fuerzas dinámicas repetidas causando fatiga de elementos estructurales

La ecuación principal para el cálculo de la carga de viento es:

$$F = q_{site} * C_f * C_{din} * A_{ref} \quad (2.14)$$

Donde:

F: Fuerza del viento

$q_{site}$ : coeficiente de presiones máximas del sitio

$C_{din}$ : factor de máxima respuesta dinámica

$C_f$ : coeficiente de fuerza

$A_{ref}$ : Área de referencia para la fuerza sobre toda la estructura o parte de ella

La referencia de la velocidad de viento es normalmente el valor especificado de la velocidad de viento para el área geográfica en la cual la estructura está localizada. Esto se refiere a una exposición estándar (rugosidad, altura y topografía), tiempo de promedio y probabilidad de excedencia en un año (el cual puede ser por un tiempo de retorno promedio como es requerido desde el estado de servicio a la determinación del estado limite). En algunas situaciones la referencia de la velocidad del viento puede ser especificada según varía su dirección. Según los anexos de la norma el valor estándar de exposición es a 10 m de altura en terreno abierto y  $q_{ref}$  está basado en un máximo de 10 min, la velocidad básica es  $V_{ref}$ , m.

Principales valores de exposición:

Los principales valores de exposición,  $C_{exp}$  relacionados a la velocidad básica del viento ocurre debido a la variabilidad de la velocidad básica del viento y del sitio donde está la estructura para cada tipo de tormenta debido a:

- La altura sobre el terreno

- La rugosidad del terreno (incluidos cambios de rugosidad)
- La topografía

-Perfiles de viento sobre terreno llano.

Los valores de la rugosidad de terreno y los factores de exposición a la altitud serán dados para tres tipos de tormenta, junto con valores de intensidad de turbulencia.

-Perfiles de tormenta sinóptica.

Tormenta sinóptica a cada hora significa perfiles de velocidad de viento e intensidad de turbulencia para cuatro categorías de rugosidad de terreno será definidas por la siguiente ley y relación logarítmica para ajustar valores de longitud de  $z_0 = 0,003; 0,03; 0,3$  y  $3,0$  m; son definidos como terreno rugoso de categorías 1; 2; 3 y 4 respectivamente, y un gradiente de altitud ( $z_g$ ) a cada hora significa velocidad de viento de  $50 \text{ ms}^{-1}$ .

$$V_{v,z,T=3600s} = \frac{u_*}{0.4} * \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) + 5.75\left(\frac{z}{z_g}\right) - 1.88\left(\frac{z}{z_g}\right)^2 - 1.33\left(\frac{z}{z_g}\right)^3 + 0.25\left(\frac{z}{z_g}\right)^4 \right] \quad (2.15)$$

Donde:

$$z_g = \frac{u_*}{6f} \quad (2.16)$$

$$\sigma_v = \frac{7.5\eta u_* \left[ 0.538 + 0.09 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right]^{\eta^{16}}}{1 + 0.156 \ln\left(\frac{u_*}{fz_0}\right)} \quad (2.17)$$

$$\eta = 1 - \left( \frac{6fz}{u_*} \right) \quad (2.18)$$

$$f = 2\Omega \sin\theta \quad (2.19)$$

Donde:

$\varphi$ : latitud

$\Omega$ : es la velocidad angular de la rotación de la tierra ( $72,9 \times 10^6$  radianes/s)

$u^*$ : es la velocidad friccional

$$I_{v,z} = \frac{\sigma_{v,z}}{V_{z,T=3600}} \quad (2.20)$$

(i.e., intensidad de turbulencia a cada hora, velocidad básica de viento en una locación específica de altitud y rugosidad del terreno)

$$V_{Tr,z,T=3s} = V_{z,T=3600} \left( 1 + 3.0 I_{v,z} \right) \quad (2.21)$$

$$V_{Tr,z,T=600s} = V_{z,T=3600} \left( 1 + 0.28 I_{v,z} \right) \quad (2.22)$$

Valores de  $z_0$  para varias condiciones de rugosidad de terreno. Figura 2.6

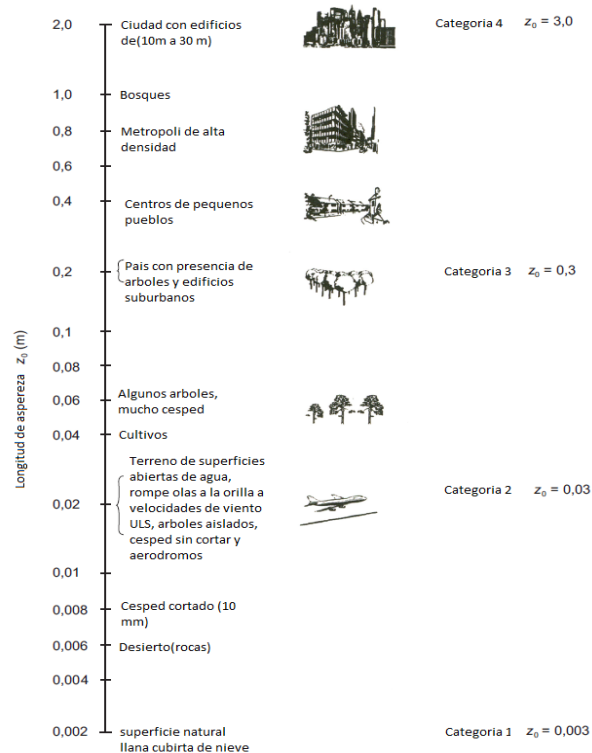


Figura 2.8. Rugosidad de terreno. (International Organization for Standardization, 2009)

Algunas evaluaciones de la rugosidad del terreno, factores de exposición a la altitud e intensidades de turbulencia para perfiles son dadas en la figura 2.8 para una latitud de 40°. Las evaluaciones de los perfiles de velocidad media del viento fueron llevadas para  $T=3600$  s y después convertido al tiempo de referencia pico y medio usado en este

estándar internacional de T= 3 s y T= 600 s, respectivamente. Además, debido al método de cálculo usado, los factores de rugosidad de terreno y exposición a la altitud expuestos en la tabla están todos dados como una proporción con el pico de referencia velocidad de viento Vref, que es para T= 3s, con z= 10m en país de terreno abierto, como se da en las ecuaciones siguientes.

$$k_{tr,z} = \frac{V_{tr,z}}{V_{ref}} \quad (2.23)$$

$$k_{tr,z,m} = \frac{V_{tr,z,m}}{V_{ref}} \quad (2.24)$$

$$k_{tr,z,T=3600s} = \frac{V_{tr,z,T=3600s}}{V_{ref}} \quad (2.25)$$

Donde, como está especificado en este estándar internacional cualquier parámetro para un tiempo medio, T, es un valor pico para T = 3s.

Si los factores medios de rugosidad del terreno y exposición a la altitud son requeridos, estos pueden ser obtenidos de la proporción (razón) de los factores en la tabla c.1, con los factores T=600 s o T=3600 s y z= 10 m es apropiado para país de terreno abierto.

El perfil de ley logarítmica puede ser aproximado por perfiles exponenciales con solo una categoría para terreno rugoso siendo el exponente del perfil exponencial, β, como en la siguiente ecuación.

$$V_{tr,z} = V_{tr,z} = 10m \left( \frac{z}{10} \right)^\beta \text{ y } V_{tr,z,m} = V_{tr,z} = 10m, m \left( \frac{z}{10} \right)^{\beta m} \quad (2.26)$$

Los valores para β y βm fueron ajustados entre 10m y 200 m y están representados en la tabla 2.6.

