



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN DE LA ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE LAS ESTRUCTURAS EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

RODRIGO ANDRÉS OSSANDÓN TAPIA

PROFESOR GUÍA:
FERNANDO YÁÑEZ URIBE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RICARDO MUÑOZ MAGNINO
VÍCTOR ÁGUILA OLAVE

SANTIAGO DE CHILE
JUNIO 2008

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: RODRIGO OSSANDÓN T.
FECHA: 30/07/2008
PROF. GUIA: Sr. FERNANDO YÁÑEZ

“DETERMINACIÓN DE LA ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE LAS ESTRUCTURAS EN CHILE”

El objetivo principal de este trabajo de título fue estudiar las cargas de diseño de viento para las estructuras ubicadas a lo largo de Chile siguiendo los criterios de la norma ASCE 7-05 y contrastar los resultados obtenidos al considerar la actual Norma Chilena NCh432.Of71.

Para determinar las cargas de diseño sobre una estructura ubicada en una localidad en particular la norma ASCE 7-05 define un valor de referencia para la velocidad del viento que considere la máxima intensidad que las solicitaciones de viento pueden alcanzar durante su vida útil. Este valor de referencia se denomina comúnmente velocidad básica del viento y se estima estadísticamente a partir de registros de velocidades de viento en el pasado, medidos en una determinada localidad y en condiciones particulares de altura, exposición y período de promedio de registros.

En este trabajo de título se determinaron los valores de la velocidad básica del viento en once localidades a lo largo de Chile, calculados a partir de registros de velocidades de viento medidos en estaciones meteorológicas. Para ello se consideró un procedimiento estadístico de Análisis de Valores Extremos, así como también aspectos tales como el largo del registro, error muestral, intervalo de promedio, altura del anemómetro, calidad de los datos y exposición del terreno. Los registros utilizados fueron proporcionados por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y la Comisión Nacional de Energía (CNE).

Finalmente se realizó una comparación entre las cargas de viento obtenidas a partir de la norma ASCE 7-05, considerando las velocidades básicas calculadas anteriormente, con las cargas de viento obtenidas aplicando la Norma Chilena NCh432.Of71. La comparación se estableció a partir de los principales factores que definen la presión del viento en cada una de estas normas, así como a partir de las cargas obtenidas de la aplicación de los métodos más simplificados de ambos reglamentos.

Se concluye que el criterio de la norma chilena generado a partir de un único valor para la velocidad del viento en todo Chile no es representativo de las condiciones nacionales y además subestima las cargas de viento en el sur del país. Por otra parte se observa una excesiva simplificación en la norma chilena para la determinación de los factores que establecen algunos de sus parámetros, así como también la no consideración de algunos efectos.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera comenzar agradeciendo a los profesores de mi comisión por el tiempo invertido en este trabajo de título, en particular al profesor Ricardo Muñoz por todo su apoyo, paciencia y motivación brindada durante la realización del estudio.

También quisiera agradecer a Roberto Jarrett en nombre de la consultora Knight Piésold S.A., la cual me dio las facilidades para concluir el presente trabajo.

Por otra parte, y considerando el trabajo de título como la culminación de todo el proceso universitario, no puedo dejar de agradecer a todas las personas que durante todos estos años han estado conmigo y que de una u otra forma me han apoyado, en particular a:

Mis hermanos, Erton y Gustavo por su preocupación, apoyo y ayuda desinteresada.

A mis amigos del Team™ por la alegría brindada durante los últimos años.

A mis amigos de IDIEM por sus consejos, apoyo y preocupación. En particular a Esteban por ir a buscar los registros de viento y a Antonio por empastar la memoria.

A Cecilia Peillard y Jorge Bravo por acogerme en su casa durante los primeros años de la carrera, aconsejándome y brindándome la tranquilidad necesaria para salir adelante con mis estudios

Finalmente agradezco mi polola Carolina por su apoyo y ayuda incondicional. Gracias por haber estado conmigo durante todos estos años y haber sido una parte importante en todos mis logros. Todo este trabajo te lo dedico a ti. Te quiero mucho.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Introducción General y Motivación	6
1.2. Alcance	6
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo General.....	7
1.3.2. Objetivos Específicos.....	7
1.4. Contenido.....	7
2. ANTECEDENTES GENERALES	9
2.1. El Viento en Chile.....	9
2.1.1. Factores de Gran Escala.....	9
2.1.2. Factores Locales	10
2.1.3. Regímenes de Viento Superficial en Chile	10
2.2. El Viento para Diseño de Estructuras	11
2.2.1. Velocidad Básica del Viento	14
2.2.2. Período y Velocidad de Retorno	15
3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	16
3.1. Normalización de Registros.....	16
3.1.1. Intervalo de Promedio	16
3.1.2. Altura de Medición.....	17
3.1.3. Categoría de Exposición y Altura de Medición.....	21
3.2. Análisis de Valores Extremos.....	22
3.2.1. Generación de Base de Datos.....	23
3.2.2. Función de Ajuste de Valores Extremos	25
3.2.3. Métodos de Ajuste de Parámetros	31
4. BASE DE DATOS.....	39
4.1. Registros de Viento de Estaciones CNE.....	39
4.1.1. Descripción de los Estudios Eolos Considerados	40
4.2. Registros de Viento de Estaciones DMC	41
4.3. Criterios de Selección de Estaciones.....	43
4.3.1. Longitud del Registro.....	43
4.3.2. Representatividad del Registro.....	43
4.3.3. Altura del Sensor.....	43
4.3.4. Ubicación y Condiciones de Exposición de la Estación	43
4.4. Estaciones Seleccionadas	44
5. VELOCIDADES BÁSICAS	45
5.1. Aplicación Metodológica a una Estación	45
5.1.1. Estadística Básica	45
5.1.2. Generación de Base de Datos.....	50
5.1.3. Cálculo de Velocidades de Retorno.....	54
5.1.4. Normalización de Registros	61
5.2. Resultados Sobre Estaciones Seleccionadas	62
5.2.1. Normalización de Registros	62
5.2.2. Velocidades Básicas	63
5.3. Errores	65
5.3.1. Errores de Registro	65
5.3.2. Errores de Modelos Empíricos.....	66

5.3.3.	Error Muestral.....	66
5.4.	Mapas de Vientos.....	67
5.4.1.	Mapa de Vientos de Argentina.....	68
5.4.2.	Mapa de Vientos de Estados Unidos.....	68
5.4.3.	Mapa de Vientos para Chile.....	69
6.	ANÁLISIS NORMA CHILENA NCH432.OF71 Y NORMA ASCE 7-05.....	71
6.1.	Análisis Norma Chilena NCh432.Of71.....	71
6.1.1.	Definiciones y Consideraciones Preliminares.....	71
6.1.2.	Presión Básica del Viento.....	71
6.1.3.	Factor de Ráfaga.....	72
6.1.4.	Métodos de Análisis.....	73
6.1.5.	Factor Topográfico.....	74
6.1.6.	Factor de Forma.....	75
6.2.	Análisis Norma ASCE 7-05.....	75
6.2.1.	Definiciones y Consideraciones Preliminares.....	75
6.2.2.	Categorías de Exposición.....	76
6.2.3.	Métodos de Análisis.....	77
6.2.4.	Factor de Altura y Exposición.....	80
6.2.5.	Factor Topográfico.....	80
6.2.6.	Factor de Direccionalidad.....	80
6.2.7.	Factor de Importancia.....	81
6.2.8.	Factor de Ráfaga.....	82
6.2.9.	Coeficientes de Presión.....	82
6.3.	Comparación entre NCh432.Of71 y ASCE 7-05.....	83
6.3.1.	Velocidad Básica del Viento.....	83
6.3.2.	Exposición y Altura.....	85
6.3.3.	Factor de Ráfaga.....	91
6.3.4.	Factor Topográfico.....	91
6.3.5.	Coeficientes de Presión.....	91
6.3.6.	Otras Comparaciones.....	92
7.	CÁLCULO DE CARGAS.....	94
7.1.	Características Generales de la Estructura.....	94
7.2.	Cálculo de Cargas sobre Galpón según Norma Chilena NCh432.Of71.....	96
7.2.1.	Clasificación de Estructura por Cerramiento.....	96
7.2.2.	Cálculo de Cargas.....	96
7.3.	Cálculo de Cargas sobre Galpón según Norma ASCE 7-05.....	98
7.3.1.	Clasificación de SPRFV y Componentes.....	99
7.3.2.	Cálculo de Cargas.....	101
7.4.	Comparación de Cargas.....	105
8.	CONCLUSIONES.....	110
8.1.	Análisis de Resultados y Discusión.....	110
8.1.1.	Capítulo 3: Metodología de Análisis.....	110
8.1.2.	Capítulo 4: Base de Datos.....	111
8.1.3.	Capítulo 5: Velocidades Básicas.....	112
8.1.4.	Capítulo 6: Análisis Norma Chilena NCh432.Of71 y Norma ASCE 7-05.....	113
8.1.5.	Capítulo 7: Cálculo de Cargas.....	113
8.2.	Conclusiones Generales.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		117
APÉNDICE A: VALORES MÁXIMOS ANUALES PARA REGISTROS DISPONIBLES.....		121

APÉNDICE B: ESTADÍSTICA BÁSICA PARA ESTACIONES SELECCIONADAS.....	140
APÉNDICE C: RUTINAS MATLAB PARA CÁLCULO DE VELOCIDADES DE RETORNO.....	163
APÉNDICE D: FIGURAS EXTRAÍDAS DE NORMAS NCH432.OF71 Y ASCE 7-05.....	177

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción General y Motivación

A raíz de las nuevas construcciones en altura y otras estructuras de relativa complejidad que se están desarrollando en el país, y ante la falta de una normativa actualizada que entregue criterios que vayan de acuerdo con las condiciones nacionales y que consideren las últimas metodologías que se están empleando internacionalmente en el diseño de estructuras para la acción del viento, el INN se encuentra preparando un anteproyecto que permita actualizar la Norma Chilena NCh432.Of71 – “Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones”. El presente trabajo de título se considera como una aproximación a la confección de este anteproyecto y presenta los criterios y procedimientos necesarios para calcular la acción del viento sobre las estructuras en Chile. Para este efecto se considerará como referencia el capítulo 6 de la norma ASCE 7-05, “Minimum Design Loads for Buildings and other Structures”.

Para caracterizar la acción del viento sobre una estructura ubicada en un determinado sector distintas normas definen un valor de referencia que considere la máxima velocidad que el viento puede alcanzar durante su vida útil. Este valor de referencia se denomina comúnmente velocidad básica del viento y se determina estadísticamente a partir de registros históricos de velocidades del viento, medidos en una determinada localidad y en condiciones particulares de altura, exposición y promedio de registros.

Por otro lado, para determinar completamente la acción del viento sobre las estructuras se debe calcular los efectos aerodinámicos sobre ellas, determinando en particular la influencia de factores tales como su cerramiento, altura, exposición y topografía del entorno, importancia, efecto ráfaga y coeficientes de presión.

1.2. Alcance

En este trabajo de título se establecen los valores de la velocidad básica del viento en once localidades a lo largo de Chile. Estos valores fueron calculados a partir de registros históricos de velocidades del viento medidos en distintas estaciones meteorológicas ubicadas dentro del territorio nacional. Los registros utilizados fueron proporcionados por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y la Comisión Nacional de Energía (CNE). Se consideró un procedimiento estadístico de análisis de valores extremos, así como también aspectos tales como el largo del registro, error muestral, intervalo de promedio, altura del anemómetro, calidad de los datos y exposición del terreno.

Además se establece una comparación entre la vigente norma chilena NCh432.Of71 y la norma americana ASCE 7-05, ejemplificando el cálculo de la acción del viento para un determinado galpón. El cálculo de la acción del viento sobre este galpón se realiza aplicando por una parte la norma chilena NCh432.Of71 y por otra, las

disposiciones de la norma ASCE 7-05, utilizando para ello el valor de la velocidad básica del viento calculado para una determinada localidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

El objetivo general de este trabajo de título es establecer la acción del viento sobre las estructuras en Chile, utilizando registros históricos de velocidades del viento medidos en distintas estaciones meteorológicas a lo largo del país.

1.3.2. Objetivos Específicos

- i. Seleccionar dentro de la base de datos disponible en este estudio, aquellas estaciones que cumplan con distintos criterios definidos.
- ii. Determinar la velocidad básica del viento en las distintas estaciones seleccionadas en el punto anterior, a lo largo de Chile.
- iii. Calcular la acción del viento sobre una estructura en particular, aplicando las disposiciones de la norma ASCE 7-05, utilizando para ello el valor de la velocidad básica calculada para una estación en particular.
- iv. Contrastar los resultados obtenidos del cálculo de cargas de acuerdo al punto anterior con los obtenidos a partir de la aplicación de la norma chilena NCh432.Of71, comparando los distintos factores de modificación de cargas utilizados en ambas normas.

1.4. Contenido

A continuación se realiza una breve descripción de los temas abordados en cada uno de los siguientes capítulos de este trabajo de título:

En el capítulo 2, Antecedentes Generales, se realiza una descripción general de las características específicas de la circulación atmosférica en Chile, las cuales controlan el comportamiento del viento. Asimismo se revisa cómo distintas normas extranjeras definen un valor para la velocidad básica del viento en una determinada localidad.

En el capítulo 3, Metodología de Análisis, se abarca el procedimiento de normalización y análisis estadístico de valores extremos conducente a la determinación de un valor de la velocidad básica del viento en una determinada localidad, a partir de registros históricos de velocidades de viento medidos en condiciones particulares de altura, exposición e intervalo de promedio.

En el capítulo 4, Base de Datos, se describen los registros de velocidades de viento disponibles para la realización del estudio, indicando aspectos relativos a sus condiciones de medición. Se distinguen aquellos registros proporcionados por la DMC

de los proporcionados por la CNE. Finalmente se establecen los distintos criterios de selección utilizados para establecer las once estaciones ubicadas a lo largo de Chile en las cuales se determinaron los valores de la velocidad básica del viento.

En el capítulo 5, Velocidades Básicas, se presentan los resultados obtenidos de la normalización y aplicación de distintas metodologías estadísticas de análisis de valores extremos a los registros de velocidades de viento de una estación meteorológica en particular. Se selecciona y aplica una única metodología estadística a las diez estaciones restantes para determinar los valores de la velocidad básica del viento en once localidades a lo largo de Chile. Se comenta acerca de los errores implícitos en los resultados obtenidos y se discute la posibilidad de generar un mapa de velocidades básicas de vientos para Chile a partir de estos resultados.

En el capítulo 6, Análisis Norma Chilena NCh432.Of71 y Norma ASCE 7-05, se indican los aspectos más relevantes de cada una de estas normas para el cálculo de la acción del viento sobre las estructuras y se establece una comparación a partir de los principales factores que definen la acción del viento en cada una de ellas.

En el capítulo 7, Cálculo de Cargas, se realiza una comparación entre las solicitaciones de viento obtenidas utilizando la norma chilena NCh432.Of71 y la norma americana ASCE 7-05, para un galpón ubicado en la ciudad de Concepción. Para el caso de la norma americana se considera el valor de la velocidad básica determinado en el capítulo 5 para la ciudad de Concepción.

Finalmente, en el capítulo 8, Conclusiones, se comentan los resultados obtenidos y se establecen las conclusiones derivadas de la realización de este trabajo de título.

2. ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo se realiza una descripción general de las características específicas de la circulación atmosférica en Chile, las cuales controlan el comportamiento del viento. Posteriormente se indican las condiciones bajo las cuales distintas normas extranjeras definen un valor para la velocidad básica del viento en una determinada localidad, la cual se utiliza para el cálculo de la acción del viento sobre las estructuras.

2.1. El Viento en Chile¹

El comportamiento del viento, cuando se consideran escalas espaciales mayores, depende de las características específicas de la circulación atmosférica, tanto a escala continental, como a escala regional y local. A continuación se realiza una descripción general de ellas para el caso particular de Chile, considerando primero los factores de gran escala y luego los factores regionales o locales.

2.1.1. Factores de Gran Escala

El régimen de viento está controlado principalmente por la distribución espacial del campo de presión. En la Figura 2.1 se muestra la distribución media de la presión a nivel del mar en el sector sudamericano para enero y julio. Los sectores norte y central de Chile se encuentran bajo la influencia del anticiclón subtropical del Pacífico Sur, que se localiza alrededor de los 30° S en el sector oceánico. Esta situación favorece el establecimiento de vientos con una componente desde el sur en las áreas oceánicas adyacentes. El mayor gradiente de presión durante enero en el borde oriental del anticiclón es consistente con un leve aumento de la intensidad del viento en el sector oceánico frente a la costa central de Chile durante el verano, según se deduce de la información proporcionada por un atlas marino basado en observaciones desde barcos [Sadler et al, 1987]². Al sur de aproximadamente 40° S, predominan los vientos con una componente oeste asociados a un fuerte gradiente norte-sur en el campo de presión.

¹ Esta sección corresponde a un extracto sacado del capítulo 2 del informe del Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 1993. Proyecto Eolo. Evaluación del Potencial Eólico Nacional.

² En adelante el texto entre corchetes indica el documento al cual se hace referencia. El detalle del documento se indica en las Referencias Bibliográficas del presente trabajo de título.

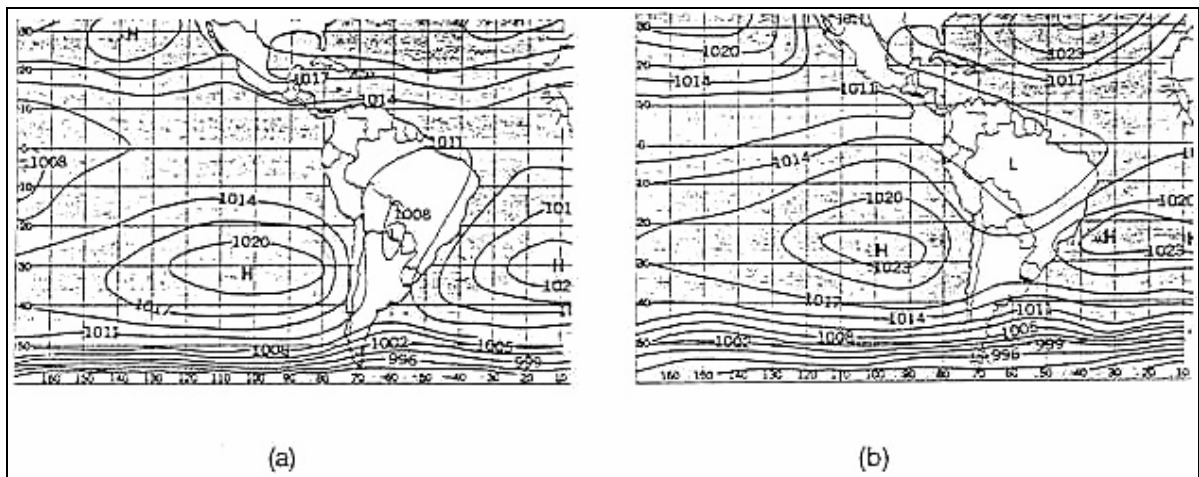


Figura 2.1: Distribución de la presión a nivel del mar en (milibares):
a) enero; b) julio (adaptado de [Trewartha y Horn, 1980, p.107])

La descripción anterior de las características generales del viento da cuenta de condiciones de gran escala sobre el sector oceánico, donde el ciclo diario no es muy marcado. Los factores locales que se describen a continuación, pueden alterar considerablemente la situación descrita.

2.1.2. Factores Locales

A los vientos de gran escala descritos en el punto anterior, se deben superponer aquellos propios de sistemas de circulaciones de escala menor que, por regla general, presentan un marcado ciclo diario. Entre estos, los más significativos son los sistemas de brisas costeras y brisas de ladera o valle. En ambos sistemas el factor forzante es el contraste térmico, océano-continente en un caso y ladera-valle en el otro, que se deriva de una diferente respuesta al ciclo diario de insolación. Tales contrastes alcanzan su máxima expresión unas dos horas después del mediodía solar y su intensidad está modulada por la presencia de nubosidad y el tipo de cobertura del suelo. Asociado al máximo contraste térmico, los sistemas de brisas locales alcanzan también su máxima intensidad en el periodo diurno. Durante la noche, la diferencia de temperatura entre el continente y el océano, o entre la ladera y el valle se invierte de signo por lo general, aunque sin alcanzar las magnitudes observadas durante el día. Consecuente con esto, las brisas nocturnas son relativamente más débiles y tienen una dirección opuesta a la de la brisa diurna.