*Tabla 2.6 Rugosidad de terreno y coeficiente de exposición de altura, ktr, perfiles de intensidad de turbulencia para cuatro categorías de terreno sobre un terreno llano para tormentas sinópticas para θ =40°. (International Organization for Standardization, 2009)*

Categorías de rugosidad de	Características
----------------------------	-----------------



<i>terreno</i>					
	<i>Altura m</i>	$K_{tr, z}$ $T=(3s)$	$K_{tr, z, m}$ $T=(600s)$	$K_{tr, z}$ $T=(3600s)$	<i>Intensidad de Turbulencia. <math>I_{v, z, T=3600}</math></i>
<i>1- Superficia e a mar abierto <math>Z_0=</math> <math>0,003m</math></i>	3	0,97	0,70	0,67	0,148
	5	1,03	0,75	0,72	0,142
	10	1,11	0,82	0,79	0,135
	20	1,19	0,89	0,86	0,127
	50	1,28	0,99	0,96	0,112
	100	1,33	1,07	1,04	0,095
	200	1,39	1,15	1,13	0,076
	500	1,49	1,31	1,29	0,052
	1000	1,58	1,46	1,44	0,032
	$\beta$	----	$\beta$ $=0,074$	$\beta_m=0,113$	$\beta_T$ $=_{3600}=0,120$
<i>2-Mar abierto en condicio nes de estado limite elemenal . <math>Z_0=0,03</math> <math>m</math></i>	3	0,83	0,55	0,52	0,203
	5	0,90	0,61	0,58	0,191
	10	1,00	0,69	0,655	0,178
	20	1,10	0,77	0,73	0,165
	50	1,21	0,88	0,85	0,147
	100	1,29	0,97	0,94	0,128
	200	1,36	1,07	1,04	0,106
	500	1,48	1,23	1,21	0,074
	1000	1,58	1,40	1,38	0,048
	$\beta$	==	$\beta$ $=0,103$	$\beta_m=0,147$	$\beta$ $T=3600=0,154$
<i>3- Suburba</i>	3	0,84	---	---	

<i>no.</i> $Z_0=0,3m$					
	5	0,84	0,40	0,37	---
	10	0,84	0,50	0,47	0,311
	20	0,96	0,60	0,56	0,269
	50	1,12	0,73	0,69	0,208
	100	1,23	0,83	0,79	0,184
	200	1,33	0,95	0,91	0,156
	500	1,47	1,13	1,10	0,111
	1000	1,58	1,32	1,29	0,075
$\beta$	==	$B=0,152$	$B_m=0,214$	$B_{T=3600}=0,22$ 0	----
4- Urbano. $Z_0=3,0$ m	3	0,59	----	----	----
	5	0,59	----	----	----
	10	0,59	0,23	0,21	0,677
	20	0,74	0,35	0,31	0,473
	50	0,95	0,51	0,46	0,355
	100	1,12	0,64	0,59	0,302
	200	1,27	0,77	0,72	0,254
	500	1,46	0,99	0,94	0,184
	1000	1,59	1,20	1,16	0,126
$\beta$	----	$\beta = \beta_m=0,403$ 0,256	$\beta_{T=3600}=0,428$	-----	

-Perfiles de ciclones tropicales.

La investigación a los perfiles de velocidad de viento para ciclones tropicales (tifones o huracanes) ha producido una amplia y diversa cantidad de resultados en las últimas décadas. Una revisión reciente ha revelado que no existe suficiente evidencia para usar otra que el perfil de ley logarítmica cercano al suelo (sobre 500 hasta 1000m). Por lo tanto, se recomienda que en la categoría 2 de rugosidad de terreno dada sea utilizada para ciclones tropicales.

Las mediciones han mostrado episodios de valores relativamente altos de intensidad de turbulencia implantados por ciclones tropicales récord. En particular, los componentes verticales relativos a los componentes longitudinales son significativamente más altos que para un flujo neutral de la capa límite. Durante estos episodios hay evidencia que el

incremento de energía ocurre en el rango inercial, por lo tanto, el factor medio de tiempo dado en la tabla b.1 no es aplicable en estos episodios.

-Perfiles de tormentas eléctricas.

Mientras las características generales de las tormentas eléctricas son bien conocidas, la medición de perfiles de datos es muy escasa. Las mediciones y algunas informaciones no publicadas han permitido un enfoque preliminar de pico de velocidades de viento para ser desarrollada por este estándar internacional, pero más información, tal como la que está siendo colectada actualmente en la universidad técnica de Texas, será importante para continuar la validación, un estudio del perfil de pico de velocidad de viento para tormentas eléctricas, está dado por la ecuación siguiente:

$$k_{tr,zm\acute{a}x} = 0.821 + 7.55 * 10^{-4} z - 6.75 * 10^{-6} z^2 + 1.06 * 10^{-8} z^3 - 4.97 * 10^{-12} z^4 + 0.079 \ln(z - 1.4) \quad (2.27)$$

Una evaluación de este perfil envolvente está dada en la tabla 2.7. Solo las intensidades de turbulencia de tormentas sinópticas para terreno apropiado están disponibles.

*Tabla 2.7 Rugosidad de terreno y coeficiente de exposición de altura,  $k_{tr}$  para tres categorías de terreno para tormentas eléctricas. (International Organization for Standardization, 2009)*

<i>Categorías de rugosidad de terreno.</i>	<i>Altura Z (m)</i>	<i><math>K_{tr, z}</math></i>
<i>1,2 y 3 Mar abierto, área rural y suburbano</i>	<i>3</i>	<i>0,86</i>
	<i>5</i>	<i>0,93</i>
	<i>10</i>	<i>1,00</i>
	<i>20</i>	<i>1,06</i>
	<i>50</i>	<i>1,15</i>
	<i>100</i>	<i>1,20</i>
	<i>200</i>	<i>1,20</i>
	<i>500</i>	<i>1,02</i>
	<i>1000</i>	<i>1,00</i>

Para ambientes de tormentas eléctricas las velocidades máximas de viento son relevantes para la determinación de designar velocidades de viento. El uso de velocidades de viento pico para la determinación de designar cargas estará recomendada, aunque un enfoque artificial de velocidades de viento media puede ser usada para análisis dinámico. Está

registrado que en muchos casos para estructuras altas los datos de tormentas eléctricas pueden solo controlar el estado límite extremo de las cargas diseñadas y a niveles de servicio los vientos de tormenta sinóptica son probablemente para controlar.

-Espectro de turbulencia y longitud de escala.

-Espectro de turbulencia.

La expresión más comúnmente usada para el espectro longitudinal de turbulencia es la de von Karman, que es también generalmente usada como aproximación en términos de velocidad de viento y está dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{fS_v}{\sigma_v^2} = \frac{4 \left( \frac{fL_v}{V_m} \right)}{\left[ 1 + 70.8 \left( \frac{fL_v}{V_m} \right)^2 \right]^{\frac{5}{6}}} \quad (2.28)$$

Donde:

*F*: es la frecuencia

*S<sub>v</sub>*: es el espectro longitudinal de turbulencia en términos de velocidad de viento.

*L<sub>v</sub>*: es la integral longitudinal

*V<sub>m</sub>*: es la velocidad de viento media

*σ<sub>v</sub>*: es la desviación estándar de velocidad de viento

- Integral de longitud de escala de turbulencia.

La determinación de la integral de longitud de escala de turbulencia es muy compleja, pero para cálculos ingenieriles de viento es posible para un aproximado conveniente usando la siguiente ecuación.

$$L_v = 100 \left( \frac{z}{30} \right)^{0.5} \quad (2.29)$$

Donde:

*L<sub>v</sub>* : es la integral de longitud, en metros

*Z* : es la altitud sobre el suelo; en metros

-Efectos topográficos y orográficos.

Para estructuras en colina, terreno ondulado, la aceleración de la velocidad del viento sobre colinas y escarpado es una consideración importante. Dos “multiplicadores topográficos” pueden ser definidos a seguir para la media y el pico de velocidad de viento por sobre características a pequeña escala.

$K_{top}$ =(valor máximo de velocidad a una altura  $z$  sobre el terreno/ valor máximo de velocidad a una altura  $z$  en contra del viento sobre un terreno llano)

$K_{top,m}$ =(velocidad básica del viento a una altura  $z$  sobre el terreno/velocidad básica del viento a una altura  $z$  en contra del viento sobre un terreno llano)

Para un sitio en particular, valores de estos multiplicadores topográficos pueden ser obtenidos por un apropiado modelo de pruebas túnel conductor de viento o mediante cálculos numéricos. Para situaciones donde esto no es posible, puede ser obtenidos por las siguientes ecuaciones.

$$k_{top} = 1 + \frac{V_{ref,m}}{V_{ref}} k_1 \Psi s(x, z) \quad (2.30)$$

$$k_{top} = 1 + k_1 \Psi s(x, z) \quad (2.31)$$

En estas ecuaciones,  $\psi$  es la inclinación de la colina ( $H/ 2LH$ ) donde  $H$  es la altura de inclinación de la característica y  $L_H$  es la longitud de la inclinación (ver figura);  $k_1$  se da en la tabla C.5 y la función  $s(x,z)$  es calculada por la siguiente ecuación:

$$s(x, z) = 1 - \frac{|x|}{k_2 L_H} e^{-k_3 \frac{z}{L_H}} \quad (2.32)$$

$k_2$  y  $k_3$  se dan en la tabla 2.8

$L_H$  es la distancia horizontal contra el viento de la cresta de la colina o el escarpado a el nivel de la mitad de la altura debajo de la cresta.

Tabla 2.8

	$K_1$	$K_2$		$K_3$
		$X < 0$	$X > 0$	
<i>Cordillera de dos</i>	4,4	0,75	0,75	1,5

<i>dimensiones</i>				
<i>Acantilado de dos dimensiones</i>	3,6	0,75	2	1,25
<i>Colinas asimétricas con tres dimensiones</i>	3,2	0,75	0,75	0,8
<p><i>NOTA 1 para inclinaciones de menos de 0,05 los efectos topográficos pueden ser ignorados y los multiplicadores topográficos pueden tomarse como 1,0.</i></p> <p><i>NOTA 2 una la inclinación contra el viento de una colina o acantilado alcanza un valor cercano a 0,3(cerca de 17 grados), la separación ocurre en la cara contra el viento y los valores por encima, no siguen aplicando. Sin embargo, para inclinaciones entre 0,3 y 1 (17 a 45 grados), la burbuja de separación la inclinación contra el viento causa una inclinación efectiva al viento que es relativamente constante. El multiplicador topográfico, en o cerca de la cresta, es también bastante constante con la inclinación contra el viento en ese rango. Así para este rango de inclinación la inclinación actual, puede ser remplazado por una inclinación efectiva igual cerca de 0,3.</i></p>				

Note que el multiplicador para la velocidad pico es más bajo que para la media, como el efecto de topografía es en primer lugar para acelerar el flujo componente medio de la velocidad.

En adición a la velocidad del viento por encima de características topográficas a pequeña escala, variaciones en velocidad de viento pueden ser causadas por los efectos de características orográficas a gran escala. Multiplicadores orográficos pueden ser definidos de la misma forma que los multiplicadores topográficos como sigue:

$$K_{\text{orog}} = \left( \frac{\text{máximo valor de velocidad a una altura } z, \text{ sobre la orografía}}{\text{máximo valor de la velocidad a una altura, } z, \text{ en ausencia de la orografía}} \right) \quad (2.33)$$

$$K_{\text{orog,m}} = \left( \frac{\text{velocidad básica a una altura } z, \text{ sobre la orografía}}{\text{velocidad básica a una altura, } z, \text{ en ausencia de la orografía}} \right) \quad (2.34)$$

Estos multiplicadores topográficos son normalmente dominados por condiciones locales, y son mejor obtenidos de medición a gran escala o de cálculos meteorológicos a meso escala numérica. Si tal información no está disponible, estos multiplicadores deben asumir valor de 1,0.

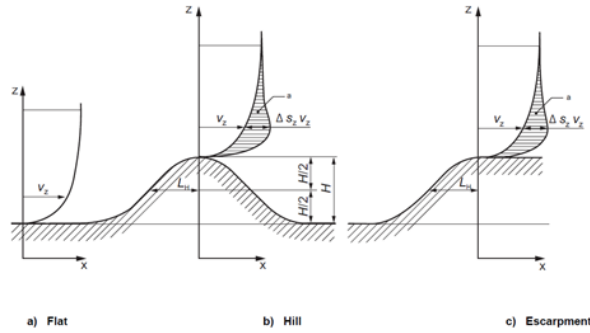


Figura 2.9 Variación del incremento de la velocidad en terrenos llanos, colinas y acantilados. (International Organization for Standardization, 2009)

## 2.6 Acciones del diseño estructural. Parte 2: Acción del viento.

La norma australiana-neozelandesa tiene como objetivo fundamental proveer las acciones del viento para el uso en el diseño de las estructuras sometidas a las mismas. En esta se da un procedimiento detallado para la determinación de las acciones del viento en las estructuras, que va desde las menos sensitivas hasta aquellas en las que las respuestas dinámicas deben ser tomadas en cuenta.

Las velocidades del viento están basadas en registros existentes. No son tomadas en cuenta las velocidades de viento en un futuro debido al cambio climático.

La velocidad del viento está determinada según el sitio de exposición de la estructura. Para ello se tiene en cuenta la siguiente ecuación en la que se describen los parámetros fundamentales para la determinación de la carga de viento:

$$V_{sit\beta} = V_r * M_d * M_{z,cat} * M_s * M_t, \quad (2.35)$$

donde:

$V_{sit\beta}$  : Velocidad del sitio del viento

$V_r$  = Ráfagas en la región para 3s, en metros por segundos, para probabilidades anuales de excedencia de 1/R

$M_d$  : Multiplicador de la acción del viento para las direcciones cardinales

$M_s$  : Multiplicador de seguridad

$M_t$  : Multiplicador topográfico

$M_{z,cat}$  : Multiplicador de terreno/altura

-Definición de la categoría de terreno

El terreno, sobre cual el viento se aproxima, fluye hacia una estructura, debe ser evaluado sobre las bases de las siguientes descripciones de categorías.

- (a) Categoría 1—Terreno abierto expuesto, con pocas o ninguna obstrucción y superficies de agua útiles velocidades de viento.
- (b) Categoría 2—Superficies de agua, terreno abierto, pradera con algunas, obstrucciones bien dispersas teniendo alturas generalmente de 1,5 a 10 m.
- (c) Categoría 3—Terreno con numerosos cercanamente espaciadas obstrucciones de 3m a 5 m de altura, tales como áreas de viviendas suburbanas.
- (d) Categoría 4—Terreno con numerosos, largos, altos (10m a 30m de altura) y cercanamente espaciadas obstrucciones, tal como grandes ciudades, centros y complejos industriales bien desarrollados.

La selección de la categoría debe hacerse debidamente considerando la permanencia de las obstrucciones que constituyan la superficie rugosa. En particular, la vegetación en zonas de ciclones tropicales, no se debe confiar en mantener la rugosidad de la superficie durante eventos de viento.

-Determinación del multiplicador terreno/altura. ( $M_z, cat$ )

La variación con altitud ( $z$ ) del efecto de rugosidad de terreno en velocidad de viento (multiplicador de altitud de terreno y estructura ( $M_z, cat$ )) deben ser tomados de los valores para perfiles completamente desarrollados dados en la tabla 2.9a). Para valores intermedios de altitud y categoría de terreno, se usa interpolación lineal.

Tabla 2.9a) Multiplicador de altura/terreno. (AS/NZS1170.2-2011, 2011)

Altura( $z$ ) $m$	Terreno/multiplicador de altura( $M_{z,cat}$ )			
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
$\leq 3$	0,99	0,91	0,83	0,75
5	1,05	0,91	0,83	0,75
10	1,12	1,00	0,83	0,75



15	1,16	1,05	0,89	0,75
20	1,19	1,08	0,94	0,75
30	1,22	1,12	1,00	0,80
40	1,24	1,16	1,04	0,85
50	1,25	1,18	1,07	0,90
75	1,27	1,22	1,12	0,98
100	1,29	1,24	1,16	1,03
150	1,31	1,27	1,21	1,11
200	1,32	1,29	1,24	1,16
<i>Nota: para valores intermedios de altura z y categoría de terreno, usar interpolación lineal.</i>				

*Tabla 2.9b) Multiplicador de altura/terreno (AS/NZS1170.2-2011, 2011)*

<i>Altura(z) m</i>	<i>Terreno/multiplicador de altura(<math>M_{z,cat}</math>)</i>	
	<i>Categorías 1 y 2</i>	<i>Categorías 3 y 4</i>
$\leq 3$	0,90	0,80
5	0,95	0,80
10	1,00	0,89
15	1,07	0,95
20	1,13	1,05
30	1,20	1,15
40	1,25	1,25
50	1,29	1,29
75	1,35	1,35
$\geq 100$	1,40	1,40
<i>NOTA: para valores intermedios de altura z y categoría de terreno, usar interpolación lineal.</i>		

Cambios en la categoría del terreno.