2.1.3. Regímenes de Viento Superficial en Chile

En el norte del país el viento superficial está dominado por factores locales y se expresa en la forma de brisas costeras y de valles. La estabilidad y monotonía de las condiciones atmosféricas en esta región, determinan la existencia de un ciclo diario muy regular que se caracteriza por un máximo diurno después de mediodía. Las intensidades máximas en el ciclo anual se alcanzan durante el verano cuando los gradientes térmicos son mayores. La alta frecuencia de nubosidad estratiforme a lo largo de la costa durante la mañana produce un retardo en el inicio de la brisa diurna

y en la hora de ocurrencia de la velocidad máxima. En los valles que llegan a la costa se produce una superposición de la brisa costera con la brisa que se desarrolla en el valle.

En la región al sur de aproximadamente 40° S el régimen de viento está condicionado principalmente por factores de gran escala, predominando en promedio un flujo con componente del oeste asociado a un fuerte gradiente bórico latitudinal. El ciclo diario de la velocidad del viento es relativamente más atenuado en relación al observado en el norte del país. La variabilidad inter-horaria e inter-diaria de la velocidad y dirección del viento están dominadas fuertemente por las condiciones sinópticas. Los vientos más intensos se asocian generalmente al paso de sistemas frontales.

En la región central del país se observa un régimen de transición entre los anteriormente descritos. Durante el verano el viento superficial está condicionado principalmente por factores locales, mientras que durante el invierno predominan los factores de gran escala.

Aparte de los factores atmosféricos mencionados, la compleja topografía del país ejerce una influencia notoria sobre el flujo superficial, obstruyendo o canalizando la circulación atmosférica.

2.2. El Viento para Diseño de Estructuras

Anteriormente se han mencionado las causas que definen los patrones generales del comportamiento del viento en Chile. No obstante, esta información es de carácter general y no es suficiente para calcular la acción del viento sobre una estructura que habrá de estar ubicada en un lugar determinado. Para tal fin es necesario definir un valor de referencia para la velocidad del viento (velocidad básica), en la que se haya tenido en cuenta, mediante factores de seguridad apropiados, las simplificaciones adoptadas para caracterizar el viento.

Debido a que los fenómenos meteorológicos que originan los movimientos del aire acontecen a altitudes del orden del espesor de la capa límite terrestre, y el tamaño de los sistemas meteorológicos es mucho mayor que el tamaño típico de las ciudades y de los terrenos que se extienden entre las mismas, se acepta que, salvo efectos locales y singulares, la velocidad básica del viento variará de forma suave a lo largo de la superficie terrestre.

De acuerdo a lo anterior diversas normas extranjeras de diseño de estructuras para la acción del viento establecen un mapa de velocidades de básicas del viento en forma de isotacas (líneas de contorno de igual velocidad) para las distintas localidades dentro del territorio de un país. Ver Figuras 2.2 y 2.3.

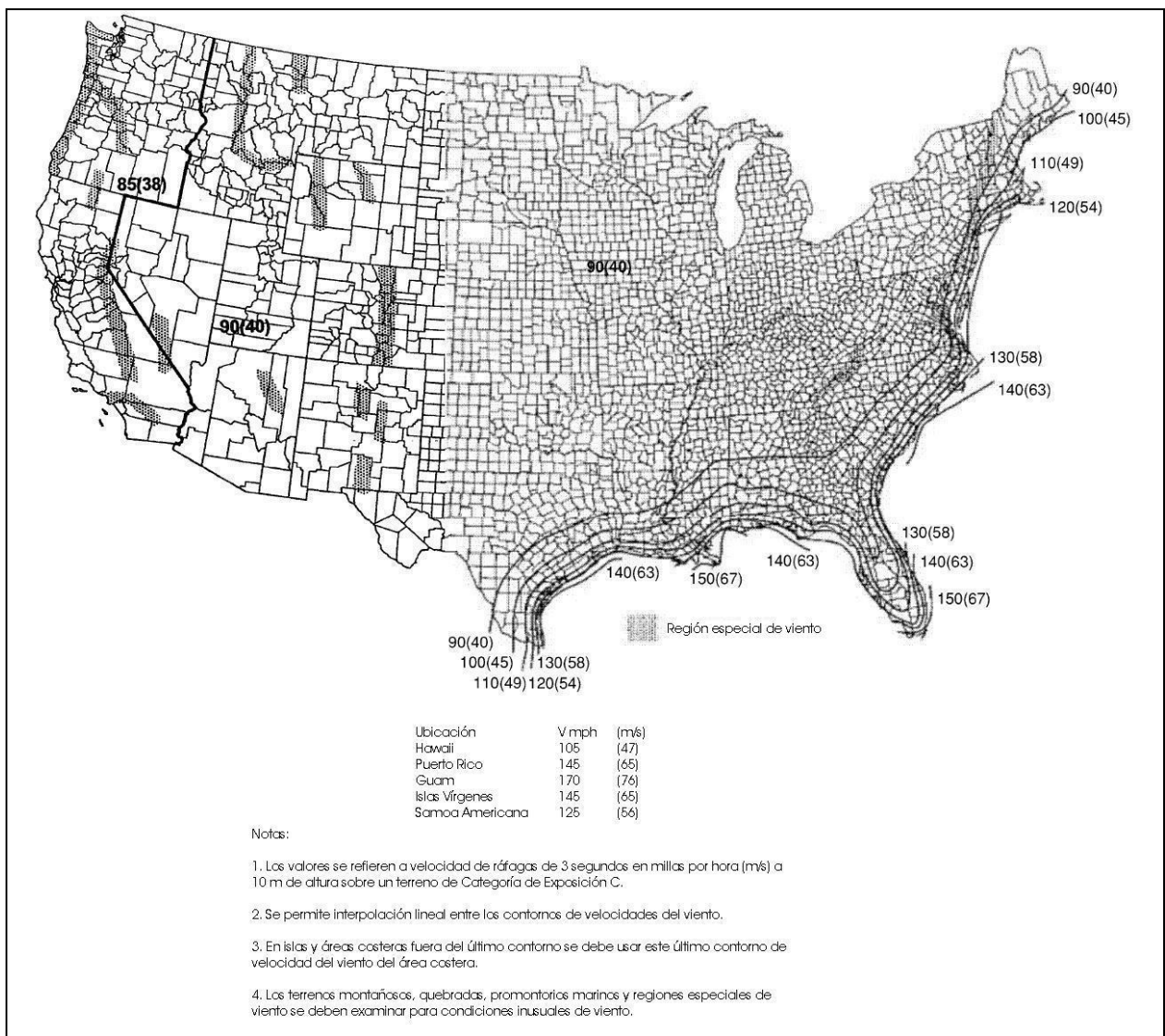


Figura 2.2: Mapa de isotacas de velocidades básicas del viento de Estados Unidos, de acuerdo a la norma ASCE 7-05 (valores en mph (m/s)).

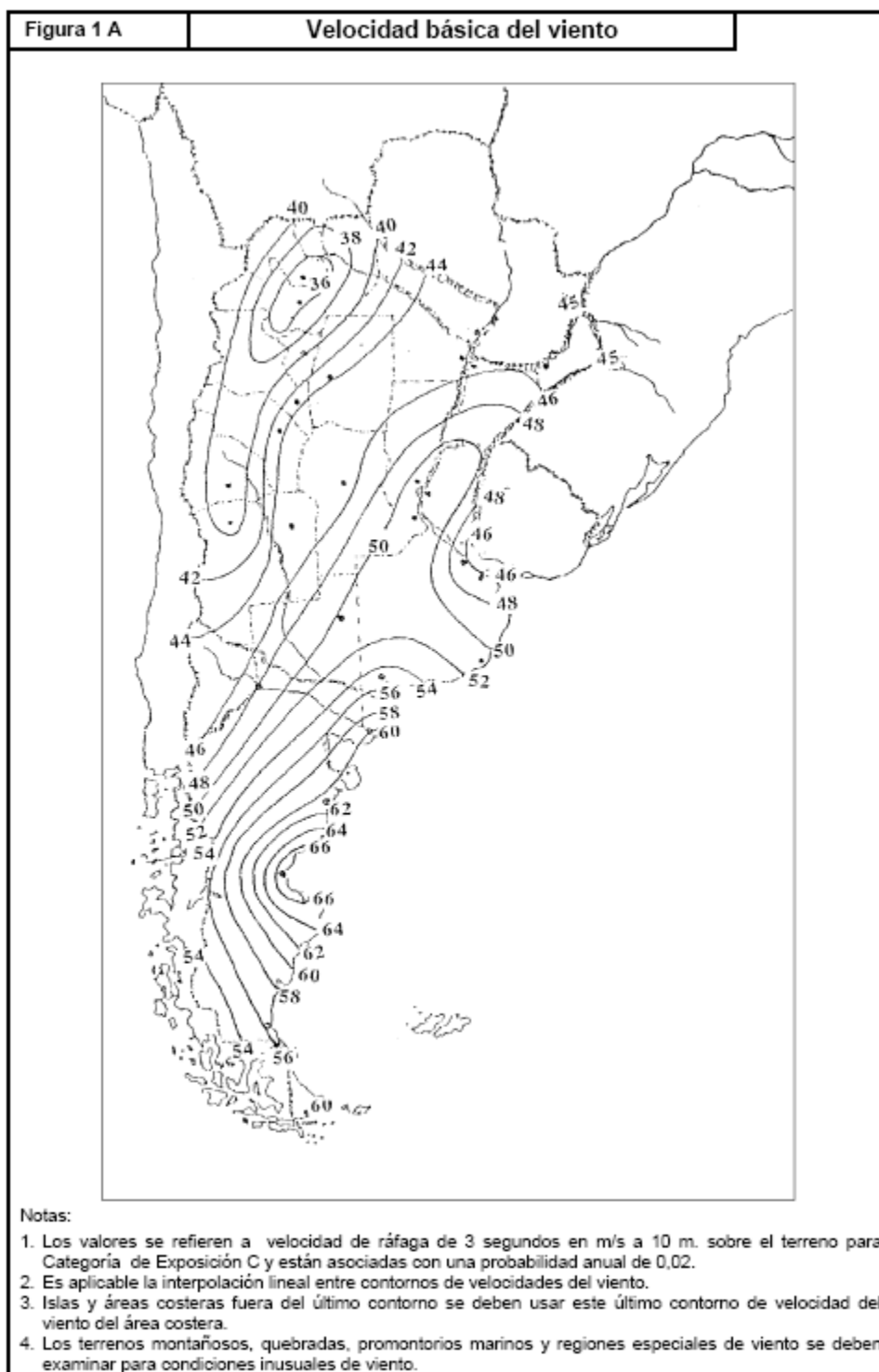


Figura 2.3: Mapa de isotacas de velocidades básicas del viento de la República Argentina de acuerdo a la norma CIRSOC 102-05 (valores en (m/s)).

2.2.1. Velocidad Básica del Viento

La velocidad básica del viento corresponde a un valor de referencia que ocupan distintas normas para el cálculo de solicitaciones de viento, y se determina a partir de registros históricos de velocidades de viento medidas en una estación meteorológica para una localidad en particular.

De acuerdo a lo expuesto en las normas es necesario que las mediciones sean referidas según las siguientes condiciones:

- a. A una altura de 10 m sobre el nivel del terreno.
- b. En un terreno a campo abierto (o de exposición similar), con obstrucciones dispersas de alturas generalmente menores que 10 m.

Las velocidades básicas del viento indicadas en los mapas de las distintas normas de diseño de estructuras, se obtienen a partir de registros de velocidades máximas del viento sin considerar su dirección (no direccionales).

Debido a las continuas fluctuaciones que experimenta el viento por el hecho de ser un flujo turbulento y no laminar, generalmente no se reportan valores instantáneos de velocidad y dirección del viento, sino que se obtienen valores medios en un período de tiempo en particular. A partir de esta medición, distintas normas asumen diferentes criterios de diseño, dependiendo del intervalo de promedio que se considere.

A causa de que la norma de referencia utilizada para elaborar este trabajo de título fue la ASCE 7-05, se adoptará el promedio de 3 segundos para el cálculo de las solicitaciones debido al viento, según se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Particularidades de las velocidades básicas del viento utilizadas en distintas normas para el cálculo de la acción de viento sobre las estructuras (adaptado de [Meseguer et al, 2001, p.61]).

Norma	Intervalo de promedio	Tiempo de retorno	Ley de variación con la altura	Referencia
AS 1170.2 (Australia)	3 segundos	20-100	Logarítmica	[Popov, 2000]
ASCE 7-05 (EE.UU.)	3 segundos	50	Potencial	[ASCE 7-05, 2005]
CIRSOC 102 (Argentina)	3 segundos	50	Logarítmica	[INTI/CIRSOC, 2005]
BSC (Japón)	10 minutos	100	Potencial	[Tamura et al, 1999]
ENV 1991-2-4 (Europa)	10 minutos	50	Logarítmica	[Eurocódigo I, 2004]
SNiP (Rusia)	10 minutos	50	Potencial	[Popov, 2000]
NBCC (Canadá)	60 minutos	10-30	Potencial	[Liu, 1991]

2.2.2. Período y Velocidad de Retorno

Una estructura se diseña de modo que proporcione un grado de seguridad específico cuando esté sometida a vientos de alta velocidad, lo que se mide por la probabilidad de que se presenten, durante la vida útil de la estructura, vientos con velocidades superiores a la de diseño. Para cuantificar este factor de riesgo, la velocidad básica del viento tiene asociada un período de retorno.

El período de retorno T_R se define como el inverso de la probabilidad P_E de que una determinada velocidad del viento sea excedida durante un año, de modo que:

$$T_R = \frac{1}{P_E} \quad (2.1)$$

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 2.1, se adoptará el criterio de la norma ASCE 7-05, el cual indica un período de retorno de 50 años (probabilidad anual de 0.02 de que esa velocidad del viento sea excedida).

Debido a que, para el cálculo de la acción del viento sobre una estructura ubicada en una determinada localidad se precisa conocer la máxima velocidad a la que estará sometida durante su vida útil, se requiere estimar una velocidad de retorno a partir de registros históricos de velocidades de viento, medidos en el mismo sector donde se encuentra ubicada la estructura.

La velocidad de retorno corresponde a la velocidad del viento asociada a un determinado período de retorno, referida según las mismas condiciones de altura, exposición y promedio en las cuales se encuentran los registros utilizados en su determinación.

La metodología estadística conducente a la determinación de esta velocidad de retorno lo abarca una rama de la Estadística conocida como Análisis de Valores Extremos y consiste en estudiar el comportamiento de la función de distribución de los valores máximos alcanzados en una serie dada de períodos de tiempo, todos de la misma duración (normalmente se toman períodos de un año de duración), para así determinar el comportamiento de la distribución de máximos mencionada para tiempos que exceden el intervalo considerado (50 años en nuestro caso en particular).

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Este capítulo abarca la metodología conducente a la determinación de un valor para la velocidad básica del viento calculada a partir de registros de velocidades de viento medidos en distintas estaciones meteorológicas. Se distinguirá el proceso de normalización de los registros de vientos y el análisis estadístico de valores extremos conducente a la determinación de la velocidad de retorno para una determinada localidad.

3.1. Normalización de Registros

Como se indicó en el capítulo anterior, la velocidad básica del viento se debe obtener a partir de registros de velocidades de viento medidos en una estación ubicada en un terreno a campo abierto, a una altura de 10 m sobre el nivel del terreno y utilizando un intervalo de 3 s para el promedio de los registros. Es necesario, por lo tanto, que los datos básicos de viento basados en condiciones diferentes de medición, sean ajustados para cumplir con las condiciones normalizadas a las que está referida la velocidad básica. A continuación se describen distintos procedimientos utilizados para la normalización de los registros de viento.

3.1.1. Intervalo de Promedio

Debido a la naturaleza turbulenta (no laminar) del flujo del viento, no se suele reportar valores instantáneos de su velocidad y dirección, sino que más bien valores promediados en distintos intervalos de tiempo. De acuerdo a lo anterior se tienen distintas definiciones y criterios adoptados por las normas para determinar la velocidad básica del viento, dependientes del intervalo de tiempo utilizado para su promedio:

i.- Ráfaga de Viento de 3 Segundos ("peak 3-s gust speed"). Corresponde a la velocidad de la ráfaga de viento de una tormenta, promediada en un intervalo de tiempo de 3 segundos y es adoptado por la norma ASCE 7-05 para el cálculo de velocidades básicas.

ii.- Milla más Rápida ("fastest mile speed"). Se define como la máxima velocidad de una tormenta promediada sobre el período de tiempo requerido para pasar en un punto un volumen de aire por una distancia horizontal de una milla. Esta definición está basada en los dispositivos de registro que existían hasta los años 90 en EEUU.

iii.- Velocidad del Viento en 10 Minutos ("10-min wind speed"). Corresponde a la velocidad del viento promediada en un intervalo de 10 minutos y es usada para propósitos de diseño por el Eurocode, en conformidad con la práctica de la Organización Mundial de Meteorología (OMM).

iv.- Velocidad Horaria del Viento ("hourly wind speed"). Corresponde a la velocidad promediada en un intervalo de tiempo de 1 hora y es comúnmente usada como velocidad de referencia para simulaciones en túneles de viento. Esta definición de la

velocidad del viento es usada también para definir las velocidades extremas por el National Building Code of Canada (NBCC).

Resultados de estudios meteorológicos [Durst, 1960] han demostrado que la velocidad del viento en zonas no tropicales, sobre un terreno horizontal con una rugosidad uniforme y a una altura determinada varía de una forma establecida con el intervalo de promedio considerado. Es así como dentro de una exposición a campo abierto a una altura de 10 m sobre el nivel del terreno, se acepta la relación mostrada en la Figura 3.1, entre las velocidades máximas del viento promediadas sobre un intervalo de t segundos, V_t , y la velocidad del viento promediada sobre una hora, V_{3600} .

De acuerdo a esta figura se puede determinar el valor máximo de la velocidad del viento para períodos de promedio distintos del que fueron registradas o procesadas, considerando que la medición fue realizada en una zona de exposición de campo abierto a una altura de 10 m sobre el nivel del terreno. En particular, para transformar una base de datos promediada horariamente a la ráfaga de 3 segundos ("peak 3-s gust speed"), basta con multiplicar los registros por un factor 1.53. Asimismo, para transformar una base de datos sobre la base de un promedio de 10 minutos a la ráfaga de 3 segundos se deberían multiplicar los registros por un factor $1.53/1.07 = 1.43$.

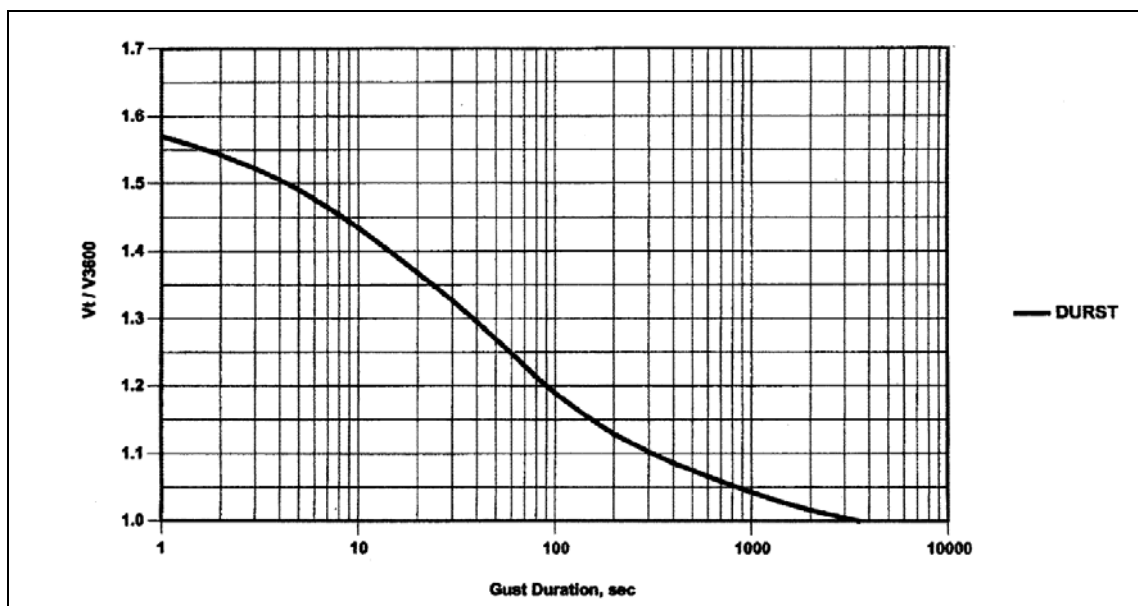


Figura 3.1: Cuociente entre velocidades máximas promediadas en t segundos y velocidades medias horarias (Figura C6-4 del comentario de la norma ASCE 7-05).

3.1.2. Altura de Medición

La velocidad del viento es mayor en la medida que se aumenta la altura sobre el nivel del terreno en la cual es medida. Esto ocurre debido al retardo del flujo de aire a

causa de la fricción entre la superficie y el aire que se mueve. Este retardo se hace cada vez más débil en elevaciones más altas. A continuación se detallan dos leyes, utilizadas por distintas normas extranjeras (ver Tabla 2.1) que describen la variación de la velocidad del viento con la altura: La Ley Logarítmica y La Ley Potencial.

i.- Ley Logarítmica

La Ley Logarítmica describe la variación de la velocidad del viento con la altura z , promediada en intervalos de 10 minutos a 1 hora, para una determinada longitud de rugosidad del terreno z_0 , cuando se conoce la velocidad a una altura definida z_{ref} . Su expresión es:

$$\bar{V}(z) = \bar{V}(z_{ref}) \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{ref}/z_0)} \quad (3.1)$$

La longitud de rugosidad, z_0 , es una medida empírica de la rugosidad de la superficie y su valor está asociado a la categoría de exposición donde se realizó la medición del viento. La Tabla 3.1 presenta algunos de los valores de la longitud de rugosidad z_0 propuestos en el Comentario de la norma ASCE 7-05, así como los valores utilizados en la norma ISO 4354-07 para las distintas categorías de exposición consideradas.

Tabla 3.1: Rango de z_0 según categoría de exposición.

Categoría de Exposición	Límite Inferior de z_0 (m)	Límite Superior de z_0 (m)	z_0 equivalente ¹ según ASCE 7-05 (m)	Valor de z_0 según ISO 4354:07 (m)
A ²	0.7			3
B ³	0.15	0.7	0.15	0.3
C ⁴	0.01	0.15	0.02	0.03
D ⁵	-	0.01	0.005	0.003

Notas:

¹: Valor de z_0 equivalente a la descripción potencial utilizada en el cuerpo de la norma ASCE 7-05

²: Exposición correspondiente a centros de ciudades altamente pobladas con edificios altos (20 m a lo menos)

³: Exposición correspondiente a áreas urbanas o suburbanas con predominio de casas u obstrucciones similares

⁴: Exposición de campo abierto con obstrucciones aisladas de alturas menores de 10 m

⁵: Exposición correspondiente a bordes costeros expuestos a vientos soplando sobre aguas abiertas a 1600 m de distancia como mínimo

La Figura 3.2, obtenida de la norma ISO 4354:07, presenta un resumen de los distintos valores de la longitud de rugosidad z_0 asociados a distintas categorías de exposición del terreno. Las categorías 1, 2, 3 y 4 del terreno son equivalentes a las exposiciones D, C, B y A indicadas en la Tabla 3.1, respectivamente.

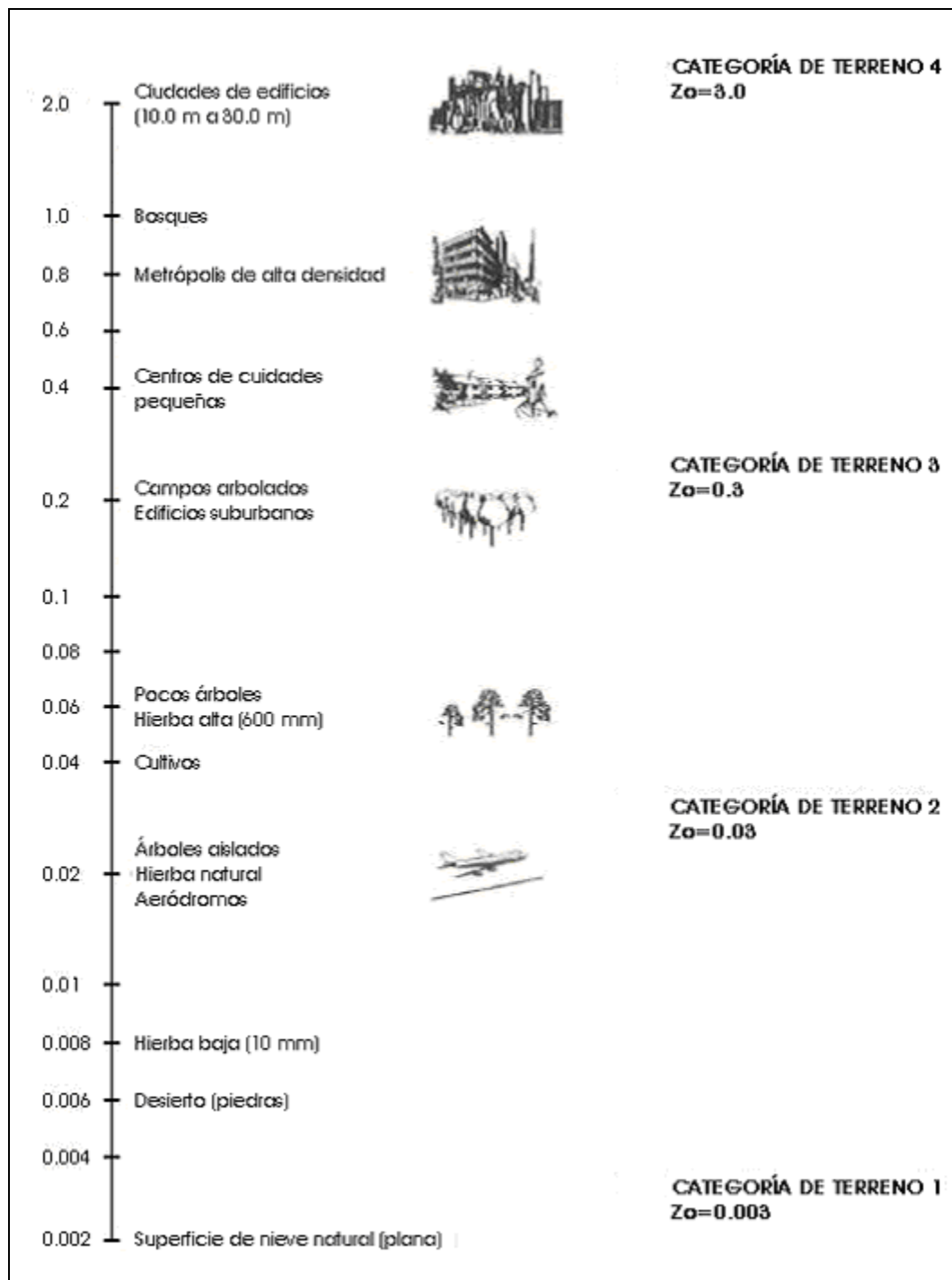


Figura 3.2: Valores de z_0 (m) para distintas condiciones de rugosidad del terreno, (Figura C.2.1 de norma ISO 4354:07).

De acuerdo a resultados de investigación meteorológica [Simiu y Scanlan, 1996, sección 2.2.3], la Ley Logarítmica es válida únicamente dentro de una capa superficial de la atmósfera, definida por una altura z_s . La altura z_s incrementa con la velocidad del viento y con la rugosidad del terreno, y depende de la latitud φ de la siguiente forma.

$$z_s = 68.3 \frac{\bar{V}(z_{ref})}{\sin\phi \ln(z_{ref}/z_0)} [m] \quad \bar{V}(z_{ref}) \text{ en [m/s]} \quad (3.2)$$

La altura a la cual los efectos de la fricción son despreciables se denomina altura geostrófica z_G y su expresión aproximada corresponde a:

$$z_G = 10z_s \quad (3.3)$$

ii.- Ley Potencial

Al igual que la Ley Logarítmica, la Ley Potencial describe la variación de la velocidad del viento con la altura, para una condición determinada exposición del terreno e intervalo de promedio de registros, de la siguiente forma:

$$V(z) = V(z_{ref}) \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3.4)$$

En la ecuación anterior el valor del exponente $1/\alpha$ varía tanto con la exposición del terreno como con el intervalo de promedio de la velocidad del viento considerado, de modo que los perfiles se van haciendo cada vez más planos a medida que el intervalo de promedio decrece. La Tabla 3.2 muestra distintos valores del exponente $1/\alpha$ y de la altura geostrófica z_G , utilizados por distintas normas de diseño de estructuras para calcular la acción del viento. La Ley Potencial es válida hasta la altura geostrófica z_G indicada en la Tabla 3.2, sin embargo es necesario advertir que dicha altura z_G difiere de la calculada a partir de la altura z_s (ecuación 3.3), obtenida de acuerdo a lo indicado en la Ley Logarítmica.

Tabla 3.2: Valor del exponente $1/\alpha$ de Ley Potencial y alturas geostróficas usadas por distintas normas según categoría de exposición e intervalo de promedio.

Norma	Intervalo de promedio	Parámetros	Exposición			
			A ¹	B ²	C ³	D ⁴
ASCE 7-93	milla más rápida	$1/\bar{\alpha}$ Z_G (m)	1/3 457	1/4.5 366	1/7 274	1/10 213
NBCC	1 hora	$1/\alpha$ Z_G (m)	0.4 520	0.28 400	0.16 274	- -
ASCE 7-05	3 segundos	$1/\hat{\alpha}$ Z_G (m)	- -	1/7 366	1/9.5 274	1/11.5 213

Notas:

¹: Exposición correspondiente a centros de ciudades altamente pobladas con edificios altos (20 m a lo menos)

²: Exposición correspondiente a áreas urbanas o suburbanas con predominio de casas u obstrucciones similares

³: Exposición de campo abierto con obstrucciones aisladas de alturas menores de 10 m

⁴: Exposición correspondiente a bordes costeros expuestos a vientos soplando sobre aguas abiertas a 1600 m de distancia como mínimo

De acuerdo a la información mencionada en esta sección, hasta el momento se han descrito dos procedimientos para obtener los perfiles de velocidad del viento con la altura, considerando una determinada exposición (ya sea con la longitud de rugosidad z_0 o bien con el exponente $1/\alpha$ para la Ley Logarítmica y Potencial, respectivamente) y un determinado período de promedio de los registros de velocidades de viento. Estas descripciones, sin embargo, no permiten referir las velocidades del viento a otras categorías de exposición. De acuerdo a esto último, en la siguiente sección se presentan dos metodologías para transformar las velocidades distintas categorías de exposición, basadas en las Leyes Logarítmica y Potencial de la variación de la velocidad con respecto a la altura

3.1.3. Categoría de Exposición y Altura de Medición

En caso en que los registros de viento hayan sido medidos tanto en condiciones de altura como de exposición distintas a las condiciones normalizadas (altura de 10 m y categoría de exposición a campo abierto) es necesario ajustar tales registros para cumplir con las condiciones normalizadas en la que está referida la velocidad básica. A continuación se describen dos procedimientos de ajuste de la condición de rugosidad y altura de medición para registros de vientos promediados o procesados en un intervalo de tiempo en particular. Estos procedimientos son ajustes o variaciones de la Ley Logarítmica y Potencial vistos en la sección anterior.

i.- Ley Logarítmica

La siguiente relación fue propuesta por [Biétry et al, 1978] y es usada actualmente por el ENV 1991-2-4 (Eurocódigo) para describir la velocidad del viento $\bar{V}(z)$ a una altura z , promediada en un intervalo de tiempo de 10 minutos a 1 hora, en una condición de rugosidad definida z_0 , cuando se cuentan con registros de velocidades de viento $\bar{V}(z_{open})$ medidos en una condición de exposición a campo abierto $z_{0\ open}$, a una elevación $z_{open,r}$ promediada en el mismo intervalo de tiempo de 10 minutos a 1 hora.

$$\bar{V}(z) = \bar{V}(z_{open}) \left(\frac{z_0}{z_{0\ open}} \right)^{0.07} \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{open}/z_{0\ open})} \quad (3.5)$$

Debido a que para nuestro estudio, el interés está en determinar la velocidad del viento en una condición de exposición a campo abierto a 10 m de altura cuando se cuenta con información de la velocidad, longitud de rugosidad y altura de medición, se reordenó la expresión anterior, para dejar esta velocidad a un lado de la ecuación, quedando:

$$\bar{V}(z_{open}) = \bar{V}(z) \left(\frac{z_{0\ open}}{z_0} \right)^{0.07} \frac{\ln(z_{open}/z_{0\ open})}{\ln(z/z_0)} \quad (3.6)$$

ii.- Ley Potencial

Dada una velocidad media horaria $\bar{v}(z_{open})$, medida a una altura de referencia de z_{open} sobre un terreno de exposición a campo abierto con un exponente de $1/\alpha_{open}$, la velocidad media horaria $\bar{v}(z)$ a una altura z , sobre un terreno de exposición determinada con un exponente de $1/\alpha$ es:

$$\bar{v}(z) = \bar{v}(z_{open}) \left(\frac{z_{G, open}}{z_{open}} \right)^{\frac{1}{\alpha_{open}}} \left(\frac{z}{z_G} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3.7)$$

El producto de los dos primeros términos del lado derecho de la expresión anterior corresponde a la velocidad medida a la altura geostrófica $v(z_G)$, la cual se asume que es la misma independiente de la condición de exposición considerada. El último término de la derecha transforma la velocidad $v(z_G)$ a la velocidad a una altura z sobre un terreno de rugosidad conocida.

Una expresión similar se obtiene (con los valores apropiados de z_G , α y $\hat{\alpha}$ de la Tabla 3.2) para velocidades promediadas en un intervalo de 3 segundos, denotadas por v_{3s} en vez de v . En la norma ASCE 7-05 v_{3s} (10 m) es denotada por v y el producto de los dos últimos términos, es denotado por $\sqrt{K_z}$.

Al igual que en el caso anterior de la Ley Logarítmica, se despejó la velocidad horaria del viento en una condición de exposición a campo abierto a 10 m de altura, como se muestra en la siguiente expresión:

$$\bar{v}(z_{open}) = \bar{v}(z) \left(\frac{z_{open}}{z_{G, open}} \right)^{\frac{1}{\alpha_{open}}} \left(\frac{z_G}{z} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3.8)$$

3.2. Análisis de Valores Extremos

Como se indicó en el capítulo 2, para el cálculo de la acción del viento sobre una estructura ubicada en una determinada localidad se precisa conocer la máxima velocidad a la que estará sometida durante su vida útil. Para ello, se requiere estimar una velocidad de retorno a partir de registros históricos de velocidades de viento, medidos en el mismo sector donde se encuentra ubicada la estructura.

Esta sección describe la metodología estadística conocida como Análisis de Valores Extremos conducente a la determinación de una velocidad de retorno a partir de los registros históricos de velocidades de viento. Esta metodología consiste en construir una base de datos formada por los valores máximos de la velocidad del viento obtenidos de los registros históricos, para luego ajustarles una función distribución de probabilidad acumulada y así obtener la velocidad de retorno del viento en una

determinada localidad. El procedimiento descrito se resume de manera esquemática en la Figura 3.3.

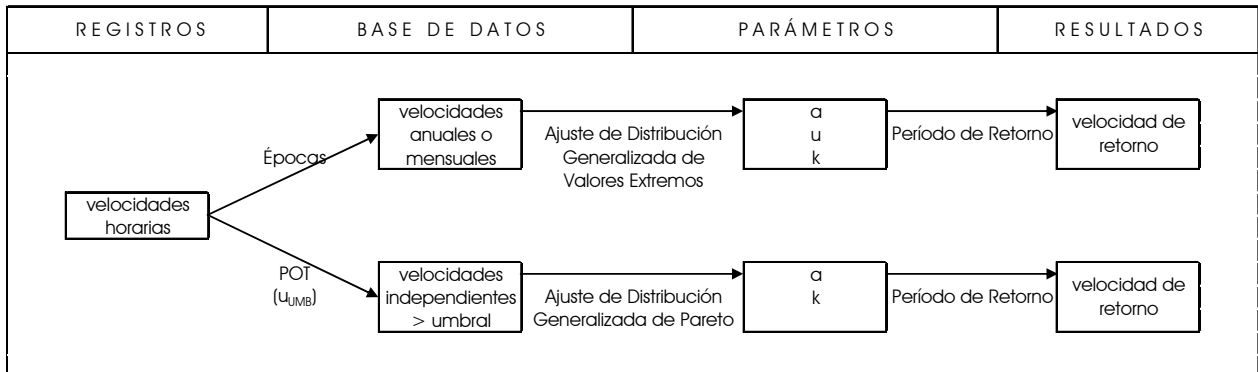


Figura 3.3: Esquema del procedimiento utilizado en la sección 3.2 para la determinación de una valor de velocidad de retorno para una estación.

3.2.1. Generación de Base de Datos

En esta sección se describen dos metodologías utilizadas en la práctica para la generación de la base de datos, las cuales se obtienen a partir de los registros históricos de velocidades de viento en una determinada localidad. Estas metodologías corresponden al método de las Épocas y al método de los "Peaks over Threshold" (POT).

i.- Método de las Épocas

El método de las Épocas construye en una base de datos a partir de los valores máximos de la velocidad del viento alcanzados en una serie dada de períodos de tiempo consecutivos, todos de la misma duración. Normalmente se toman períodos de un año de duración, sin embargo, también se utilizan períodos de un mes (caso mapa de velocidades básicas de vientos de la República Argentina).

El extraer únicamente un valor máximo por año de los datos con que se cuente, obviamente tiene sus limitaciones, en el sentido que puede haber habido muchas tormentas durante un año, y sólo un valor de éstas estaría siendo usado para el análisis. Se podrían considerar períodos más cortos que un año y así aumentar la base de datos, sin embargo, es importante para el Análisis de Valores Extremos, que los datos sean estadísticamente independientes (que no pertenezcan al mismo sistema frontal), lo cual no sucedería en el caso que se usaran, por ejemplo, períodos de un día de duración.

ii.- Método de los "Peaks over Threshold" (POT)

El método POT construye una base de datos a partir de todas aquellas velocidades de viento mayores a un cierto valor umbral. Es necesario que las velocidades de viento sean independientes, es decir, que no pertenezcan al mismo sistema frontal, lo cual se asegura utilizando un algoritmo de partición. Este algoritmo de partición selecciona aquellos valores mayores de la serie de velocidades que estén separados como mínimo por la duración de un intervalo definido previamente. La duración de este intervalo se define como la duración típica de una tormenta en días (4 a 8 días). El algoritmo de partición utilizado en este trabajo de título se obtuvo del sitio web del NIST (http://www.itl.nist.gov/div898/winds/asos-wx/m-files/interval_sep.m).

El algoritmo de partición comienza seleccionando los valores máximos de cada período de 4 días (8 días). Luego compara los instantes correspondientes a los valores máximos del primer y el segundo período. En el caso en que la separación de los instantes en que ocurren estos valores máximos sea mayor al período definido (4 u 8 días), se selecciona el máximo del primer período y se procede a comparar el máximo del segundo período con el máximo del tercero, y así sucesivamente. En el caso en que la separación de los instantes correspondientes a los valores máximos del primer y el segundo período sea menor que el período definido (4 u 8 días), se selecciona el mayor valor entre estos dos máximos y se elimina el menor de la serie de datos. Si estos dos últimos máximos son iguales, se selecciona el máximo del primer período y se elimina el máximo del siguiente. Finalmente el algoritmo continúa secuencialmente con los valores máximos que no han sido eliminados.