Cuando considerando una dirección donde el viento se aproxima a través del suelo con cambios en la categoría del terreno que cae dentro de las distancias averages dadas en la tabla 2.9a) por altitud de estructura, el terreno y el multiplicador de altitud de estructura, ( $M_z, cat$ ), debe ser tomado como el valor promedio ponderado sobre la distancia average contra el viento de la estructura como altitud z sobre el nivel del suelo, ( ver tabla 2.9a)

El average ponderado de ( $M_z$ , cat)debeser dado por la longitud de cada terreno contra el viento de la estructura permitiendo para cada distancia retrasarse en cada cambio de categoria.

$$x_i = z_{0,r} \left[ \frac{z}{0.3z_{0,r}} \right]^{1.25} \quad (2.36)$$

$x_i$  = distancia a favor del viento desde el inicio de una nueva rugosidad de terreno a la posición donde la altitud desarrollada de la capa interior es igual a z.

$Z_{0,r}$ =el más largo de las longitudes de rugosidad en un límite entre rugosidades, como se da en la tabla 2.11.

z=altitud referencia en la estructura arriba el average local nivel de suelo

*Tabla 2.10 Distancia promedio para alturas de estructuras. (AS/NZS1170.2-2011, 2011)*

<i>Altura de la estructura (m)</i>	<i>Distancia promedio contra el viento de la estructura(m)</i>
<i>H&lt;50</i>	<i>1000</i>
<i>50≤h&lt;100</i>	<i>2000</i>
<i>100≤h≤200</i>	<i>3000</i>

*Tabla 2.11 Longitud de rugosidad para categorías de terreno. (AS/NZS1170.2-2011, 2011)*

<i>Categoría de terreno</i>	<i>Longitud de rugosidad</i>
<i>1</i>	<i>0,002</i>
<i>2</i>	<i>0,02</i>
<i>3</i>	<i>0,2</i>
<i>4</i>	<i>2,0</i>

*Figura 2.10 Cambios en la categoría de terreno. (AS/NZS1170.2-2011, 2011)*

Multiplicador de protección o blindaje( $M_s$ )

La protección puede ser brindada por la presencia de edificios o otras estructuras conta el viento, blindaje de árboles o vegetación no está permitida en este estándar.

El multiplicador de protección ( $M_s$ ) apropiada para una direccion en particular debe ser como los dados en la tabla 2.12. El multiplicador de blindaje debe ser 1.0 donde el gradiente average del suelo contra el viento es mayor que 2.0 o donde los efectos

de blindaje no son aplicables para un dirección del viento en particular o son ignorados.

Prestar atención a posibles combinaciones de edificios altos juntos, puede llevar a un total incremento en las acciones del viento.

Tabla 2.12 Multiplicador Shielding. (AS/NZS1170.2-2011, 2011)

(s)	$M_s$
$\leq 1,5$	0,7
3,0	0,8
6,0	0,9
$\geq 12,0$	1,0

- Edificios proveedores de protección.

Solo edificios dentro de un sector de 45 grados, de radio  $20h$  (simétricamente posicionados alrededor la dirección que es considerada) y cuya altitud es mayor que o igual a  $z$  debe ser considerado para proveer protección.

Parámetro de blindaje (s).

El parámetro de blindaje (s) en la tabla 2.12 debe ser determinado como se muestra a continuación.

$$s = \frac{l_s}{\sqrt{h_s b_s}} \quad (2.37)$$

Donde.

$l_s$  = espaciamiento average de blindaje de edificios dado por:

$$l_s = h \left( \frac{10}{h_s} + 5 \right) \quad (2.38)$$

$h_s$  = altura average del tejado de blindaje por edificios

$b_s$  = amplitud de blindaje por edificios, normal para la corriente del viento

$h$  = altura average del tejado, sobre el suelo de la estructura siendo blindada.

$N_s$  = número de edificios contra el viento blindando dentro de un sector de  $45^\circ$ ,  $20hy$  con  $h_s \geq z$ .

- Multiplicador topográfico ( $M_t$ )

El multiplicador topografico debe ser tomado como sigue:

Para sitios en Nueva Zelanda y Tasmania encima de 500 m sobre el nivel del mar:

$$M_t = M_h * M_{lee} * (1 + 0.00015 * E) \quad (2.39)$$

Donde:

$M_h$ =multiplicador de forma de la colina.

$M_{lee}$ =multiplicador de efecto sotavento(tomado como 1,0, excepto en Nueva Zelanda zonas a sotavento)

E=elevacion del sitio sobre el nivel del mar, en metros

(a) Por otra parte, el mayor valor de los siguientes:

i)  $M_t = M_h$

ii)  $M_t = M_{lee}$

-Multiplicador de forma de colina ( $M_h$ )

El multiplicador de forma de colina ( $M_h$ ) debe ser evaluado para cada dirección cardinal considerada, tomando en cuenta la sección transversal topográfica mas adversa que ocurra dentro de un rango de direcciones dentro de 22.5° en cada sentido de cada dirección considerada. El valor debe ser como sigue:

(a) Para  $H/(2L_u) < 0.05$ ,  $M_h = 1.0$

(b) Para  $0.05 \leq H/(2L_u) \leq 0.45$

$$(c) M_h = 1 + \left( \frac{H}{3.5 * (z + L_1)} \right) \left( 1 - \frac{|x|}{L_2} \right) \quad (2.40)$$

(d) Para  $H/(2L_u) > 0.45$

(i) Dentro de la zona de separación

$$M_h = 1 + 0.71 \left[ 1 - \frac{|x|}{L_2} \right] \quad (2.41)$$

(ii) En otro lugar dentro de la zona topografica local.  $M_h$  será como la anterior ecuacion donde:

H=altitud de la colina, cordillera o acantilado

$L_u$ =distancia horizontal contra el viento desde la cresta de la colina, cordillera o acantilado hasta un nivel la mitad de la altitud por debajo de la cresta.

X= distancia horizontal en contra o a favor del viento de la estructura hasta la cresta de la colina, cordillera o acantilado.

$L_1$ = escala de longitud, para determinar la variacion vertical de  $M_h$  para tomar la mayor de  $0,36L_u$  o  $4H$ .

$L_2$ =escala de longitud, para determinar la variacion horizontal  $M_h$  para ser tomada como  $4L_1$  contra viento para todos los tipos, y a favor del viento para colinas y cordilleras, o  $10L_1$  a favor del viento para acantilados.

z=altura de referencia en la estructura arriba del average local del nivel del suelo.

NOTA: La figura 2.10 son secciones transversales a través del sitio de las estructuras para una direccion de viento en particular.

Para el caso donde “x” y “z” son cero, el valor de  $M_h$  es dado por la tabla 2.13.

Independiente de las provisiones de esta cláusula , la influencia de cualquier pico puede ser ignorada, suministrado es distante desde el sitio de la estructura cerca de más de 10 veces su elevación sobre el nivel del mar.