A modo de ejemplo, la Tabla 3.3 muestra los valores máximos diarios de la velocidad del viento medida en nudos registradas a comienzos del año 1991 en la Estación DMC – PUDAHUEL. Se destacan en gris aquellos valores obtenidos de una partición que utiliza un intervalo de 8 días de duración.

Tabla 3.3: Valores máximos para la velocidad del viento dentro de período 1 Ene 1991 a 9 Feb 1991, utilizando partición de intervalo de 8 días de duración.

Nº Período	AÑO 1991									Observaciones
	Fecha	1-Ene	2-Ene	3-Ene	4-Ene	5-Ene	6-Ene	7-Ene	8-Ene	
1	Fecha	1-Ene	2-Ene	3-Ene	4-Ene	5-Ene	6-Ene	7-Ene	8-Ene	- Máximo Período = 20 - Separación = 12 días - Se selecciona
	Velocidad (nudos)	20	16	18	18	14	17	18	16	
2	Fecha	9-Ene	10-Ene	11-Ene	12-Ene	13-Ene	14-Ene	15-Ene	16-Ene	- Máximo Período = 20 - Separación = 7 días - Se descarta por ser menor que máximo de período N°3 = 27
	Velocidad (nudos)	15	18	19	16	20	19	18	16	
3	Fecha	17-Ene	18-Ene	19-Ene	20-Ene	21-Ene	22-Ene	23-Ene	24-Ene	- Máximo Período = 27 - Separación = 8 días - Se selecciona
	Velocidad (nudos)	22	14	15	27	14	15	17	15	
4	Fecha	25-Ene	26-Ene	27-Ene	28-Ene	29-Ene	30-Ene	31-Ene	1-Feb	- Máximo Período = 19 - Separación = 8 días - Se selecciona
	Velocidad (nudos)	19	15	16	19	13	16	15	18	
5	Fecha	2-Feb	3-Feb	4-Feb	5-Feb	6-Feb	7-Feb	8-Feb	9-Feb	- Máximo Período = 22 - Separación y selección depende de los valores del período siguiente
	Velocidad (nudos)	13	14	14	22	15	17	17	17	

Una vez que la serie de datos se ha particionado de la manera señalada, se procede a definir una velocidad umbral, a partir de la cual se seleccionarán las velocidades mayores a este valor y que constituirán la base de datos con la cual se estimará una velocidad de retorno para la estación. Si el valor de esta velocidad umbral es demasiado alta, muy pocas velocidades del viento conformarían la base de datos y la ventaja del método se perdería; por otra parte, si el valor de la velocidad umbral es muy chico, la base de datos no sería representativa de los valores máximos de velocidades de viento y se obtendría un valor sesgado para la velocidad de retorno (análogo al caso de considerar estaturas de niños en una muestra utilizada para estimar estaturas de adultos). Simulaciones reportadas por [Gross et al, 1994], sugieren que, en muestras tomadas de poblaciones de valores extremos, se obtienen resultados óptimos si el umbral escogido es tal que el número de excedencias es del orden de 10 por año.

3.2.2. Función de Ajuste de Valores Extremos

De acuerdo a [Simiu y Heckert, 1996], un teorema fundamental en la teoría de los valores extremos [Fisher y Tippett, 1928] establece que un número suficientemente grande de valores de variables independientes e idénticamente distribuidas son descritas por una de tres posibles distribuciones asintóticas de valores extremos: La distribución de Fréchet (cuyo límite superior es infinito), la distribución de Gumbel (cuyo límite superior es también infinito, pero menor que el de la distribución de Fréchet) y la

distribución de Weibull (cuyo límite superior es finito). Estas tres distribuciones corresponden a casos particulares de la Distribución Generalizada de Valores Extremos [Jenkinson, 1955].

De estas tres distribuciones de valores extremos, la distribución de Gumbel y la distribución de Weibull han tenido aceptación entre los climatólogos que estudian el problema de los valores extremos [Simiu y Miyata, 2006, p. 30]. La distribución de Frechet en cambio entrega valores muy grandes, irreal de la situación de vientos de una determinada localidad.

Por otra parte, la Distribución Generalizada de Pareto es una distribución asintótica que puede utilizarse en datos formados por las diferencias o excesos de los valores máximos de observaciones independientes sobre un umbral suficientemente alto en los cuales la Distribución de Poisson aplica. En particular esta distribución es la apropiada para modelar los excesos de vientos máximos de tormentas independientes, sobre un umbral definido, obtenida del método POT [Holmes y Moriarty, 1999, sección 2.4].

A continuación se describirán las ecuaciones y parámetros que definen las funciones de probabilidad acumuladas mencionadas anteriormente. Para ello se utilizarán las expresiones asociadas a los máximos valores extremos (las expresiones correspondiente a los mínimos valores extremos se indican en [Castillo, 1988]). Debido a la gran variedad de notaciones para las funciones de correspondientes a los máximos valores extremos apreciadas en la literatura, se seguirá la notación descrita en [Holmes, 2007].

i.- Distribución Generalizada de Valores Extremos

La función de probabilidad acumulada $F_{gve}(x)$ de la Distribución Generalizada de Valores Extremos puede ser escrita por:

$$F_{gve}(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k(x-u)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} \right\} \quad (3.9)$$

donde:

x = Valores máximos de una serie

k = Parámetro de forma

α = Parámetro de escala

u = Parámetro de ubicación

Para el percentil u_r con período de retorno correspondiente a T_r , la probabilidad acumulada es dada por:

$$F_{gve}(u_R) = 1 - \frac{1}{T_R} \quad (3.10)$$

Combinando estas dos últimas ecuaciones (3.9 y 3.10) tenemos la expresión para la velocidad u_R asociada a un período de retorno T_R , donde "log" denota de ahora en adelante la función logaritmo natural.

$$u_R = u + \frac{a}{k} \left\{ 1 - \left[-\log \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]^k \right\} \quad (3.11)$$

Los tres casos especiales son:

$k=0$ (Distribución Tipo I, también conocida por Distribución de Gumbel)

$k<0$ (Distribución Tipo II, también conocida por Distribución de Frechet)

$k>0$ (Distribución Tipo III, también conocida por Distribución de Weibull)

La Distribución Tipo I (Gumbel), debe ser entendida como el caso límite de $F_{gve}(x)$ cuando k tiende a 0, de modo que consta únicamente de dos parámetros (a y u):

$$F_{gum}(x) = \exp \left\{ -\exp \left[-\frac{(x-u)}{a} \right] \right\} \quad (3.12)$$

Del mismo modo que para la Distribución Generalizada de Valores Extremos, la expresión para la velocidad u_R asociada a un período de retorno T_R , para la Distribución Tipo I (Gumbel), corresponde a:

$$u_R = u - a \log \left\{ -\log \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right\} \quad (3.13)$$

Las Figuras 3.4 y 3.5 muestran la Función Densidad de Probabilidad y la Función de Probabilidad Acumulada de la Función Generalizada de Valores Extremos (máximos) Tipo I (Gumbel) y Tipo III (Weibull), respectivamente. Para esta última se presentan las tres curvas obtenidas para distintos valores del parámetro de forma.

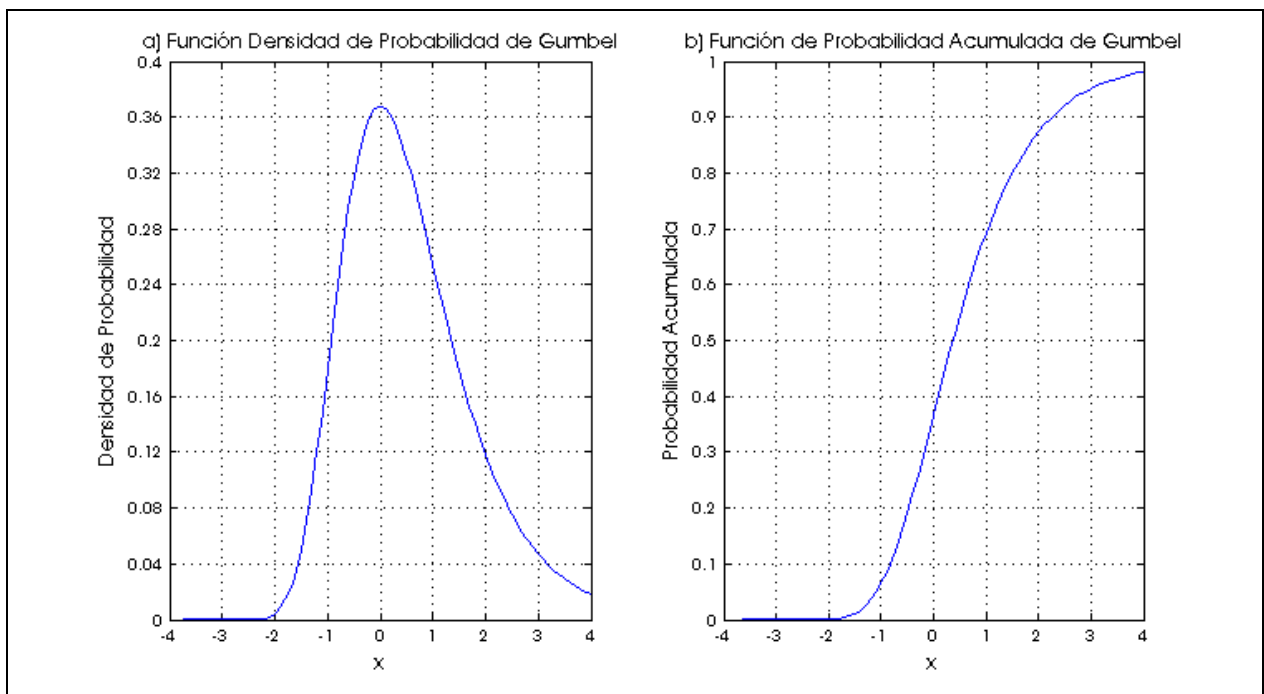


Figura 3.4: Distribución Generalizada de Valores Extremos Tipo I (Gumbel), utilizando $\alpha=1$ y $u=0$.
a) Función Densidad de Probabilidad; b) Función de Probabilidad Acumulada.

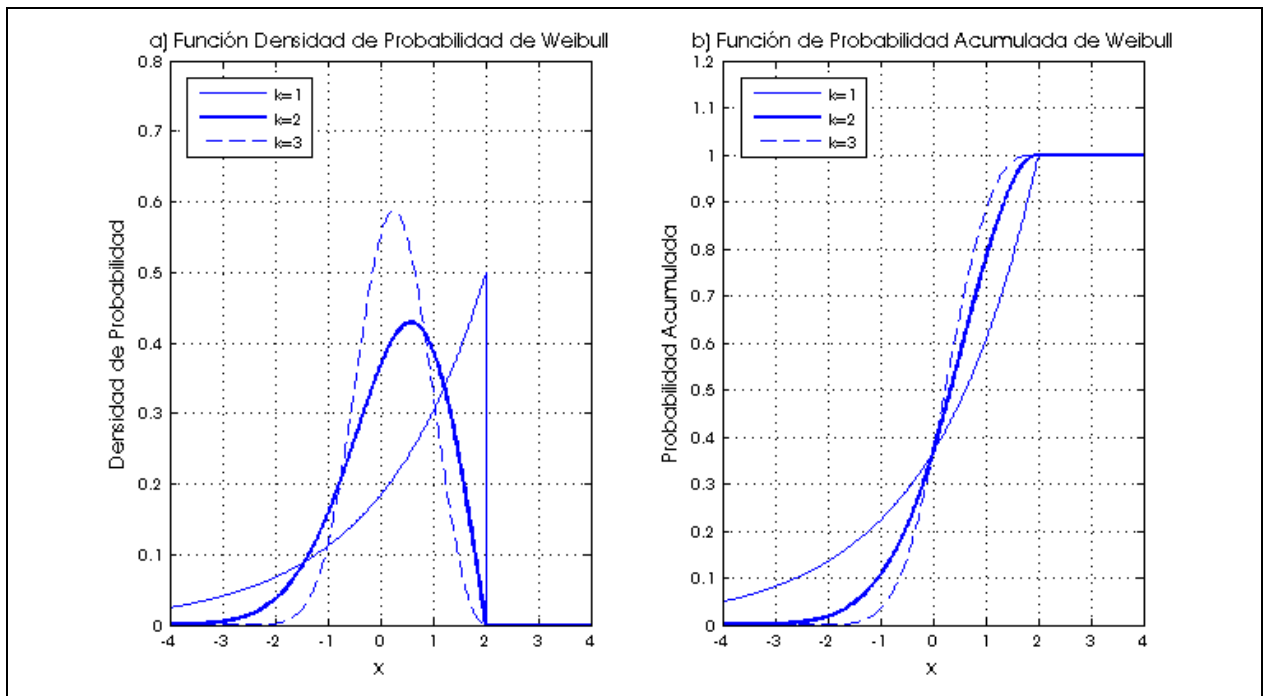


Figura 3.5: Distribución Generalizada de Valores Extremos Tipo III (Weibull) para $k=1, 2$ y 3 , utilizando $\alpha=2$ y $u=2$. a) Función Densidad de Probabilidad; b) Función de Probabilidad Acumulada.

En la Figura 3.6 se pueden apreciar las curvas de la Función Generalizada de Valores Extremos para valores del parámetro de forma k igual a $-0.2, 0$ y 0.2 , las cuales representan respectivamente la Distribución Tipo II (Fréchet), Tipo I (Gumbel) y Tipo III

(Weibull). El eje de las abscisas puede ser entendido como la probabilidad asociada a un determinado valor de la velocidad de retorno en el eje de las ordenadas. De acuerdo a esto último se observa que la Distribución de Weibull está limitada por un valor de la velocidad de retorno, independiente de cuán alta sea la probabilidad considerada. Por otra parte se aprecia que la Distribución de Gumbel, está asociada a valores mayores de la velocidad de retorno que la de Weibull, para todos los valores de probabilidad considerados. Esto último hace entender a la Distribución de Gumbel como un límite conservador de la Distribución de Weibull.

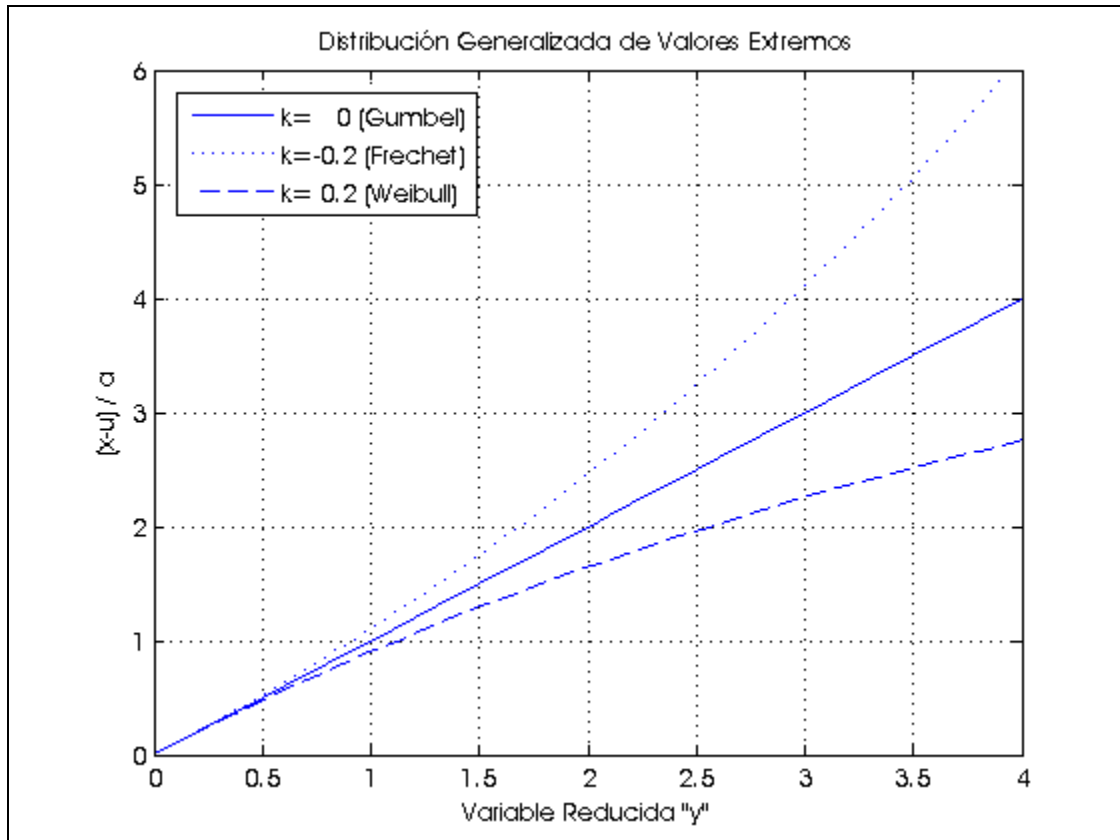


Figura 3.6: Distribución Generalizada de Valores Extremos para $k=0, -0.2$ y 0.2
(Donde variable reducida "y" corresponde a $-\log(-\log(Fgve))$)

ii.- Distribución Generalizada de Pareto

La función de probabilidad acumulada, $Fgp(x)$, de la Distribución Generalizada de Pareto se utiliza para el ajuste de valores de las excedencias de las velocidades de viento sobre un determinado valor umbral u_{UMB} , obtenidas a partir de la metodología POT y puede ser escrita por:

$$Fgp(x) = 1 - \left(1 - \frac{kx}{a}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (3.14)$$

donde:

x = Excedencias de valores máximos de una serie, sobre un valor umbral u_{UMB}

k = Parámetro de forma

a = Parámetro de escala

Si $k \leq 0$, el rango de x es: $0 < x < \infty$

Si $k > 0$, el rango de x es: $0 < x < (a / k)$

Las tres casos derivados de la Distribución Generalizada de Valores Extremos corresponden a las distribuciones de las variables más grandes dentro de un grupo de N que tienen a la Distribución Generalizada de Pareto como su distribución paterna con el mismo factor de forma k [Hosking y Wallis, 1987].

Al igual que en los casos anteriores, la expresión para la velocidad u_R , calculada a partir de los valores umbrales mayores que u_{UMB} , asociada a un período de retorno T_R corresponde a:

$$u_R = u_{UMB} + \frac{a}{k} \left[1 - (\lambda \cdot T_R)^{-k} \right] \quad (3.15)$$

Donde el factor λ corresponde al promedio de cruces por año para una muestra de n datos, obtenidos de una partición registrada dentro de un período de n_{yrs} años:

$$\lambda = \frac{n}{n_{yrs}} \quad (3.16)$$

La Figura 3.7 muestra la Función Densidad de Probabilidad y la Función de Probabilidad Acumulada de la Función Generalizada de Pareto (máximos), para distintos valores del parámetro de forma k .

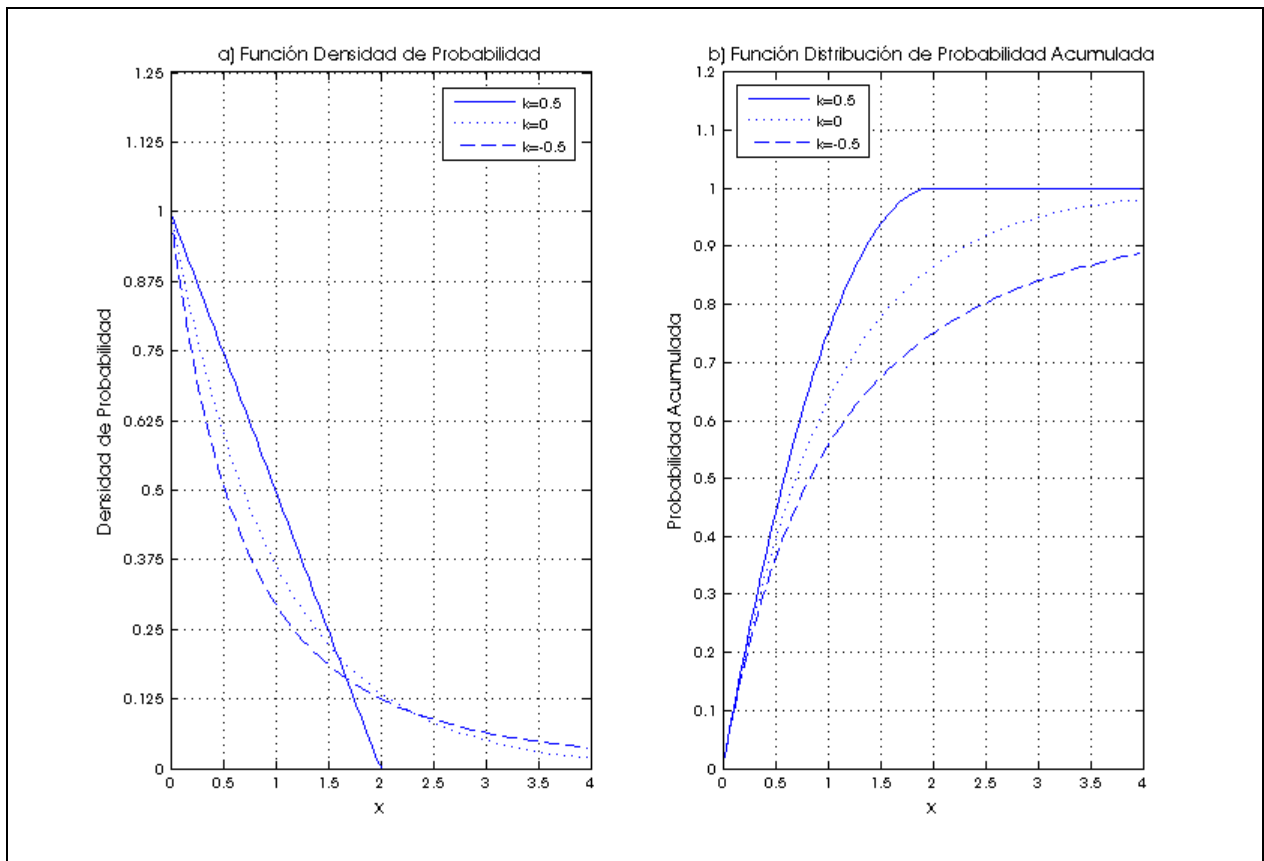


Figura 3.7: Distribución Generalizada de Pareto para $k=0.5$, 0 y -0.5 .
a) Función Densidad de Probabilidad; b) Función de Probabilidad Acumulada.

3.2.3. Métodos de Ajuste de Parámetros

En esta sección se mencionan distintos métodos utilizados en la práctica para la estimación de los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad acumulada descritas en el punto anterior. Los métodos aquí mencionados se aplicarán posteriormente a los registros de viento de las distintas estaciones para obtener los valores de las velocidades de retorno en cada estación. Cada uno de los métodos aquí mencionados han sido aplicados en la práctica, así que se menciona en cada caso la referencia del cual fue obtenido.

i.- Método de los Momentos

El Método de los Momentos corresponde a un método de estimación de los parámetros de una determinada función de distribución y consiste en igualar tantos momentos como parámetros tenga la función de distribución de la muestra de datos. La ventaja del método es su simplicidad, sin embargo, de acuerdo a resultados de simulaciones realizadas [Simiu y Scanlan, 1996, sección 3.2.2], este método no funciona de manera muy precisa para muestras de tamaño igual o inferior a 20 datos y es utilizado frecuentemente para obtener los valores iniciales de otros métodos iterativos.

De acuerdo a [Castillo, 1988, p.185] y [Holmes, 2007, p.35], para el caso de una función distribución de probabilidad acumulada de Gumbel, los parámetros α y u , se pueden estimar de la siguiente forma:

$$\alpha \cong \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi} \right) \cdot \sigma \quad (3.17)$$

$$u \cong \mu - 0.5772 \cdot \alpha \quad (3.18)$$

donde:

σ = desviación estándar muestral

μ = media muestral

Para el caso de una función de distribución tipo Weibull, [Simiu y Miyata, 2006, p.32] y [Simiu y Heckert, 1996] sugieren utilizar un parámetro de forma k con un valor igual a 0.1. En este caso las fórmulas para estimar los parámetros de escala y ubicación son:

$$k = 0.1 \quad (3.19)$$

$$\alpha \cong \sigma_w(k) \cdot k \quad (3.20)$$

$$u \cong \mu_w(k) - \sigma_w(k) \quad (3.21)$$

donde:

$$\sigma_w(k) = \frac{\sigma}{\sqrt{\Gamma(1+2k) - [\Gamma(1+k)]^2}} \quad \text{con } \Gamma = \text{función gamma}$$

$$\mu_w(k) = \mu + \sigma_w \Gamma(1+k)$$

σ = desviación estándar muestral

μ = media muestral

El Método de los Momentos será aplicado tanto a la función distribución acumulada de Gumbel, ajustada a una serie de datos de velocidades de viento formados por los valores máximos anuales, como a una Función Distribución de Weibull con un parámetro de forma k igual a 0.1, ajustada a los mismos datos.

ii. - Máxima Verosimilitud

La estimación de parámetros por el Método de la Máxima Verosimilitud puede ser aplicado a una gran variedad de distribuciones y comienza con una expresión matemática conocida como función similitud de una muestra de datos. En términos generales, la similitud de una muestra de datos es la probabilidad de obtener ese conjunto de datos, dado el modelo elegido probabilidad. Esta expresión contiene parámetros desconocidos, cuyos valores son estimados por medio de la maximización de la similitud de la muestra.

La metodología de la Máxima Verosimilitud trabaja bien para las funciones de distribución acumuladas de Gumbel, Frechet y Weibull, sin embargo la estimación de parámetros no funciona para ciertos dominios del factor de forma de la Distribución Generalizada de Pareto.

Este método será aplicado a las funciones de distribución acumulada de Gumbel, Generalizada de Valores Extremos y Generalizada de Pareto, utilizando para ello los algoritmos del software Matlab.

iii.- Metodología Mapa de Vientos de la República Argentina

A continuación se revisa la metodología utilizada en la confección del mapa de velocidades básicas del viento de la República Argentina, descrita en [Viollaz et al, 1995], la cual se basa en la aplicación de una función de distribución de Gumbel, ajustada por el método de los momentos, a una base de datos formada por los valores máximos mensuales de velocidades de viento.

Esta metodología requiere disponer de observaciones independientes e idénticamente distribuidas con el fin de poder estimar los parámetros de la distribución. Para cumplir con esto último se asumen las siguientes hipótesis y consideraciones:

- a. La velocidad del viento en un lugar determinado se puede considerar como una variable aleatoria que depende del día del año, pero es independiente del año en particular considerado (invariabilidad anual).
- b. Las variables máximas mensuales de un mes en particular siguen una distribución de Gumbel.
- c. Finalmente se considerará que los valores máximos mensuales son independientes.

De acuerdo al documento mencionado se considerará la siguiente matriz de observaciones:

$$\begin{matrix}
 X_{1,1}, X_{1,2}, X_{1,3}, \dots, X_{1,12} \\
 X_{2,1}, X_{2,2}, X_{2,3}, \dots, X_{2,12} \\
 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
 X_{n,1}, X_{n,2}, X_{n,3}, \dots, X_{n,12}
 \end{matrix} \tag{3.22}$$

donde la fila i-ésima contiene las velocidades máximas mensuales del viento correspondiente al año i y n es el número de años observados.

De esta forma los parámetros de escala a y ubicación u, de la función Distribución de Probabilidad Acumulada de Gumbel se pueden estimar de la siguiente forma:

$$\alpha \cong \frac{\sqrt{6}}{\pi} S_p \quad (3.23)$$

$$u \cong \alpha \log \left(\sum_{j=1}^{12} \exp \left(\frac{\xi_j}{\alpha} \right) \right) \quad (3.24)$$

donde:

$$S_p^2 = \frac{1}{12n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} (x_{ij} - x_{prom_j})^2$$

$$x_{prom_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

$$\xi_j = x_{prom_j} - 0.5772 \alpha$$

iv.- Método de la Probabilidad de los Momentos Ponderados

La metodología conocida en la literatura como Método de la Probabilidad de los Momentos Ponderados (probability weighted moments (PWM's)), indicada en [Hosking et al, 1985] y en [Raynal, 2005], se utiliza para la estimación de los tres parámetros de la distribución Generalizada de Valores Extremos ajustada a una serie de datos de velocidades de viento formados por los valores máximos anuales.

Si consideramos que la base de n datos de velocidades máximas anuales se ordena de manera creciente desde el menor valor x_1 al mayor valor x_n , se tiene el siguiente conjunto de PWM's:

$$B_R = [x F(x)^R] \quad \text{con } R=0,1,2,\dots \quad (3.25)$$

De modo que las estimaciones no sesgadas de los primeros tres PWM's están dados por:

$$b_0 = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad (3.26)$$

$$b_1 = \sum_{i=1}^n \frac{X_i(i-1)}{n(n-1)} \quad (3.27)$$

$$b_2 = \sum_{i=2}^n \frac{X_i(i-1)(i-2)}{n(n-1)(n-2)} \quad (3.28)$$

Con estos valores se estiman los parámetros de forma k, de escala a y de ubicación u de la distribución Generalizada de Valores Extremos, tal como se muestra a continuación:

$$k \cong 7.859 c + 2.9554 c^2 \quad (3.29)$$

$$\alpha \cong \frac{(2b_1 - b_0)k}{\Gamma(1+k)(1-2^{-k})} \quad \text{con } \Gamma = \text{función gamma} \quad (3.30)$$

$$u \cong b_0 + \frac{\alpha[\Gamma(1+k) - 1]}{k} \quad (3.31)$$

donde:

$$c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log(2)}{\log(3)} \quad (3.32)$$

La aproximación (3.29) es apropiada para $|k| < 0.5$.

v.- Método de De Haan

Para el caso específico de la Distribución Generalizada de Pareto ajustada a los valores de velocidades de viento obtenidos a partir de la metodología POT, se han desarrollado métodos particulares para la estimación de sus dos parámetros, uno de los cuales corresponde a la metodología de De Haan descrita en [Simiu y Heckert, 1996] y en [Nist, 2005].

El Método de De Haan utiliza como base de datos, todos aquellos valores de una partición, que sean mayores a una velocidad umbral u_{UMB} , de modo que se considere una muestra con D datos.

De acuerdo a la definición del factor λ , considerando una muestra de D datos, obtenidos de una partición registrada dentro de un período de n_{yrs} años, se tiene que:

$$\lambda = \frac{D}{n_{yrs}} \quad (3.33)$$

Ordenando la muestra en orden decreciente, de modo que la mayor, segunda, ..., D-ésima, (D+1)-ésima variable corresponden respectivamente a $x_{n,n}$, $x_{n-1,n}$, ..., $x_{n-(D-1),n}$, $x_{n-D,n} \equiv u_{umb}$, se calculan los parámetros:

$$M_n^{(r)} = \frac{1}{D} \sum_{i=0}^{D-1} [\log(x_{n-i,n}) - \log(x_{n-D,n})]^r \quad \text{con } r = 1, 2 \quad (3.34)$$

Las estimaciones del parámetro de forma k, y del parámetro de escala a corresponden a:

$$k \cong \frac{1}{2 \left[1 - \frac{[M_n^{(1)}]^2}{M_n^{(2)}} \right]} - M_n^{(1)} - 1 \quad (3.35)$$

$$\alpha \cong u_{UMB} \frac{M_n^{(1)}}{\rho_1} \quad (3.36)$$

donde:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 1 \text{ para } k \leq 0 \\ \rho_1 &= 1(1+k) \text{ para } k \geq 0 \end{aligned} \quad (3.37)$$

vi.- Métodos Gráficos

Para el caso de una función de distribución de probabilidad acumulada de Gumbel, [Holmes, 2007, pp.33-34] muestran dos métodos gráficos para estimar los parámetros de las distribuciones de valores anuales obtenidos por la metodología de épocas, los cuales utilizan la linealidad de la relación entre la velocidad calculada para un cierto período de retorno T_R y la variable reducida "y". Estos métodos corresponden al Método Gráfico de Gumbel y al Método Gráfico de Gringorten.

vi.- a) Método Gráfico de Gumbel

Considerando un factor de escala "a" y un factor de ubicación "u", se tiene que la expresión para la velocidad asociada a un período de retorno T_R , utilizando una distribución de probabilidad acumulada de Gumbel corresponde a:

$$u_R = u + a \left\{ -\log \left[-\log \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right] \right\} \quad (3.38)$$

Se describen a continuación secuencialmente los pasos del procedimiento del Método Gráfico de Gumbel:

- a. Si consideramos que la base de datos formada por los valores máximos anuales de la velocidad de viento obtenidos por la metodología de épocas consta de N valores, se procede a ordenarlos de forma creciente, asociándole los siguientes valores del más chico al más grande: 1, 2, ..., m, ..., N
- b. Se define una probabilidad p de no excedencia, asociada a cada uno de los valores de la muestra, de la siguiente forma:

$$p \cong \frac{m}{N+1} \quad (3.39)$$

- c. Se define la variable reducida "y", la cual corresponde a una estimación del término entre llaves {} de la ecuación (3.38), de la siguiente forma:

$$y = -\log(-\log(p)) \quad (3.40)$$

- d. Finalmente se grafican los distintos valores de las velocidades del viento que forman parte de la base de datos en función del valor de su variable reducida. La pendiente y el coeficiente de posición de la línea recta que mejor ajusta los datos corresponde a los valores del factor de escala "a" y del factor de ubicación "u", respectivamente.

vi.- b) Método Gráfico de Gringorten

Debido a la distorsión en los valores de la variable p (ecuación 3.39), para los valores cercanos a 1, necesariamente se obtienen valores sesgados para la estimación de los parámetros de la función distribución de probabilidad acumulada de Gumbel. A raíz de esto último surge el Método Gráfico de Gringorten, el cual corresponde a una alternativa sencilla para minimizar el sesgo anteriormente mencionado y consiste en una modificación del valor de la variable p del Método Gráfico de Gumbel, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$p \cong \frac{(m-0.44)}{(N+1-0.88)} = \frac{(m-0.44)}{N+0.12} \quad (3.41)$$

Los valores del factor de escala "a" y del factor de ubicación "u" determinados por este nuevo método corresponden respectivamente a la pendiente y el coeficiente de posición de la línea recta que mejor ajusta los valores para las velocidades del viento que forman parte de la base de datos, graficadas en función de este nuevo valor de la variable p.

vi.- c) Conditional Mean Exceedance

Para el caso particular de la Distribución Generalizada de Pareto, [Davison y Smith, 1990], revisan el método "Conditional Mean Exceedance", el cual utiliza un parámetro definido como CME y los distintos valores umbrales, bajo una serie de condiciones.

En el caso en que los excesos sobre un valor umbral u_{UMB} , ajustados por una función Distribución Generalizada de Pareto con parámetro de forma k y parámetro de escala a, cumplan que $k > -1$, $u_{UMB} > 0$ y $(a - u^*k) > 0$, el gráfico del parámetro CME en función de los distintos valores umbrales, seguiría una línea recta, cuya pendiente y coeficiente de posición corresponderían respectivamente a $\frac{-k}{1+k}$ y $\frac{a}{1+k}$.

La linealidad de la recta que mejor ajusta los datos, correspondería a un indicador de lo apropiado que sería la estimación de los parámetros a y k.

A continuación se describe la secuencia utilizada para el cálculo del parámetro CME, para distintos valores de la velocidad umbral u_{UMB} .

- a. Se seleccionan y ordenan de manera creciente todas aquellas velocidades mayores que un cierto valor umbral específico u_{UMB}^{MIN} .
- b. Para las velocidades seleccionadas en el paso anterior, se itera desde el valor u_{UMB}^{MIN} hasta un valor u_{UMB}^{MAX} mayor que este último. Se recomienda que el valor u_{UMB}^{MAX} sea tal que no se tengan menos que 10 velocidades sobre él [Holmes, 2007, p.40].
- c. Para una velocidad u correspondiente a una iteración en particular se calcula el valor parámetro CME asociado, el cual corresponde simplemente al promedio de las diferencias entre todas aquellas velocidades mayores que u , y el valor de u .

4. BASE DE DATOS

En este capítulo se describen los registros de velocidades de viento disponibles para la realización del estudio, indicando aspectos relativos a sus condiciones de medición. Estos registros fueron proporcionados por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Finalmente se establecen los distintos criterios de selección utilizados para establecer las once estaciones ubicadas a lo largo de Chile en las cuales se determinaron los valores de la velocidad básica del viento.

4.1. Registros de Viento de Estaciones CNE

Los registros proporcionados por la CNE para la realización de este estudio corresponden a los medidos en distintas estaciones utilizadas en los estudios: "Proyecto Eolo – Evaluación del potencial eólico nacional" [Departamento de Geofísica, 1993], "Mejoramiento del conocimiento del recurso eólico en el norte y centro del país" [Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2003] y "Mejoramiento del conocimiento y administración de la información eólica en Chile" [Cere, 2005]. En adelante, para este trabajo de título, estos estudios serán denominados Eolo 1993, Eolo 2003 y Eolo 2005, respectivamente.

En estos estudios se persiguió mejorar el conocimiento del recurso eólico con miras a evaluar el potencial de energía eólica disponible en las diversas regiones del país. Para cumplir con este objetivo, en estos estudios se recopilaron, procesaron y analizaron estadísticamente, registros de velocidades de vientos medidos en distintas estaciones a lo largo de Chile, determinando características generales del ciclo anual y diario del régimen de viento, la densidad de potencia eólica media y otros parámetros estadísticos.

Se debe indicar que una cantidad importante de tales estaciones no fue instalada con fines de prospección eólica y su emplazamiento, por tanto, no busca detectar los puntos de mayor potencial eólico en una determinada área, sino que en ocasiones persigue objetivos distintos y a veces contrapuestos (por ejemplo estaciones de monitoreo de calidad del aire, ubicadas en zonas de escasa circulación de aire y frecuentes estancamientos).

La totalidad de los registros de vientos analizados en los proyectos Eolos provienen de mediciones realizadas con equipos registradores, donde se advierte una gran variedad de instrumentos y formatos de registro, en cuanto a alturas de medición, condiciones de exposición de la estación, intervalos de promedio de registros y tiempo de medición de datos. Con el objetivo de uniformar tal cantidad de información, en los 3 estudios que se tuvo a la vista se realizó un procesamiento a nivel horario de los datos.

El procesamiento de registros de vientos realizado en los proyectos Eolos consistió en la confección de una planilla Excel para cada estación recopilada, en las cuales una hoja contiene los datos de la velocidad en (m/s) y otra, los datos de la dirección del

viento ambos a nivel horario. Esta planilla se utilizó para verificar la calidad de la serie original de datos disponibles, detectando y corrigiendo datos que parecieron erróneos (datos individuales, alejados de los registrados).

Como se verá más adelante en el capítulo, es posible utilizar los resultados de este procesamiento, para el cálculo de las velocidades básicas en las distintas estaciones consideradas.

4.1.1. Descripción de los Estudios Eolos Considerados

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los estudios Eolos, caracterizando los datos de vientos recopilados en ellos.

i.- Eolo 1993

El objetivo principal de este proyecto fue la confección de un atlas de disponibilidad de energía eólica a nivel nacional. Para ello se recopiló y procesó datos de vientos de más de 50 estaciones disponibles a esa fecha, ubicadas a lo largo del país, y operadas por una variada gama de instituciones y personas que mantuvieron en operación redes de estaciones meteorológicas. Paralelamente se realizaron mediciones de viento en seis lugares del país.

La información recopilada provino de registros continuos en bandas de papel o medios magnéticos, o bien desde anotaciones realizadas por observadores en base a una apreciación visual, ya sea del sensor mismo o de un panel de registro.

El resto de los datos recopilados en este informe (en total 29 estaciones) corresponde a información entregada en archivos computacionales y contienen resultados de estaciones dentro de las que se seleccionaron las que cumplieron con los criterios de selección establecidos en la sección 4.3.

ii.- Eolo 2003

El objetivo principal de este estudio fue el mejorar el conocimiento del potencial del recurso eólico entre la I y IX región del país, y avanzar en su precisión para el sector centro norte del país. Para ello se recopilaron los resultados de las estaciones reportadas en el informe Eolo 1993 y se reunió adicionalmente información a nivel horario de 58 estaciones (no pertenecientes a la DMC) ubicadas entre la III y la V región.

iii.- Eolo 2005

El objetivo principal de este estudio fue el mejorar la sistematización del conocimiento del potencial del recurso eólico entre la Región Metropolitana y X Región del país, utilizando un sistema para la administración y difusión pública de la información eólica, complementando la información recopilada en el estudio Eolo 2003.