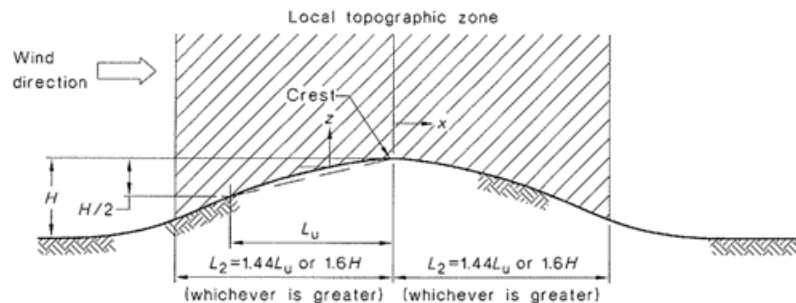


Figura 2.10a). Colinas. (AS/NZS1170.2-2011, 2011)

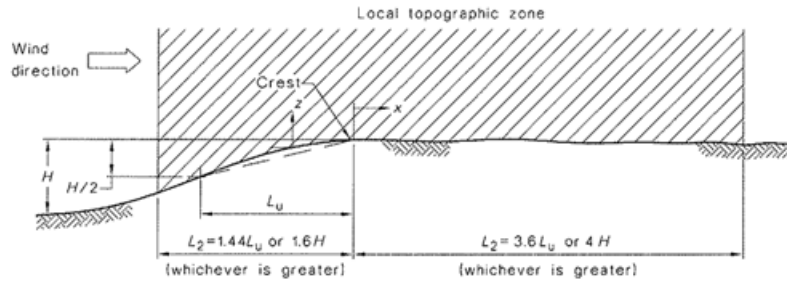


Figura 2.10b. Acantilados. (AS/NZS1170.2-2011, 2011)

Tabla 2.13. Multiplicador de forma de la colina (AS/NZS1170.2-2011, 2011)

UPWIND SLOPE	Mh
<0,05	1,0
0,05	1,08
0,10	1,16
0,20	1,32
0,30	1,48
$\geq 0,45$	1,71

-El multiplicador de sotavento ( $M_{lee}$ )

- El mutiplicador de sotaventodeben ser evaluados para sitios en Nueva Zelanda en las zonas de sotavento como se muestra en la figura. Para todos los otros sitios, el multiplicador lee debe ser 1.0. Dentro de las zonas lee, el multiplicador lee debe aplicarse sólo para viento en las direcciones cardinales.

Cada zona de sotavento debe ser 30 Km en anchura, medida desde la cresta de sotavento del rango inicial, a favor del viento en la direccion nominada del viento. La zona sotavento comprende una "zona de sotavento de sombra", que se extiende 12 Km desde el límite contrario al viento de la zona de sotavento (cresta de rango de inicio), y una "zona de sotavento exterior" sobre los restantes 18 Km.

El multiplicador lee debe ser 1,35 para sitios dentro de la zona lee de sombra (dentro 12 Km del rango de la cresta), dentro la zona sotavento exterior, el multiplicador lee debe ser determinado por interpolación lineal con distancia horizontal, desde la zona/límite de zona exterior (donde  $M_{lee} = 1,35$ ), para viento a favor en el límite de la zona sotavento (donde  $M_{lee} = 1,0$ ).

## **2.7 Sociedad americana de ingenieros civiles. Diseño de cargas mínimas para edificaciones y otras estructuras. (ASCE.7-10)**

La ASCE o la Asociación Americana de Ingenieros Civiles han preparado un material de acuerdo con principios ingenieriles. En el mismo son explicados cada uno de los principios para el cálculo de estructuras. Desde las cargas por peso propio hasta las ecológicas. Siendo de interés las cargas de viento y específicamente la incidencia de la rugosidad de terreno en el cálculo de la carga de viento.

Para la carga de viento la ASCE propone la ecuación siguiente:

$$q_z = 0.613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.42)$$

Donde:

$Q_z$  = Carga de viento

$K_z$  = Coeficiente de la exposición de la presión la velocidad

$K_d$  = Factor de direccionalidad del viento

$K_{zt}$  = Factor topográfico

$V$  = Velocidad básica del viento

Efectos Topográficos

-Aceleración de viento sobre colinas, cordilleras y acantilados.

Los efectos de aceleración de viento en colinas, cordilleras y acantilados aislados constituyen cambios abruptos en la topografía general, localizada en cualquier categoría de exposición, debe ser incluida en el diseño cuando edificios y otras condiciones del sitio y localización de estructuras convergen todas las siguientes condiciones:

- 1- La colina, la cordillera o el acantilado están apartadas y no son obstruidas contra el viento por ninguna otra formación topográfica de altura comparable por 100 veces la altura de la formación topográfica (100 H) o 2 millas (3.22 Km),

cualquiera es menor. La distancia debe ser medida horizontalmente desde el punto en al cual la altura H de la colina, cordillera o el acantilado está determinada.

- 2- La colina, la cordillera o el acantilado sobresalen por arriba de las características contra el viento del terreno dentro de un radio de 2 millas en cualquier cuadrante por un factor de 2 o más;
- 3- La estructura está localizada como se muestra en la figura 6-4 en la mitad superior de la colina o cordillera o cerca de la cresta de un acantilado;
- 4-  $H/L_h \geq 0,2$ ; y
- 5- H es mayor que o igual a 15 pies para exposiciones C y D y 60 pies para exposición B.

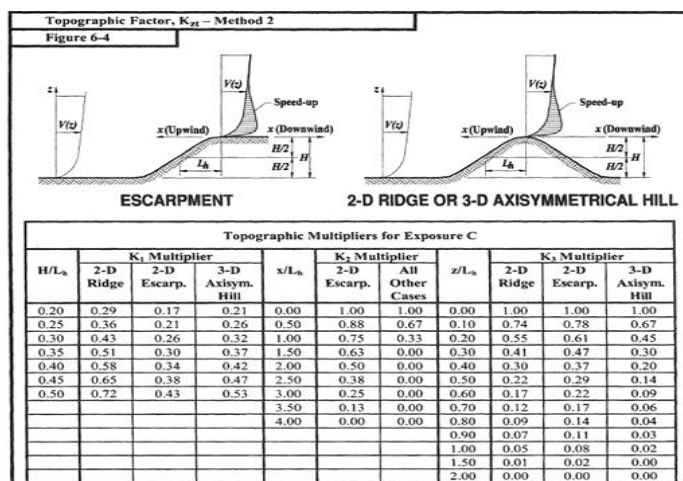


Figura 2.11. Factor topográfico,  $k_{zt}$  y multiplicador topográfico para Exposición "C". Método 1. (ASCE7-10, 2010)

NOTAS:

1. Para valores de  $H/L_h$ ,  $x/L_h$  y otros aparte de los mostrados, la interpolación lineal está permitida.
2. Para  $H/L_h > 0,5$ , asumir  $H/L_h = 0,5$  para evaluar  $K_1$  y sustituir  $2H$  por  $L_h$  para evaluar  $K_2$  y  $K_3$ .
3. Los multiplicadores están basados en asumir que el viento se aproxima a la colina o acantilado a lo largo de la dirección de pendiente máxima.
4. Notación:



H: Altura de la colina o acantilado relativo al terreno contra el viento, en pies (o metros).

$L_h$ : Distancia contra el viento de la cresta hasta donde la diferencia en elevación del suelo es la mitad de la altitud de la colina o acantilado, en pies (o metros).

$K_1$ : Factor a tener en cuenta por la forma de la formación topográfica y efecto de aceleración máxima.

$K_2$ : Factor a tener en cuenta para reducción en aceleración con distancia con o contra viento de la cresta.

$K_3$ : Factor a tener en cuenta por reducción en aceleración con altitud por encima del terreno local.

X: Distancia (con o contra el viento) desde la cresta hasta el sitio de construcción, en pies (o metros).

Z: Altitud por encima del nivel local de suelo, en pies o metros.

$\mu$ : Factor de atenuación horizontal.

$\Psi$ : Factor de atenuación del peso.

- factor topográfico.

El factor aceleración de viento debe ser incluido en el diseño de cargas de viento usando el factor  $K_u$

$$K_u = (1 + K_1 + K_2 + K_3)^2 \quad (2.43)$$

Donde:

$K_1$ : Es determinado mediante la tabla

$$K_2 = \left( 1 - \frac{|x|}{\mu L_h} \right) \quad (2.44)$$

$$K_3 = e^{\frac{-\gamma z}{L_h}} \quad (2.45)$$

-Categorías de rugosidad superficial.

Una rugosidad superficial a ras de suelo dentro de cada sector de 45 grados debe ser determinada en contra del viento del sitio como está definido en la sección siguiente desde las categorías definidas abajo, con el propósito de asignar una categoría de exposición como está definida en la sección siguiente.

Rugosidad de superficie B: Áreas urbanas y suburbanas, área arbolada u otros terrenos estrechamente espaciados u obstrucciones.

Rugosidad de superficie C: Terreno abierto con obstrucciones espaciadas teniendo una altura generalmente inferior que 30 pies. Esta categoría incluye terreno abierto, tierras de pastoreo y todas las superficies acuáticas en regiones propensas a huracanes.