Como base de este estudio, se utilizó la información resultante del proyecto Eolo 1993 y se recopiló adicionalmente la información disponible a esa fecha de registros horarios de viento de 51 estaciones (no pertenecientes a la DMC) en el área analizada, con una descripción detallada de todas las características de las estaciones y su entorno relevante para la evaluación del recurso eólico y para la aplicación de modelos de simulación de campos de viento.

4.2. Registros de Viento de Estaciones DMC

Adicionalmente a los registros obtenidos de los estudios Eolos anteriormente descritos, la DMC facilitó registros de velocidades de viento hasta el año 2005, medidos en 45 estaciones operadas por la DMC a lo largo de Chile. Los registros obtenidos de estas estaciones se obtuvieron a partir de entre 5 y 16 años de observación, algunas de las cuales miden datos únicamente durante el día. Ver Tabla 4.1.

De acuerdo a lo informado por la DMC, todas las estaciones se ubican en aeródromos o sitios de exposición similar, y los sensores se encuentran a 10 m sobre el nivel del terreno. Se tienen formatos de registro manual (datos correspondientes a anotaciones realizadas por observadores en base a una apreciación visual de un dial) y automático (datos correspondientes a mediciones de estaciones automáticas de registro, programadas para tal fin) en algunas de las estaciones.

Los registros de viento se encuentran medidos en nudos ($= 0.51 \text{ m/s} = 1.85 \text{ km/h}$), separados horariamente por dirección e intensidad y corresponden al promedio sobre los últimos 10 minutos de cada hora.

Tabla 4.1: Identificación de estaciones DMC recopiladas en este trabajo.

Nº	ESTACION	LATITUD (S)	LONGITUD (O)	Régimen de Registros	Cantidad de años
1	DMC - ARICA	18° 20'	70° 20'	24 hrs	15
2	DMC - CAMIÑA	19° 19'	69° 26'	24 hrs	5
3	DMC - PICA	20° 29'	69° 19'	24 hrs	5
4	DMC - IQUIQUE	20° 32'	70° 11'	24 hrs	15
5	DMC - CALAMA	22° 27'	68° 55'	Diurno	15
6	DMC - TOCONAO	23° 11'	68° 11'	24 hrs	5
7	DMC - ANTOFAGASTA	23° 26'	70° 26'	24 hrs	15
8	DMC - EL SALVADOR	26° 19'	69° 37'	24 hrs	5
9	DMC - COPIAPO	27° 18'	70° 25'	24 hrs	5
10	DMC - HUASCO	28° 28'	71° 13'	24 hrs	5
11	DMC - VALLENAR	28° 35'	70° 46'	24 hrs	5
12	DMC - LA SERENA	29° 54'	71° 12'	24 hrs	15
13	DMC - OVALLE	30° 34'	71° 11'	24 hrs	5
14	DMC - LOS VILOS	31° 51'	71° 31'	24 hrs	5
15	DMC - LOS LIBERTADORES	32° 52'	70° 10'	24 hrs	5
16	DMC - PUDAHUEL	33° 23'	70° 47'	24 hrs	15
17	DMC - TOBALABA	33° 27'	70° 32'	24 hrs	5
18	DMC - STO DOMINGO	33° 36'	71° 38'	24 hrs	5
19	DMC - NAVIDAD	33° 57'	71° 50'	24 hrs	5
20	DMC - RANCAGUA	34° 08'	70° 43'	24 hrs	5
21	DMC - PICHILEMU	34° 24'	72° 00'	24 hrs	5
22	DMC - CURICO	34° 58'	71° 14'	24 hrs	5
23	DMC - CHILLAN	36° 34'	72° 02'	24 hrs	5
24	DMC - CONCEPCION	36° 47'	73° 03'	24 hrs	16
25	DMC - LAS TRANCAS	36° 54'	71° 27'	24 hrs	5
26	DMC - LOS ANGELES	37° 24'	72° 26'	24 hrs	5
27	DMC - LEBU	37° 39'	73° 38'	24 hrs	5
28	DMC - TEMUCO	38° 45'	72° 38'	24 hrs	15
29	DMC - PUCON	39° 21'	71° 40'	24 hrs	5
30	DMC - VALDIVIA	39° 38'	73° 05'	24 hrs	5
31	DMC - LAGO RANCO	40° 18'	72° 41'	24 hrs	5
32	DMC - OSORNO	40° 36'	73° 04'	24 hrs	5
33	DMC - PUERTO MONTT	41° 26'	73° 07'	24 hrs	15
34	DMC - CASTRO	42° 29'	73° 47'	24 hrs	5
35	DMC - CHAITEN	42° 55'	72° 43'	Diurno	15
36	DMC - QUELLON	43° 10'	73° 43'	Diurno	15
37	DMC - FUTALEUFU	43° 12'	71° 49'	Diurno	15
38	DMC - PALENA	43° 38'	71° 47'	Diurno	15
39	DMC - AYSEN	45° 24'	73° 40'	24 hrs	5
40	DMC - COYHAIQUE	45° 35'	72° 07'	Diurno	15
41	DMC - BALMACEDA	45° 54'	71° 43'	Diurno	15
42	DMC - CHILE CHICO	46° 32'	71° 41'	Diurno	15
43	DMC - COCHRANE	47° 14'	72° 33'	Diurno	15
44	DMC - VILLA OHIGGINS	48° 55'	73° 00'	24 hrs	5
45	DMC - PUNTA ARENAS	53° 00'	70° 51'	24 hrs	14

4.3. Criterios de Selección de Estaciones

Debido a la gran cantidad y variado origen de los registros de vientos reunidos en este trabajo, se advirtieron distintas condiciones de medición de los registros de viento en cuanto a: altura del sensor, ubicación y condiciones de exposición de la estación y representatividad y longitud del registro, lo que hizo necesario establecer algunos criterios de selección para definir las estaciones a utilizar en nuestro estudio. A continuación se describen los criterios de selección utilizados.

4.3.1. Longitud del Registro

Se consideraron únicamente aquellas estaciones que tuvieran registros de, a lo menos, 10 años de datos, siguiendo los lineamientos utilizados en la confección del anterior mapa de vientos de la norma ASCE 7 (ASCE 7-93), así como del actual mapa de vientos de la República Argentina. Como se explicará en la sección 5.3, las velocidades estimadas a partir de registros de menor extensión, no resultan representativas y pueden llevar a valores sesgados de la velocidad básica en una determinada localidad.

4.3.2. Representatividad del Registro

En general las mediciones más antiguas de las velocidades del viento corresponden a observaciones basadas en la apreciación visual de un dial o de un registro continuo del viento realizada por el operador de una estación durante el lapso de algunos minutos. Desde el punto de vista de diseño estructural, se considera que esta información presenta limitaciones importantes, debido a que caracteriza un período de tiempo muy breve que no representa en forma adecuada los valores extremos en el intervalo entre observaciones. Esta situación es particularmente limitante en los casos cuando se realizan sólo tres o cuatro observaciones diarias, o bien cuando se realizan únicamente mediciones diurnas. Por estas razones, no se consideraron los resultados del procesamiento de datos realizados en los estudios Eolos para las estaciones pertenecientes a la DMC, ni las velocidades del viento de aquellas estaciones con un régimen de registro diurno, mostradas en la Tabla 4.1.

4.3.3. Altura del Sensor

Se consideraron únicamente las estaciones con información referente a la altura en la que se ubica el sensor. En el caso que la medición haya sido realizada a una altura distinta a los 10 m, se utilizarán los procedimientos correctivos descritos en la sección 3.1 para normalizar los resultados a una altura de 10 m.

4.3.4. Ubicación y Condiciones de Exposición de la Estación

Se consideraron únicamente las estaciones con información referente a la condición de exposición en la que se encuentra la estación. Para las estaciones que no se ubiquen en un terreno a campo abierto, ni en alguna de las exposiciones caracterizadas en la Tabla 3.1, se hace necesario contar con el valor de Z_0 o $1/\alpha$.

asociado a la exposición del terreno, de modo de aplicar correctamente los procedimientos correctivos descritos en la sección 3.1 para normalizar los resultados.

4.4. Estaciones Seleccionadas

La Tabla 4.2 presenta un resumen de las once estaciones seleccionadas en este estudio de acuerdo a los criterios establecidos en la sección anterior, cuyos registros serán utilizados en el cálculo de un valor de la velocidad básica del viento. Las estaciones se encuentran ordenadas por latitud y se indica su nombre, latitud y longitud, altura del sensor, longitud de rugosidad del entorno (z_0), período de registro, número de años completos con registros y una referencia de la obtención de la información.

De acuerdo a lo informado por la DMC, todas sus estaciones tienen el sensor ubicado a una altura de 10 m sobre el nivel del terreno y su exposición corresponde a campo abierto. Considerando esto último, se utilizó un valor de la longitud de rugosidad z_0 del terreno igual a 0.02 m, de acuerdo a lo indicado por la norma ASCE 7-05 para esa exposición (ver Tabla 3.1).

Por otra parte, la altura del sensor y el valor de la longitud de rugosidad del terreno para aquellos registros de velocidades del viento de las estaciones proporcionadas por la CNE, se obtuvo de acuerdo a lo indicado en los informes Eolos correspondientes.

Tabla 4.2: Identificación de estaciones seleccionadas para el estudio.

Nº	Nombre	Latitud S	Longitud O	Altura del sensor (m)	Rugosidad z_0 (m)	Período	Años	Referencia
1	DMC - ARICA	18° 20'	70° 20'	10	0.02 ¹	Ene/91 - Dic/05	15	Registro DMC
2	DMC - IQUIQUE	20° 32'	70° 11'	10	0.02 ¹	Ene/91 - Dic/05	15	Registro DMC
3	DMC - ANTOFAGASTA	23° 26'	70° 26'	10	0.02 ¹	Ene/91 - Dic/05	15	Registro DMC
4	DMC - LA SERENA	29° 54'	71° 12'	10	0.02 ¹	Ene/91 - Dic/05	15	Registro DMC
5	EOLO - LENGUA DE VACA	30° 14'	71° 38'	3,75	0.005 ²	Sep/90 - Abr/03	12	EOLO 2003
6	DMC - PUDAHUEL	33° 23'	70° 47'	10	0.02 ¹	Ene/91 - Dic/05	15	Registro DMC
7	EOLO - ENAP BÍO-BÍO	36° 46'	73° 07'	10	0.3183	May/93 - Dic/04	11	EOLO 2005
8	DMC - CONCEPCION	36° 47'	73° 03'	10	0.02 ¹	Ene/90 - Dic/05	16	Registro DMC
9	DMC - TEMUCO	38° 45'	72° 38'	10	0.02 ¹	Ene/91 - Dic/05	15	Registro DMC
10	DMC - PUERTO MONTT	41° 26'	73° 07'	10	0.02 ¹	Ene/91 - Dic/05	15	Registro DMC
11	DMC - PUNTA ARENAS	53° 00'	70° 51'	10	0.02 ¹	Ene/91 - Dic/04	14	Registro DMC

Notas:

¹: Longitud de rugosidad z_0 correspondiente a una categoría de exposición de campo abierto según norma ASCE 7-05 (ver Tabla 3.1)

²: Se corrigió el valor 0.03 indicado en estudio a 0.005 de acuerdo a norma ASCE 7-05 (ver Tabla 3.1) para sitios con exposición costera (Categoría D)

Si bien los registros de velocidades de viento del resto de las estaciones no serían apropiados para el cálculo de las velocidades básicas, en el Apéndice A se presenta, a modo informativo, un resumen con las características principales de medición de velocidades para el total de estaciones disponibles en este trabajo, así como un resumen de las velocidades máximas anuales obtenidas de sus registros originales.

5. VELOCIDADES BÁSICAS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la normalización y aplicación de las distintas metodologías estadísticas de análisis de valores extremos revisadas en la capítulo 3 a los registros de velocidades de viento medidos en la estación DMC - PUDAHUEL. Se consideraron aspectos tales como el largo del registro, error muestral, intervalo de promedio, altura del anemómetro, calidad de los datos y exposición del terreno, de acuerdo a lo señalado en el capítulo 6.5.4.2 de la Norma ASCE 7-05 "Estimación de velocidades básicas a partir de datos climáticos regionales".

De acuerdo a los resultados obtenidos se selecciona y aplica una única metodología estadística a las diez estaciones restantes para determinar once valores de la velocidad básica del viento en Chile.

Finalmente se comenta acerca de los errores implícitos en los resultados obtenidos y se discute la posibilidad de generar un mapa de vientos para Chile a partir de ellos.

5.1. Aplicación Metodológica a una Estación

Con el objetivo de determinar distintos valores para las velocidades de retorno, en esta sección se aplican las metodologías estadísticas de análisis de valores extremos revisadas en la sección 3.2 a los datos básicos de vientos medidos en la estación DMC - PUDAHUEL. Posteriormente se aplica el procedimiento de normalización de los registros de vientos revisado en la sección 3.1 a las velocidades de retorno calculadas anteriormente para referirlas bajo las condiciones estandarizadas que utiliza la norma ASCE-7 para el cálculo de las cargas sobre las estructuras.

Los datos disponibles para la estación DMC - PUDAHUEL corresponden a un registro horario de 15 años de velocidades de viento, medidas a 10 m de altura en condiciones de exposición a campo abierto, a partir del 1 de enero del año 1991. Las velocidades están registradas en nudos y caracterizadas por el promedio sobre los últimos 10 minutos de cada hora.

Previo a la aplicación de los distintos procedimientos estadísticos, es necesario revisar la calidad de los registros básicos de las velocidades de viento medidas en las distintas estaciones meteorológicas. Para esto se realizaron una serie de gráficos, los cuales se detallan a continuación bajo el título de estadística básica.

5.1.1. Estadística Básica

Para revisar la calidad de los registros básicos de las velocidades de viento y detectar problemas de falta de datos, cambios en su registro o bien valores anómalos, se confeccionó, para cada una de las estaciones seleccionadas en este estudio, una tabla tipo y una serie de gráficos (ver Apéndice B). La tabla tipo muestra información general de la estación, una síntesis de los datos registrados en ella y de sus condiciones de medición, y un resumen de resultados estadísticos obtenidos a partir de las velocidades máximas diarias del viento.

La Tabla 5.1, corresponde a la tabla tipo confeccionada para la estación DMC - PUDAHUEL. En ella se puede apreciar que las características de los registros (altura del sensor y longitud de rugosidad z_0) corresponden a lo indicado en la Tabla 4.2. Por otra parte se observa que sólo existen 62 datos faltantes, por lo que no hay una gran pérdida de información. Finalmente se tiene que el máximo valor medido de la velocidad del viento corresponde a 34 nudos.

Tabla 5.1: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC - PUDAHUEL.

Nombre Estación:	DMC - PUDAHUEL	
Ubicación:	33° 23' LS	70° 47' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	15 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	131434	datos
Datos Faltantes:	62	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	11.5	[nudos]
Desviación Estándar σ :	3.9	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	34	[nudos]

Los gráficos a su vez muestran el total de datos disponibles, las características del ciclo anual y diario, la distribución de los datos y resúmenes globales para las velocidades de viento registradas en cada estación.

La primera serie de gráficos confeccionados para la estación DMC - PUDAHUEL, consistió en 3 figuras (Figura 5.1a, Figura 5.1b y Figura 5.2) generadas a partir de las velocidades horarias registradas en la estación, las cuales muestran la serie completa de datos, un histograma con las velocidades horarias registradas y una visualización conjunta del ciclo diario y anual de velocidades.

La Figura 5.1a muestra que no existen períodos extensos con falta de datos, o cambios en el registro de los mismos (ya sea de la altura del sensor, cambio en las unidades de medición u otro). Por otra parte los valores se encuentran dentro de rangos esperables para la ubicación de la estación y se pudo apreciar que los valores anormalmente altos corresponden a peaks dentro de una serie de valores grandes, los que pueden ser asociados a alguna tormenta en particular. El histograma de esta serie de datos (Figura 5.1b) muestra un predominio de registros de velocidades bajas entre los 0 y 5 nudos.

La Figura 5.2 por su parte muestra las características del ciclo diario y anual de la velocidad del viento en el sector central. Se observa un marcado ciclo diario debido a las brisas de ladera o valle (propios del sector de los valles centrales) en los meses de noviembre a marzo, durante las horas UTC 20 a 22 (16 a 18 hora local). Este ciclo diario se ve atenuando durante los meses de Mayo a Agosto.

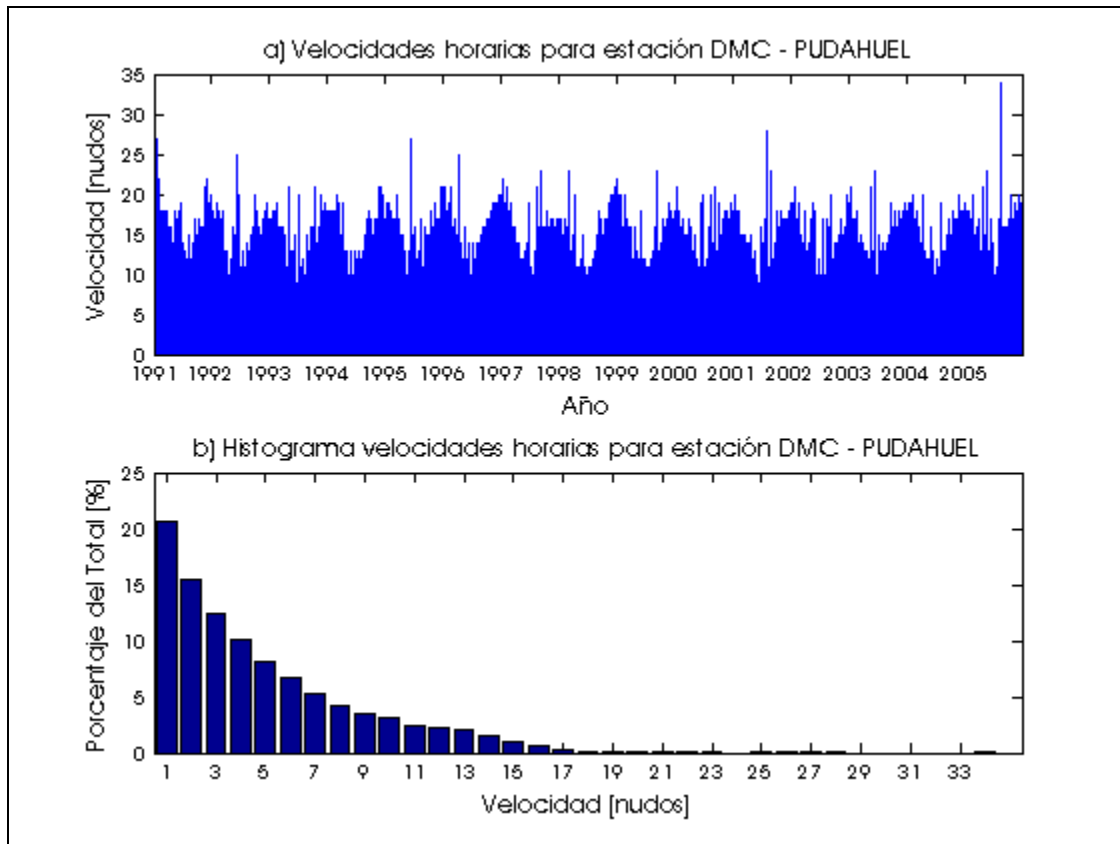


Figura 5.1: Velocidades horarias del viento registradas en la estación DMC – PUDAHUEL para los años 1991 a 2005: a) Gráfico de la serie completa de velocidades; b) Histograma de la serie completa de velocidades.

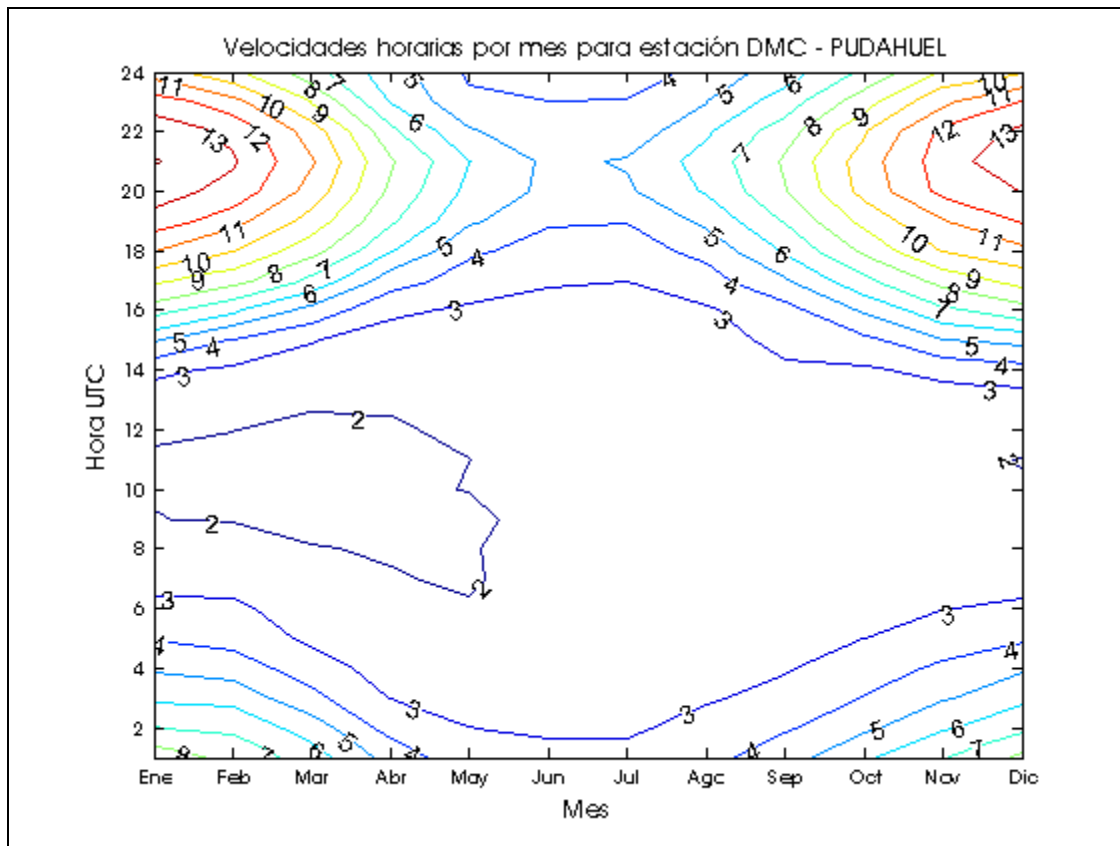


Figura 5.2: Gráfico de contornos con velocidades horarias del viento en nudos, promediadas mensualmente en estación DMC - PUDAHUEL durante los años 1991 a 2005.

La segunda serie de gráficos consta también de 3 figuras (Figura 5.3a, Figura 5.3b y Figura 5.4) generadas esta vez a partir de los máximos diarios de las velocidades horarias registradas en la estación. Estos gráficos muestran la serie completa y un histograma con los valores máximos diarios, y un gráfico de cajas con las distribuciones de los valores máximos desagregados mensualmente.

Con respecto a la serie de los máximos diarios de la Figura 5.3a, se advierte un marcado comportamiento del ciclo anual, caracterizado por valores más altos para el período de verano. El histograma de estos datos a su vez (Figura 5.3b) muestra un predominio de registros entre los 5 y 15 nudos. Se observa también que la distribución de las velocidades horarias de la serie completa (Figura 5.1b) es distinta a la de las velocidades máximas diarias (Figura 5.3b), y que dentro de este último grupo las velocidades mayores a 20 nudos corresponden a eventos atípicos que ocurren en forma esporádica.

Finalmente en la Figura 5.4 se puede apreciar el ciclo anual de la velocidad del viento en el sector central, caracterizado por un leve aumento general de la intensidad del viento durante el período de verano (meses de Diciembre a Febrero). Por otra parte se aprecia que los vientos más intensos ocurren durante el invierno (meses de Abril a Agosto), los cuales se asocian al paso de sistemas frontales.

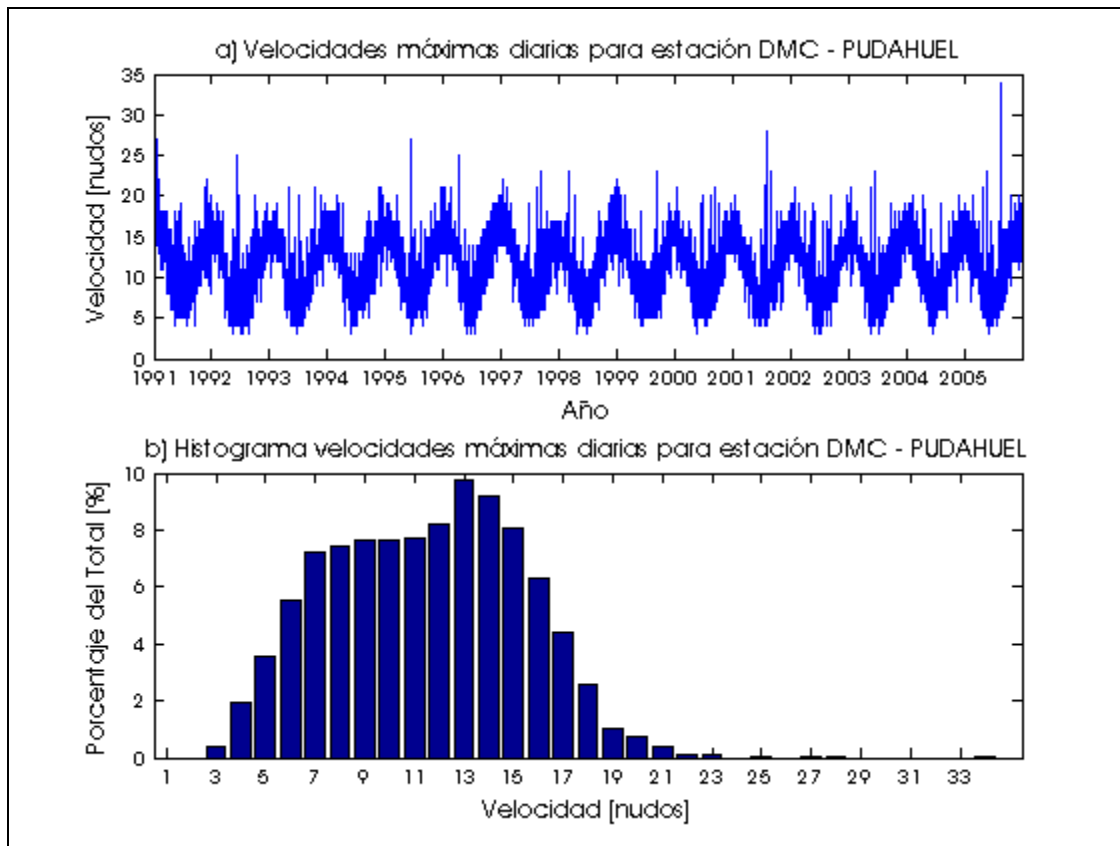


Figura 5.3: Velocidades máximas diarias del viento en estación DMC – PUDAHUEL, registradas durante los años 1991 a 2005: a) Gráfico de la serie de velocidades; b) Histograma de la serie de velocidades.

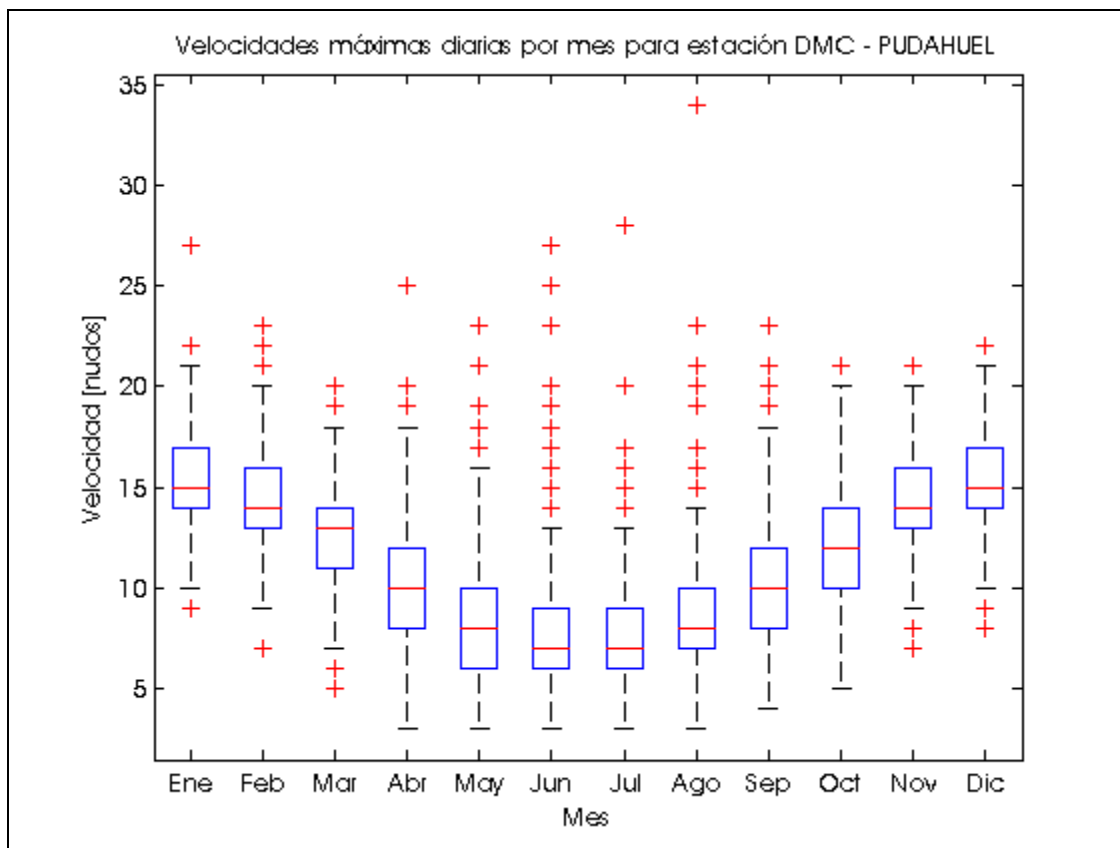


Figura 5.4: Gráfico de cajas con distribuciones de velocidades máximas diarias del viento desagregadas mensualmente en estación DMC - PUDAHUEL para los años 1991 a 2005.

5.1.2. Generación de Base de Datos

A continuación se muestran los resultados del método de las Épocas (tanto en su modalidad mensual como anual) y del método POT aplicados a los registros históricos de la estación DMC - PUDAHUEL para la generación de la base de datos, a partir de la cual se ajustará una función distribución de probabilidad acumulada para obtener la velocidad de retorno del viento en una determinada localidad.

i.- Método de las Épocas

La Figura 5.5 y la Tabla 5.2 muestran los valores máximos anuales y mensuales (respectivamente) obtenidas de la metodología de épocas para las velocidades de viento registradas en la estación DMC - PUDAHUEL durante el período 1991 a 2005. En la Tabla 5.2 se han destacado en gris los valores correspondientes a los valores máximos de cada año.

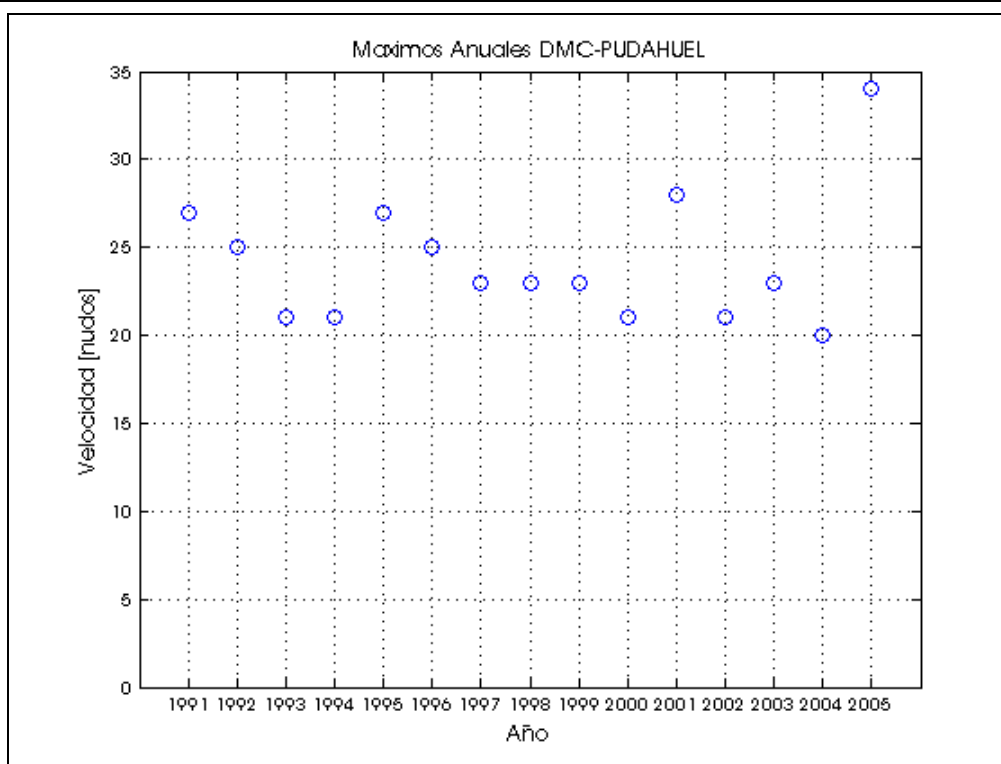


Figura 5.5: Valores máximos anuales de la velocidad del viento registradas en la estación DMC – PUDAHUEL durante los años 1991 a 2005.

Tabla 5.2: Valores máximos mensuales de velocidades de viento registradas en la estación DMC-PUDAHUEL durante el período 1991 a 2005.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1991	27	22	18	16	18	19	13	15	17	17	21	22
1992	18	19	18	12	16	25	13	14	18	20	17	19
1993	18	19	16	15	21	15	20	15	16	21	20	19
1994	18	20	19	19	13	13	13	15	18	17	21	21
1995	19	18	20	15	13	27	16	17	16	18	19	21
1996	21	21	17	25	16	14	14	15	16	18	19	20
1997	22	18	19	16	13	19	13	21	23	18	17	17
1998	17	23	15	20	15	14	11	15	18	17	20	22
1999	21	20	17	16	18	12	11	13	23	17	19	18
2000	21	17	17	16	15	20	16	20	21	19	18	19
2001	20	18	15	15	13	16	28	23	14	18	18	19
2002	21	19	18	18	19	13	17	17	20	15	17	20
2003	21	18	15	13	21	23	15	14	19	18	18	19
2004	19	20	18	20	12	16	12	19	17	18	19	20
2005	19	17	20	17	23	17	12	34	16	20	19	20

Como se puede apreciar en la Tabla 5.2, el valor mínimo para las velocidades máximas mensuales del viento corresponde a 11 nudos (registrado dos veces en el mes de Julio del año 1998 y 1999) y no es representativo de los valores máximos de

velocidades de viento. De acuerdo a lo anterior, el usar una base de datos construida a partir de épocas de un mes de duración puede llevar a resultados erróneos en la estimación de las velocidades de retorno de la estación.

Por otra parte, las velocidades obtenidas al considerar una base de datos formada por épocas de un año de duración, si bien corresponden a valores representativos de las velocidades máximas de vientos (valores atípicos mayores que 20 nudos), puede dejar fuera a velocidades de viento representativos de las tormentas más intensas (ver máximos de Febrero, Noviembre y Diciembre del año 1991). A raíz de esto último se utiliza en algunos casos el procedimiento alternativo del método POT para la generación de la base de datos.

ii.- Método de los "Peaks over Threshold" (POT)

Las Figuras 5.6 y 5.7 muestran la base de datos formada por el método POT para las velocidades de viento registradas en la estación DMC - PUDAHUEL durante el período 1991 a 2005.

Las Figuras 5.6a y 5.6b muestran la base de datos formada por todos aquellos valores de una partición de 8 días, mayores que una velocidad umbral de 20 nudos. En ellas se destaca, en azul, los valores máximos diarios de las velocidades de viento, encerrados en rojo, las velocidades correspondientes a los valores máximos de cada partición de 8 días y destacados en verde, aquellos valores de la partición mayores a un umbral de 20 nudos. A partir de estos últimos datos (destacados en verde) se ajustará una función distribución de probabilidad acumulada para obtener la velocidad de retorno del viento en la estación DMC - PUDAHUEL.

En la Figura 5.6b se puede apreciar cómo las velocidades correspondientes a los valores máximos de cada período de una partición formada por intervalos de 8 días (encerrados en rojo), están separadas como mínimo por este período de duración. Por otra parte se observa que el dato correspondiente al 17 de Enero, pese a que es mayor al valor umbral de 20 nudos, no está incluido en la base de datos a partir de la cual se ajustará una función distribución de probabilidad acumulada (destacados en verde), debido a su cercanía con el valor máximo del período siguiente (20 de Enero correspondiente a 27 nudos).

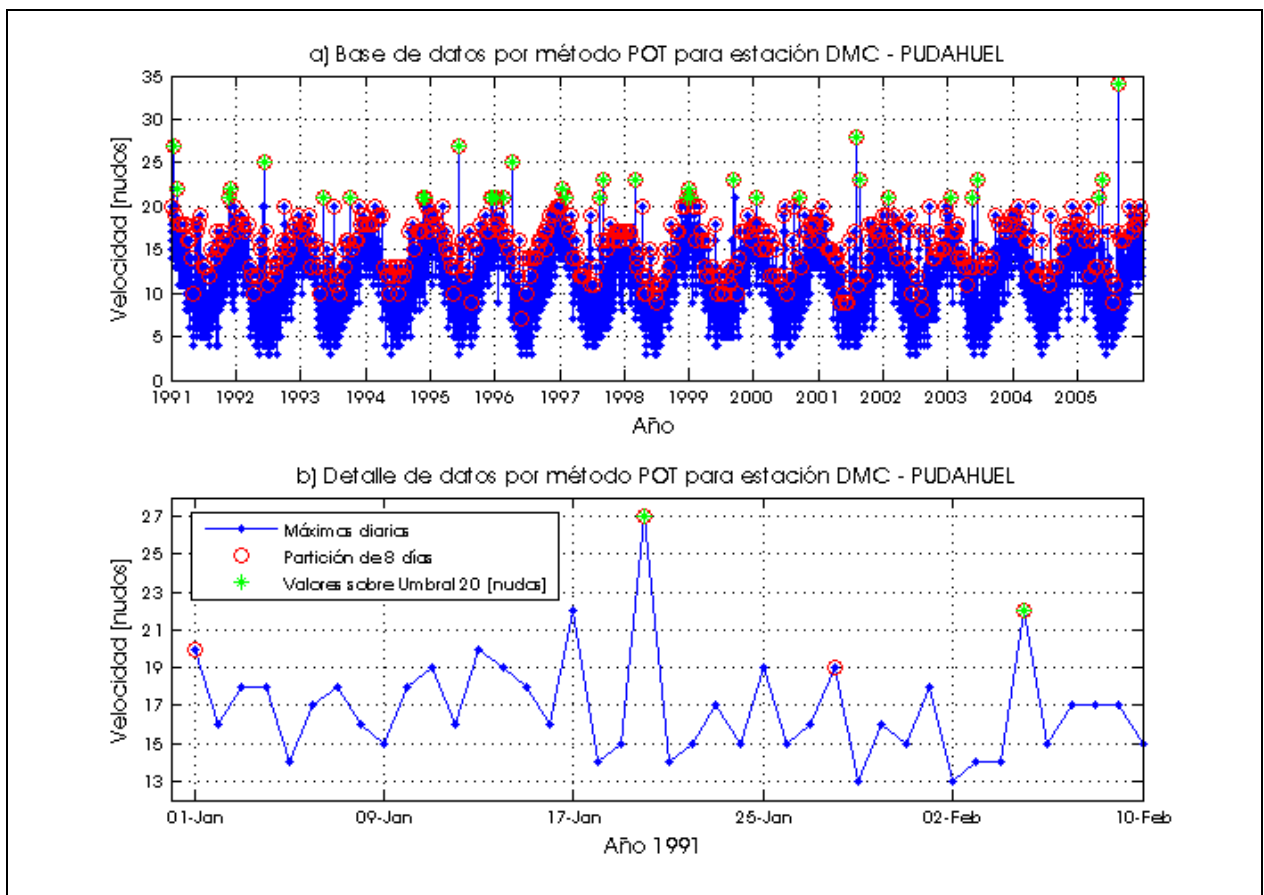


Figura 5.6: a) Velocidades del viento obtenidas por método POT
b) Detalle de datos para período entre 01-Ene-1991 a 10-Feb-1991.