Rugosidad superficial D: Terrenos llanos, áreas no obstruidas, superficies acuáticas fuera de regiones propensas a huracanes. Esta categoría incluye tierras bajas que quedan inundadas con la marea, pisos de sal y hielo intacto.

Categoría de exposición:

Exposición B: Esta debe aplicar donde la rugosidad superficial, definida como rugosidad superficial B, prevalezca en la dirección contra el viento para una distancia de al menos, 800 m o 10 veces la altura de la edificación, cualquiera que sea mayor.

Excepción: para edificaciones cuyo techo medio es menor o igual a 9.1m, la distancia contra el viento puede reducirse a 457 m.

Exposición C: esta debe aplicarse para todos los casos donde no se puedan aplicar B y C.

Exposición D: Esta debe aplicarse donde la rugosidad superficial, definida como rugosidad superficial D, prevalece en la dirección contra el viento por una distancia de al menos 1524m o 10 veces la altura de la edificación, tomando siempre la mayor. Exposición D debe extenderse a lo largo de línea interior de la playa por una distancia de 600 pies (200m) o 10 veces la altura de la edificación, tomando siempre la mayor. Para un sitio localizado en una zona de transición entre categorías de exposición, la categoría resultante en las mayores fuerzas de viento.

Tabla 2.14. Factor topográfico. Método 2. (ASCE7-10, 2010)

HILL SHAPE	$K_t/(H/L_h)$			¥	$\mu$	
	exposicion				Contra el viento de la cresta	Con el viento de la cresta
	B	C	D			
2-Cordilleras dimensionales	1,30	1,45	1,55	3	1,5	1,5

2-acantilados dimensionales (o valles con H in $K_1/(H/L_h)$ )	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
3-dimensional axisym, hill	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

NOTAS:

5. Para valores de  $H/L_h$ ,  $x/L_h$  y otros aparte de los mostrados, la interpolación lineal está permitida.
6. Para  $H/L_h > 0,5$ , asumir  $H/L_h = 0,5$  para evaluar  $K_1$  y sustituir  $2H$  por  $L_h$  para evaluar  $K_2$  y  $K_3$ .
7. Los multiplicadores están basados en asumir que el viento se aproxima a la colina o acantilado a lo largo de la dirección de pendiente máxima.
8. Notación:

H: Altura de la colina o acantilado relativo al terreno contra el viento, en pies (o metros).

$L_h$ : Distancia contra el viento de la cresta hasta donde la diferencia en elevación del suelo es la mitad de la altitud de la colina o acantilado, en pies (o metros).

$K_1$ : Factor a tener en cuenta por la forma de la formación topográfica y efecto de aceleración máxima.

$K_2$ : Factor a tener en cuenta para reducción en aceleración con distancia con o contra viento de la cresta.

$K_3$ : Factor a tener en cuenta por reducción en aceleración con altitud por encima del terreno local.

X: Distancia (con o contra el viento) desde la cresta hasta el sitio de construcción, en pies (o metros).

Z: Altitud por encima del nivel local de suelo, en pies (o metros).

$\mu$ : Factor de atenuación horizontal.

$\Upsilon$ : Factor de atenuación del peso.

## 2.8 IS: 875 Parte 3: Cargas de viento en edificaciones y estructuras.

La velocidad básica del viento para cualquier sitio será obtenida por la figura y será modificada para incluir los siguientes efectos en la obtención de la velocidad de diseño. Donde  $V_z$  se obtendrá a cualquier altura y  $Z$  la altura para las estructuras elegidas.

La velocidad básica del viento será obtenida mediante la siguiente expresión matemática:

$$V_z = V_b * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 \quad (2.46)$$

Donde:

$V_b$ : Nivel de riesgo

$K_1$ : Factor probabilístico (Factor de riesgo)

$K_2$ : Rugosidad de terreno

$K_3$ : Topografía local

$K_4$ : Factor de importancia para la región ciclónica

Nota: La velocidad del viento puede ser tomada como constante a una altura de 10 m. De tal manera las presiones para edificaciones menores de 10 m de altura pueden ser reducidas por un 20% para la estabilidad y diseño de la armazón.

La selección de la categoría de terreno debe hacerse a través de los efectos de obstrucción que constituyen la superficie del terreno. Para ello son dadas las siguientes categorías de terreno y la tabla 2.15, necesaria para la determinación del factor  $k_2$ .

Tabla 2.15. Factor  $k_2$  para obtener la variación de la velocidad de diseño según la altura en diferentes tipos de terreno. (IWC, 2012)

Height (z) (m)	Terrain and height multiplier ( $k_2$ )			
	Terrain Category 1	Terrain Category 2	Terrain Category 3	Terrain Category 4
10	1.05	1.00	0.91	0.80
15	1.09	1.05	0.97	0.80
20	1.12	1.07	1.01	0.80
30	1.15	1.12	1.06	0.97
50	1.20	1.17	1.12	1.10
100	1.26	1.24	1.20	1.20
150	1.30	1.28	1.24	1.24
200	1.32	1.30	1.27	1.27
250	1.34	1.32	1.29	1.28
300	1.35	1.34	1.31	1.30
350	1.37	1.36	1.32	1.31
400	1.38	1.37	1.34	1.32
450	1.39	1.38	1.35	1.33
500	1.40	1.39	1.36	1.34

- a) Categoría 1: Terreno abierto, expuesto, con la presencia o no de pocas obstrucciones y en los cuales la altura promedio de algunos objetos alrededor de la estructura son menores de 25 m.



*Figura 2.12. Categoría de terreno 1(IWC, 2012)*

- b) Categoría 2: Terreno abierto con obstrucciones esparcidas teniendo una altura generalmente entre 1.5 y 10 metros. Esta categoría incluye campos de aviación, zonas verdes descubiertas y afueras escasamente edificadas, como pueblos y suburbios y tierras adyacentes a costas.



*Figura 2.13. Categoría de terreno 2(IWC, 2012)*

- c) Categoría 3: Terrenos con numerosas obstrucciones de poca separación entre sí (edificios de hasta 10 m de altura) con o sin estructuras alrededor de mayores

alturas. Esta categoría incluye ciudades y áreas industriales y terrenos bien arbolados.



*Figura 2.14 Categoría de terreno 3 (IWC, 2012)*

- d) Categoría 4: Terrenos con numerosas obstrucciones de gran altura y poco espaciamiento entre sí. Esta categoría incluye grandes centros de ciudades generalmente con obstrucciones mayores de 25 m y complejos industriales bien desarrollados.



*Figura 2.15 Categoría de terreno 4 (IWC, 2012)*

Para la obtención de  $k_2$  se debe entrar a la siguiente tabla con el tipo de terreno y la altura de la edificación.

### Topografía. Factor $k_3$

La velocidad básica toma en cuenta el nivel general del sitio sobre el nivel del mar. Esto no está permitido a las características topográficas locales, tales como las colinas, riscos, valles y acantilados, los cuales pueden afectar significativamente la velocidad del viento. El efecto de la topografía acelera la velocidad del viento en la cima de las montañas y desacelera al viento en valles.

La influencia de la característica topográfica considera extender  $1.5L_e$  en contra del viento y  $2.5L_e$  a favor del viento sobre la cresta de la cima donde  $L_e$  es la longitud efectiva horizontal de la colina dependiendo de cómo se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2.16: Longitud efectiva horizontal dependiendo de la inclinación del talud (IWC, 2012)

Slope	$L_e$
$3^\circ < \theta \leq 17^\circ$	$L$
$> 17^\circ$	$Z/0.3$

Donde:

L: longitud actual a favor del viento del talud

Z: altura efectiva

$\theta$ : inclinación del talud

Si la zona a favor del viento desde la cresta es relativamente plana ( $\theta$ ) para una distancia excedida de  $L_e$ , entonces la colina debe ser tratada como un acantilado. Si no será tratado como una colina.

Notas: No hay diferencia entre evaluar  $k_3$  en una colina tridimensional y un risco en dos dimensiones.

En un terreno ondulado a menudo no es posible decidir la topografía local del sitio en términos del flujo del viento. En muchos casos, el valor promedio de los terrenos en contra del viento del sitio para una distancia de 5 km debe ser tomada como el nivel de la base para tasar la altura y el talud a contra viento.

El factor  $k_3$  se obtiene a partir de la ecuación:

$$k_3 = 1 + C * s \quad (2.47)$$

Donde C toma los siguientes valores:

Tabla 2.17 Valores de C (IWC, 2012)

Slope	C
$3^\circ < \theta \leq 17^\circ$	1.2 (z/L)
$> 17^\circ$	0.36

Y s es el factor derivado de acuerdo con la referencia de altura H sobre la estructura encima del nivel del suelo local medio, y “x” la distancia de la cumbre o la cima respecto a la longitud eficaz.

El factor s debe ser determinado desde:

- Para acantilados y escarpas. Figura
- Para colinas y riscos. Figura

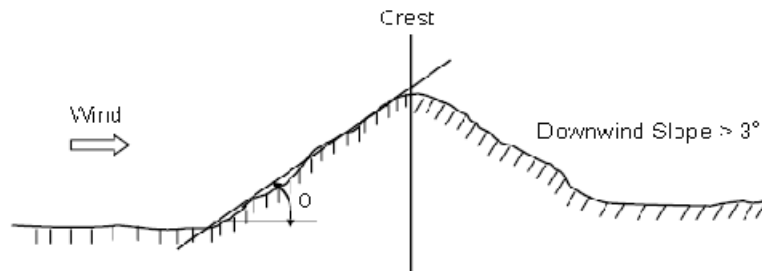


Figura 2.16. Colinas y riscos. (IWC, 2012)

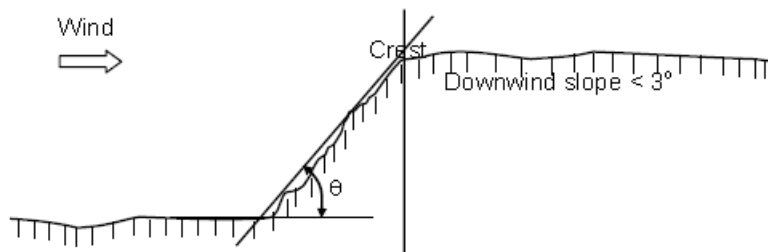


Figura 2.17. Acantilados y escarpas. (IWC, 2012)



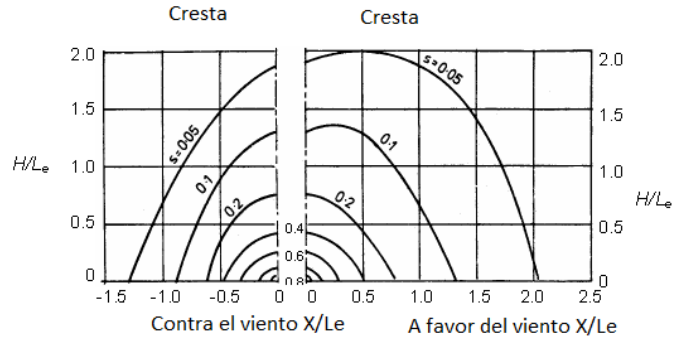


Figura 2.18. Factor para riscos y colinas. (IWC, 2012)

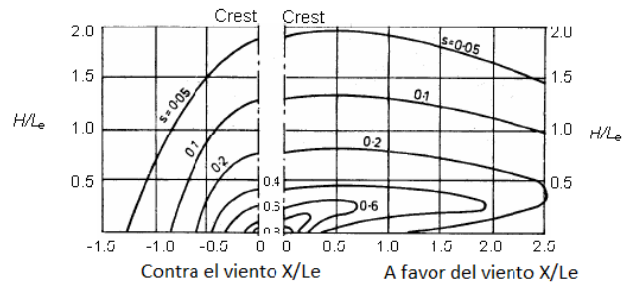


Figura 2.19. Factor para escarpas y acantilados. (IWC, 2012)

## 2.9 Comparativa entre parámetros usados en estándares según un artículo en la revista “Engineering Structures”.

La globalización en la industria de la construcción hace que se incremente la tendencia a edificaciones de mayor altura para un mejor aprovechamiento de suelo y viviendas. Esto converge en el estudio de las normativas y estándares internacionales. Algunos de los estudios anteriores han demostrado la variación de las características de velocidades básicas del viento, la turbulencia, la exactitud en las mediciones. Para una mejor comprensión de los resultados se hace necesaria una comparación entre las diferentes normativas, el autor se basa en un artículo publicado por (Kwon, 2013).

El perfil de velocidad en cada estándar o normativa es utilizado mediante un modelo logarítmico o un modelo exponencial. Donde la ley exponencial será definida por la expresión:

$$V(z) = b \left( \frac{z}{10} \right)^\alpha * V_0 \quad (2.48)$$

Donde  $\alpha$  y  $b$  son variables del terreno,  $z$  es la altura de interés y  $V_0$  es la velocidad básica del viento.

La ley logarítmica será definida por:

$$V(z) = \frac{u^*}{0.4} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) V_0 \quad (2.49)$$

Donde  $u^*$  es la velocidad de fricción,  $z_0$  es la longitud de rugosidad.

Las variables usadas en los perfiles de velocidad del viento ( $u^*$ ,  $\alpha$ ,  $b$  y  $z_0$ ) definen el factor de exposición ( $C_{exp}$ ) y son dependientes de la categoría de exposición definida en cada norma. Donde cada estándar usa entre 3 y 5 categorías de terreno. Según la geografía de cada terreno y nacionalidad.

Por lo que la presión del viento puede ser dada por la expresión:

$$q_z = \frac{1}{2} \rho * V_0^2 * C_{exp} * C_{top} * C_{imp} * C_{dir} * C_{otros} \quad (2.50)$$

Donde:

$\rho$  : es la densidad del aire

$V_0$ : es la velocidad básica del viento

$C_{exp}$ : coeficiente de exposición de terreno el cual depende de la rugosidad de terreno y la categoría de terreno.

$C_{top}$ : coeficiente topográfico

$C_{imp}$ : coeficiente de importancia de la edificación

$C_{otros}$ : coeficiente que toma en cuenta las zonas ciclónicas

$C_{dir}$ : coeficiente que toma en cuenta la dirección del viento

Para una mejor comprensión fueron evaluados algunos estándares y normativas presentes en la investigación y otros que no están contempladas en la investigación y otros que si. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en tablas de acuerdo a los tipos de terreno. Donde EC1 pertenece a centros de grandes ciudades con edificios de gran altura concentrados, EC2 área urbana, EC3 áreas suburbanas, EC4 áreas de terrenos abiertos donde es conocida la velocidad básica del viento, EC5 lagos o terrenos abiertos con pocos obstáculos, EC6 mares o zonas costeras.

*Tabla 2.18. Tiempos promedios y alturas de referencias*

	ASCE	AS/NZ	AIJ	CNS	NBCC	EU	ISO <sup>a</sup>	IWC
Basic wind velocity ( $V_0$ )	3-s	3-s	10-min	10-min	1-h	10-min	3-s 10-min	3-s
Wind-induced response	1-h	10-min	10-min	10-min	1-h	10-min	10-min	1-h
Reference height ( $h_{ref}$ )	0.6h	h	h	h	h	0.6h	h	h

*Tabla 2.19. Comparación de categorías de terreno*

General exposure category <sup>b</sup>	Exposure categories defined in codes/standards							
	ASCE	AS/NZ	AJ	CNS	NBCC	EU	ISO	IWC
EC1	-	4	V	-	-	-	4	4
EC2	A <sup>a</sup>	-	IV	D	C	IV	-	-
EC3	B	3	III	C	B	III	3	3
EC4	C	2	II	B	A	II	2	2
EC5	D	1	I	A	-	I	1	1
EC6	-	-	-	-	-	0	-	-

Tabla 2.20. Coeficientes de la ley exponencial para algunas normativas

Category	ASCE		AJ		CNS		NBCC		IWC			
	3-s		1-h		10-min		10-min		1-h		3-s	
	$\alpha$	$b$	$\alpha$	$b$	$\alpha$	$b$	$\alpha$	$b$	$\alpha$	$b$	$\alpha$	$B$
EC1	-	-	-	-	0.35	0.394	-	-	-	-	0.0683 <sup>a</sup>	1.030 <sup>a</sup>
EC2	0.20	0.64	0.33	0.30	0.27	0.576	0.30	0.52	0.36	0.426	-	-
EC3	0.14	0.84	0.25	0.45	0.20	0.794	0.22	0.73	0.25	0.666	0.0850	0.980
EC4	0.11	1.00	0.15	0.65	0.15	1.000	0.15	1.00	0.14	1.000	0.0765	1.033
EC5	0.09	1.07	0.11	0.80	0.10	1.230	0.12	1.13	-	-	0.0690	1.072

## CONCLUSIONES

1. El estudio de la influencia de la rugosidad del terreno no es igual en todas las regiones ya que no todas dividen el estudio de las categorías de terreno de igual forma.
2. En el estudio de las características topográficas todas las normas toman como modelo la colina y los acantilados y solamente se diferenciarán en el método de calcular el parámetro topográfico.
3. Según los resultados obtenidos el perfil exponencial es más exacto pero el perfil exponencial será el más usado internacionalmente.
4. Las categorías de terreno varían de tres a seis. Según la región.
5. La velocidad básica del viento y la densidad del aire influye en la fuerza del viento.
6. La velocidad del viento aumenta debido a la rugosidad del terreno y al aumento de la altura. Manteniéndose constante al alcanzar la capa límite atmosférica.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda el estudio de otras normativas de referencia mundial.
2. Se le recomienda al departamento de construcciones profundizar en los otros anillos de la “Cadena de Davenport”.

## BIBLIOGRAFÍA

- 562M-13, A. C. I. A. (2013). Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562M-13) and Commentary.
- AS/NZS1170.2-2011. (2011). Australian/New Zealand Standard: Structural Design actions, Part 2: Wind Actions.
- ASCE7-10. (2010). American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- Blessmann, J. (1995). *O vento na engenharia estrutural*: Ed. Universidade UFRGS.
- Clough, R. W., & Penzien, J. (1995). *Dynamics of Structures, Third Edition*. California.
- Lixiao Li AhsanKareem , Y., LiliSong , ChaoyingZhou (2014). A comparative study of field measurements of the turbulence characteristics of typhoon and hurricane winds. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2014.12.008>10167-6105/& 2014
- Monin, A., & Obukhov, A. (1954). Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere. *Contrib. Geophys. Inst. Acad. Sci. USSR*, 151, 163-187.
- NC-284. (2003). Edificaciones. Carga de Uso. Cuba.
- Simiu, E., & Scanlan, R. H. (1978). *Wind effects on structures: an introduction to wind engineering*: Wiley.
- Torrielli, A. (2011). *Long term simulation and reliability analysis of structures subjected to the wind action*. (PhD), Università degli Studi di Genova, Italia.
- (AIJ), A. I. O. J. 2004. RLB Recommendations for loads on buildings. Structural Standards Committee. Tokyo, Japan.
- AVELAR, A. C., TAKARA, E. K., CHISAKI, M., KOMATSU, P. J. & DE PAULA, A. A. Septiembre, 2012. Aplicações de turbulência na indústria aeronáutica-Técnicas experimentais. In: SOUZA, B. C., ASSI, G. R. S., MENEGHINI, J. R., ARANHA, J. A. P. & VOLPE, E. V. (eds.) *Turbulência. 8a Escola de Primavera de Transição e Turbulência*. Sao Paulo: ABCM, Escola Politécnica da Universidade de Sao Paulo.
- BARBOSA SOARES, C. 2008. *Estudo experimental do comportamento fluidodinâmico na seção de testes de um túnel de vento para baixas velocidades*. Master, Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais.

- CERMAK, J. E. Wind tunnel testing of structures. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Engineering Mechanics Division, 1977. 1125- 1140.
- COOK, N. J. 1975. A boundary layer wind tunnel for building aerodynamics. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1, 3-12.
- DAVENPORT, A. G. 1960 Wind loads on structures. *National Research Council of Canada*. Ottawa, Canada.
- DAVENPORT, A. G. 1961. "A Statistical Approach to the Treatment of Wind Loading on Tall Masts and Suspension Bridge". PhD Dissertation.
- DAVENPORT, A. G. 1967. Gust loading factors. *Journal of Structural Division*. ASCE, Vol. 93 11-34.
- DAVENPORT, A. G. The relationship of wind structures to wind loading. In: HASS, A. M. & KOTEN, H. V., eds. Proceedings of the conference on tower shaped structures, 1969 Hague.
- DAVENPORT, A. G. 1993. The generalization and simplification of wind loads and implications for computational methods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 46-47, 409-417.
- DAVENPORT, A. G. 1998. *Wind Effects on Buildings and Structures*, Taylor & Francis.
- FLORES PAREDES, A. J. & MENESES COSTALES, D. F. 2009. *Diseño e implementación de un sistema de medición de la temperatura ambiental, velocidad y dirección del viento en base a sensores ultrasónicos*. Tesis de Graduación, Escuela Politécnica Nacional.
- FRANCHINI, S. N. 2006. *Fuentes de Incertidumbre en la anemometría sónica*. Doctorado Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid.
- GORLIN, S. M. & SLEZINGER, L. 1966. *WIND TUNNELS AND THEIR INSTRUMENTATION*, Published for the National Aeronautics and Space Administration, USA. and the National Science Foundation, Washington, D.C.
- HOLMES, J., CRAIG, M. & MIKITUUK, M. 2009. Extreme wind climatology of North Dakota – an example of storm type separation using ASOS 1-minute data. *11th Americas Conference on Wind Engineering*. San Juan, Puerto Rico.
- HOLMES, J. D. 2004. *Wind loading of structures*, Taylor & Francis e-Library.



- IAN HARRIS, R. 2014. A simulation method for the macro-meteorological wind speed and the implications for extreme value analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 125, 146-155.
- KASPERSKI, M. 2009. Specification of the design wind load—A critical review of code concepts. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 97, 24.
- LOUREIRO, J. B. R. & DA SILVA NETO, J. L. 2006. Princípios de anemometria térmica. In: SILVA FREIRE, A. P., ILHA, A. & BREIDENTHAL, R. (eds.) *Turbulência, 5a Escola de Primavera em Transição e Turbulência*. Rio de Janeiro: ABCM, COPPE/UFRJ, IME
- MCKEON, B. J., GENEVIÈVE COMTE-BELLOT, JOHN F. FOSS, JERRY WESTERWEEL, FULVIO SCARANO, CAMERON TROPEA, JAMES F. MEYERS, JOSEPH W. LEE, A. A. C., RICHARD SCHODL., MANOOCHER M. KOCHESFAHANI, D. G. N., YIANNIS ANDREOPOULOS., WERNER J.A. DAHM, J. A. M., JAMES M. WALLACE, & PETAR V. VUKOSLAVIĆEVIĆ, S. C. M., ERIC R. PARDYJAK, ALVARO CUERVA 2007. Velocity, Vorticity, and Mach Number. In: TROPEA, C., YARIN, A. L. & FOSS, J. F. (eds.) *Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics*. Berlin Heidelberg: Springer.
- MENDES ALMEIDA, W. R. 2004. *Anemômetro baseado no método de tempo de trânsito: Estudo comparativo de arquiteturas, avaliação de incertezas e implementação*. Mestrado, Universidade Federal do Maranhão.
- PEREIRA, J. D. (ed.) 2011. *WIND TUNNELS: AERODYNAMICS, MODELS AND EXPERIMENTS*, New York: Nova Science Publishers, Inc.
- SIMIU, E. & SCANLAN, R. H. 1978. *Wind effects on structures: an introduction to wind engineering*, Wiley.
- SYKES, D. M. 1977. A new wind tunnel for industrial aerodynamics. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2, 65-78.
- TAMURA, Y., KAREEM, A. & (EDITORS) 2013. *Advanced Structural Wind Engineering*, Japan, Springer.

TAMURA, Y., SUDA, K., SASAKI, A., IWATANI, Y., FUJII, K., HIBI, K. & ISHIBASHI, R. 1999. Wind speed profiles measured over ground using Doppler sodars. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 83, 83-93.