La Figura 5.7 muestra una comparación de los datos obtenidos a partir de una partición de 4 y 8 días. Se puede apreciar que la distribución de los datos por rango de las figuras 5.7a y 5.7b es similar para ambas particiones y que, considerando una base de datos formada por aquellos valores de las particiones mayores a un cierto nivel umbral (Figura 5.7c), se tiene que ambas metodologías entregan bases de datos similares a partir de una velocidad umbral igual a 19 nudos (correspondiente aproximadamente a un número de datos del orden de 10 por año).

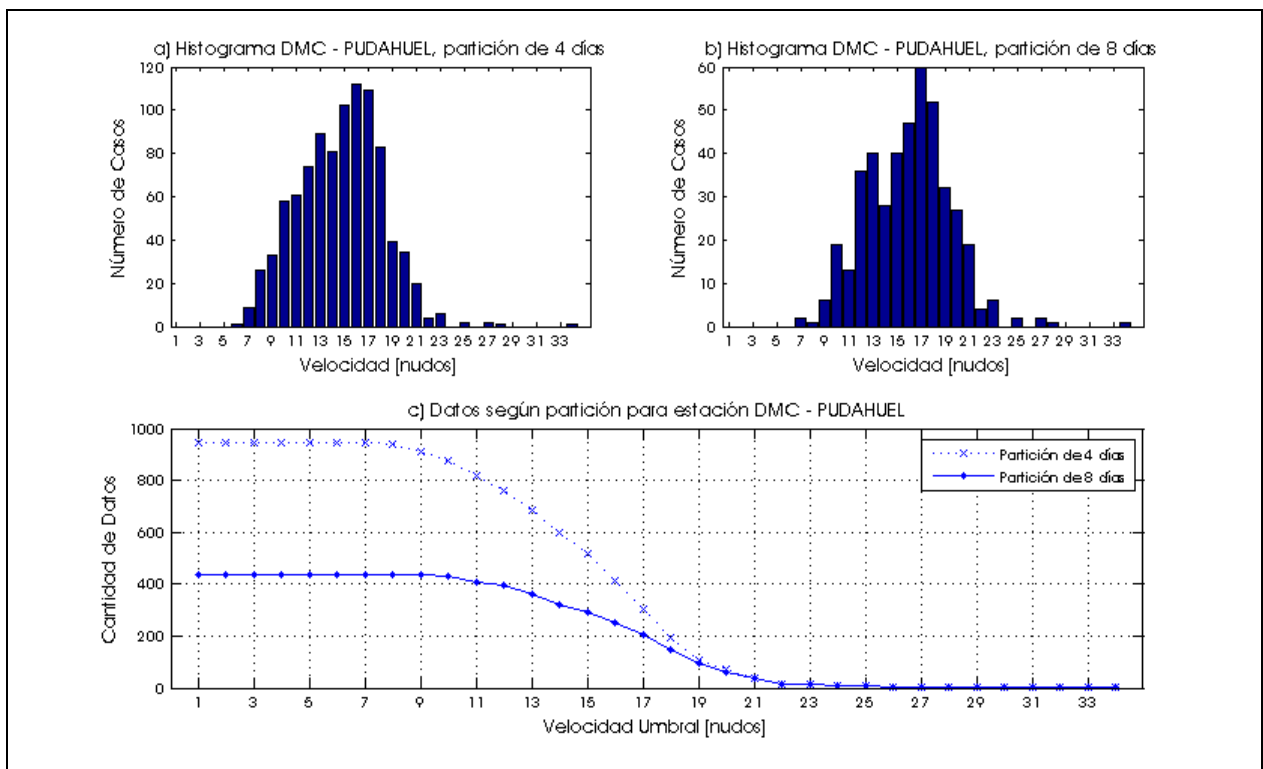


Figura 5.7: Velocidades máximas diarias del viento en estación DMC – PUDAHUEL, registradas durante los años 1991 a 2005, particionadas en períodos de 4 y 8 días: a) Histograma de velocidades máximas para una partición de 4 días; b) Histograma de velocidades máximas para una partición de 8 días; c) Cantidad de datos según partición.

5.1.3. Cálculo de Velocidades de Retorno

En esta sección se muestran los resultados de la aplicación de los distintos métodos de ajuste de coeficientes indicados en la sección 3.2.3, para el cálculo de una velocidad de retorno a 50 años y 100 años en la estación DMC - PUDAHUEL.

La Tabla 5.3 resume de manera esquemática el nombre de las 11 rutinas confeccionadas en el software Matlab, de acuerdo a la base de datos y función de ajuste utilizada. Se muestra entre paréntesis, bajo el nombre de la rutina, el método utilizado para estimar los parámetros de la distribución. El código de cada una de las rutinas Matlab utilizadas para el cálculo de la velocidad de retorno en la estación DMC – PUDAHUEL se muestra en el Apéndice C del presente trabajo

Tabla 5.3: Nombre de rutinas según base de datos, función y método de ajuste de datos (entre paréntesis).

Base de Datos		Función de Ajuste	Método Analítico	Método Gráfico
Épocas	Mes	Gumbel	mesgummom ¹ (método de los momentos)	
	Año	Weibull	epowblmom ² (método de los momentos)	
		Gumbel	epogummom ³ (método de los momentos)	epogumgph ⁴ (recta mínimos cuadrados)
			epogumlkh ⁵ (máxima verosimilitud)	epogrigph ⁶ (recta mínimos cuadrados)
		Generalizada de Valores Extremos	epogevpwm ⁷ (momentos pesados)	
	epogevlkh (máxima verosimilitud)			
Peaks over Threshold		Generalizada de Pareto	potgpdhaa ⁸ (método de De Haan)	potcmegph ⁹ (recta mínimos cuadrados)
			potgpdlkh ¹⁰ (máxima verosimilitud)	

Nota: A continuación se indica una referencia de los documentos en los cuales han sido utilizados cada uno de los métodos mencionados:

¹ : [Viollaz et al, 1995]

² : [Simiu y Miyata, 2006, p.32]

³ : [Castillo, 1988, p.185]

⁴ : [Holmes, 2007, p.33]

⁵ : [Castillo, 1988, p.186]

⁶ : [Holmes, 2007, p.34]

⁷ : [Hosking et al, 1985]

⁸ : [Simiu y Heckert, 1996]

⁹ : [Davison y Smith, 1990]

Se comenzará por presentar los resultados de la aplicación de las metodologías que utilizan una base de datos por épocas, para continuar con una revisión de los análisis que utilizan la metodología POT, terminando con la aplicación de los métodos gráficos.

i.- Épocas

En esta sección se presentan los resultados de la aplicación de 6 rutinas (mesgummom, epowblmom, epogummom, epogumlkh, epogevpwm y epogevlkh) que utilizan una base de datos por épocas (tanto a nivel anual como mensual) para estimar por medio de métodos analíticos, los parámetros de las distintas funciones de ajuste que se indican en la Tabla 5.3. A partir de estos coeficientes se calculan las velocidades de retorno para períodos de 50 y 100 años.

La Tabla 5.4 muestra los resultados de la estimación de los parámetros de la Distribución Generalizada de Valores Extremos según los distintos métodos de ajuste utilizados, así como los correspondientes valores de las velocidades de retorno para períodos de 50 y 100 años.

Tabla 5.4: Velocidades de retorno para 50 y 100 años, y parámetros estimados según nombre de rutinas para estación DMC - PUDAHUEL.

Nº	Rutina	Parámetros Estimados			Velocidad de Retorno [nudos]	
		Forma "k"	Escala "a"	Ubicación "u"	50 años	100 años
1	mesgummom	0.00	2.34	22.77	31.9	33.5
2	epowblmom	0.10 (Weibull)	3.12	22.61	32.7	34.1
3	epogummom	0.00	2.79	22.52	33.4	35.3
4	epogumlkh	0.00	2.48	22.58	32.2	34.0
5	epogevpwm	-0.19 (Frechet)	2.33	22.24	35.8	39.5
6	epogevlkh	-0.29 (Frechet)	2.12	22.22	37.7	42.8

Se señala que los factores de forma k para las rutinas mesgummom, epogummom y epogumlkh se fijaron en 0 debido a que utilizan una función de distribución Tipo I (Gumbel) para el ajuste de los datos. Asimismo el factor de forma k se fijó igual a 0.1 para la rutina epowblkh, que utiliza una función de distribución Tipo III (Weibull).

Con respecto a las velocidades de retorno presentadas, se observa que las rutinas epogevpwm y epogevlkh entregan valores comparativamente mayores que las del resto, sobre todo para el período de retorno de 100 años. Lo anterior se debe, principalmente, a que ambas rutinas ajustan los datos por medio de una función de distribución Tipo II (Frechet), la cual entrega mayores valores para la velocidad de retorno que la distribución Tipo I (Gumbel) y tipo III (Weibull), para un mismo período de retorno (tal como se observó en la Figura 3.6). El resto de las rutinas entrega valores similares para las velocidades de retorno y las diferencias entre ellas aumentan a medida que se considera un período de retorno mayor, a excepción de lo que acontece con las velocidades de retorno calculadas con la rutina N°2 epowblmom, las cuales tienden a ser menores que las entregadas por el resto a medida que se consideran períodos de retorno mayores.

ii.- Peaks over Threshold

La Figura 5.8 muestra los resultados de la aplicación de las rutinas que utilizan una base de datos de Peaks over Thresholds para estimar por medio de métodos analíticos, los parámetros de la Función Generalizada de Pareto. La Figura 5.8a muestra la cantidad de datos mayores que el valor umbral indicado en el eje de las abscisas utilizados en la estimación de los parámetros de la distribución. Las Figuras 5.8b y 5.8c muestran respectivamente, para los métodos de ajuste de De Haan y de Máxima Verosimilitud, las velocidades de retorno para períodos de 50, y 100 años, según distintos valores de la velocidad umbral. Se utilizó un máximo valor umbral tal que se tuviera a lo menos un número igual o superior a 10 registros de vientos.

Se puede apreciar que ambos métodos entregan valores fluctuantes para la velocidad de retorno cuando se consideran distintas velocidades umbrales, por lo

que no es posible establecer un valor para la velocidad de retorno de acuerdo a estos métodos.

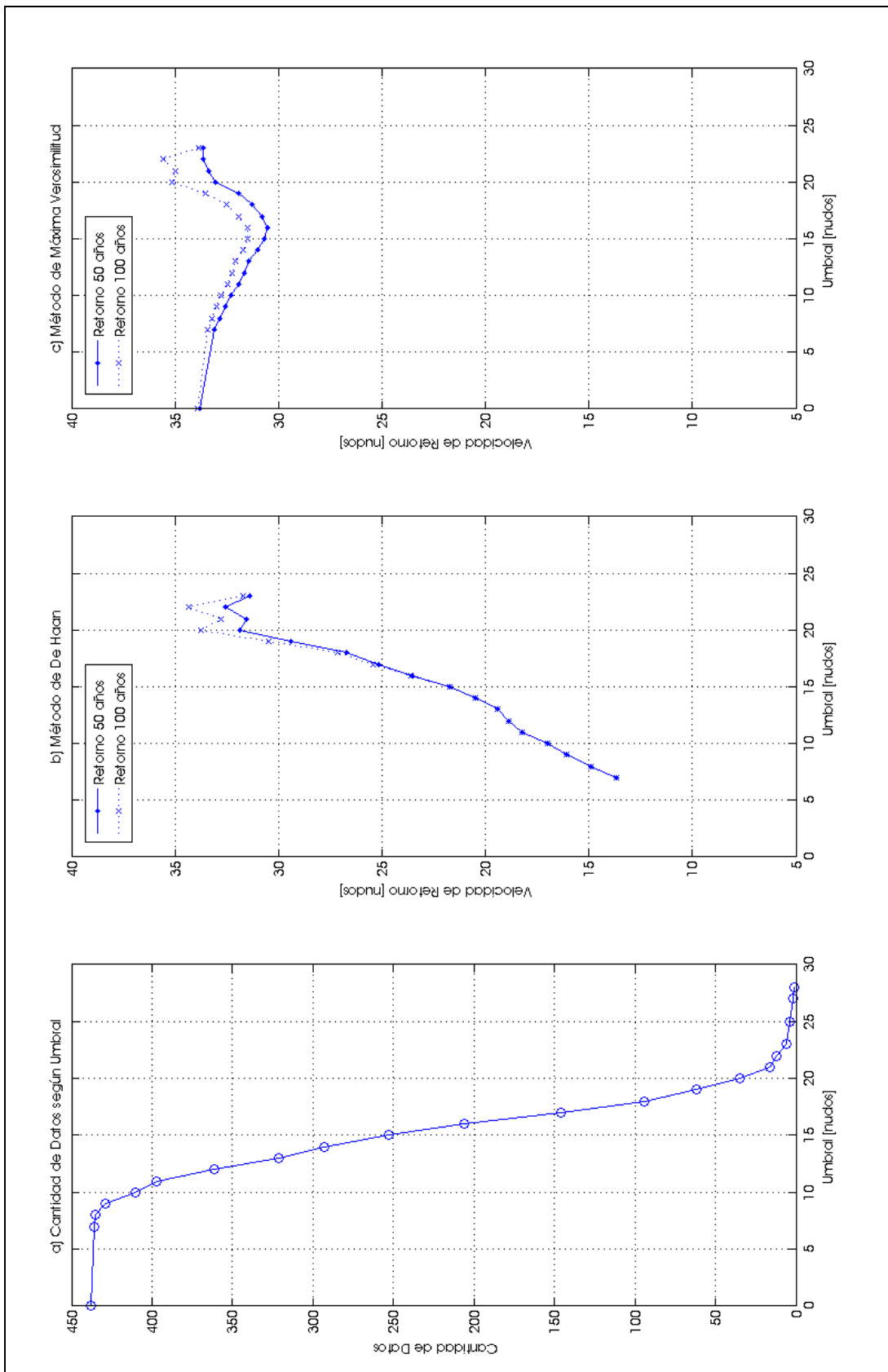


Figura 5.8: Resultados de análisis por método POT para registros de velocidades de viento en estación DMC – PUDAHUEL, durante los años 1991 a 2005 usando una partición de 8 días: a) Cantidad de datos según umbral; b) Velocidades de retorno según umbral calculadas por Método de De Haan; c) Velocidades de retorno según umbral calculadas por Método de Máxima Verosimilitud.

iii.- Métodos Gráficos

La Figura 5.9 muestra la aplicación de las rutinas que utilizan una base de datos por épocas a nivel anual para estimar por medio de métodos gráficos, los parámetros la Función de Distribución de Gumbel. Las Figuras 5.9a y 5.9b muestran los valores máximos anuales y la recta de ajuste de mínimos cuadrados, según el Método Gráfico de Gumbel y el Método Gráfico de Gringorten respectivamente.

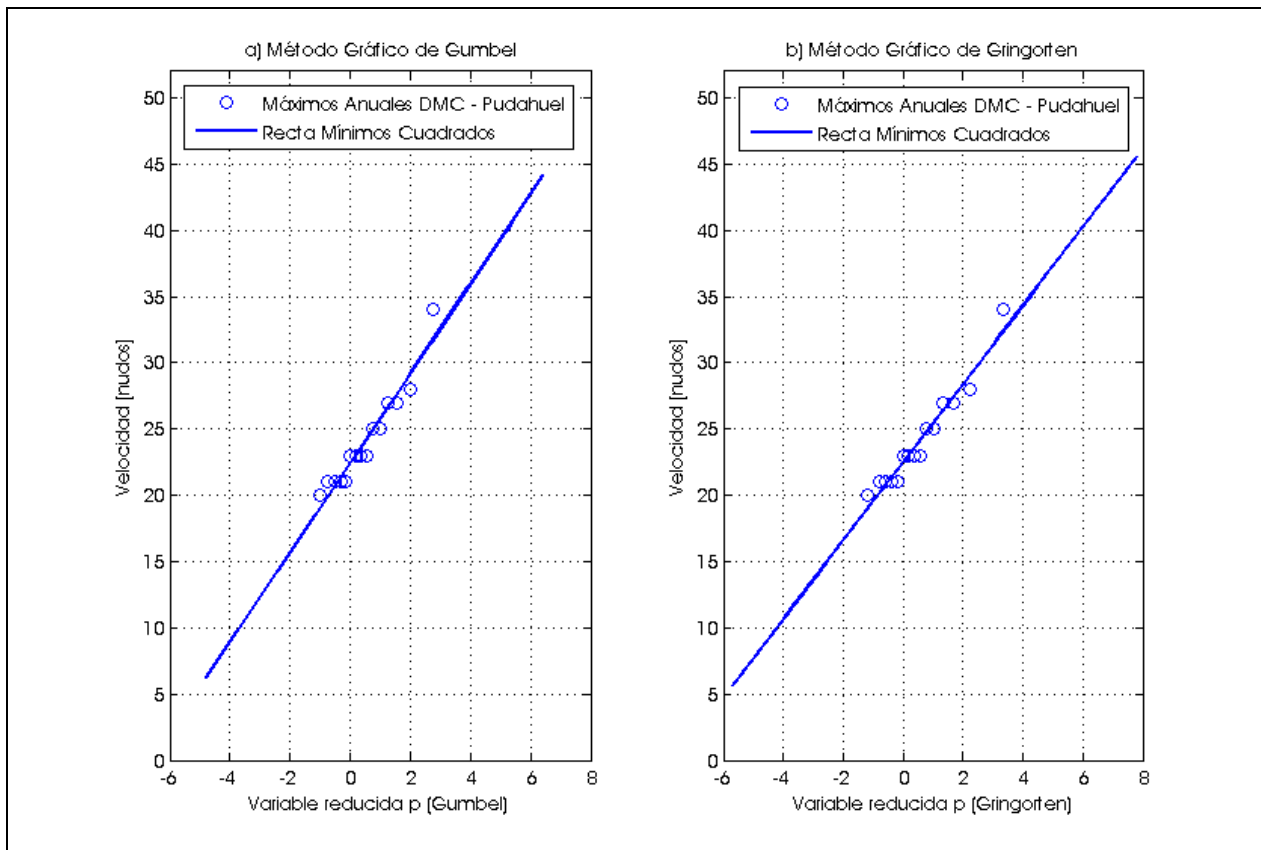


Figura 5.9: Velocidades máximas anuales registradas en estación DMC – PUDAHUEL durante los años 1991 a 2005: a) Ajuste según Método Gráfico de Gumbel; b) Ajuste según Método Gráfico de Gringorten.

La Figura 5.10 muestra los resultados de la aplicación del Método Gráfico “Conditional Mean Exceedance” a los excesos de los valores máximos de una partición formada por períodos de 8 días, que se encuentran por sobre el valor umbral indicado en el eje de las abscisas.

Se puede apreciar en la Figura 5.10b que existe un cambio de pendiente a partir de un valor umbral de 16 (nudos) hasta los 19 (nudos), propio de un clima de transición [Brabson y Palutikof, 1998], rango en el cual se ajustó una recta de mínimos cuadrados para estimar los parámetros de la Distribución Generalizada de Pareto. Los valores del CME son variables a partir de un umbral igual a 20 (nudos) y se deberían a la reducida cantidad de datos que se tiene a partir de ese umbral.

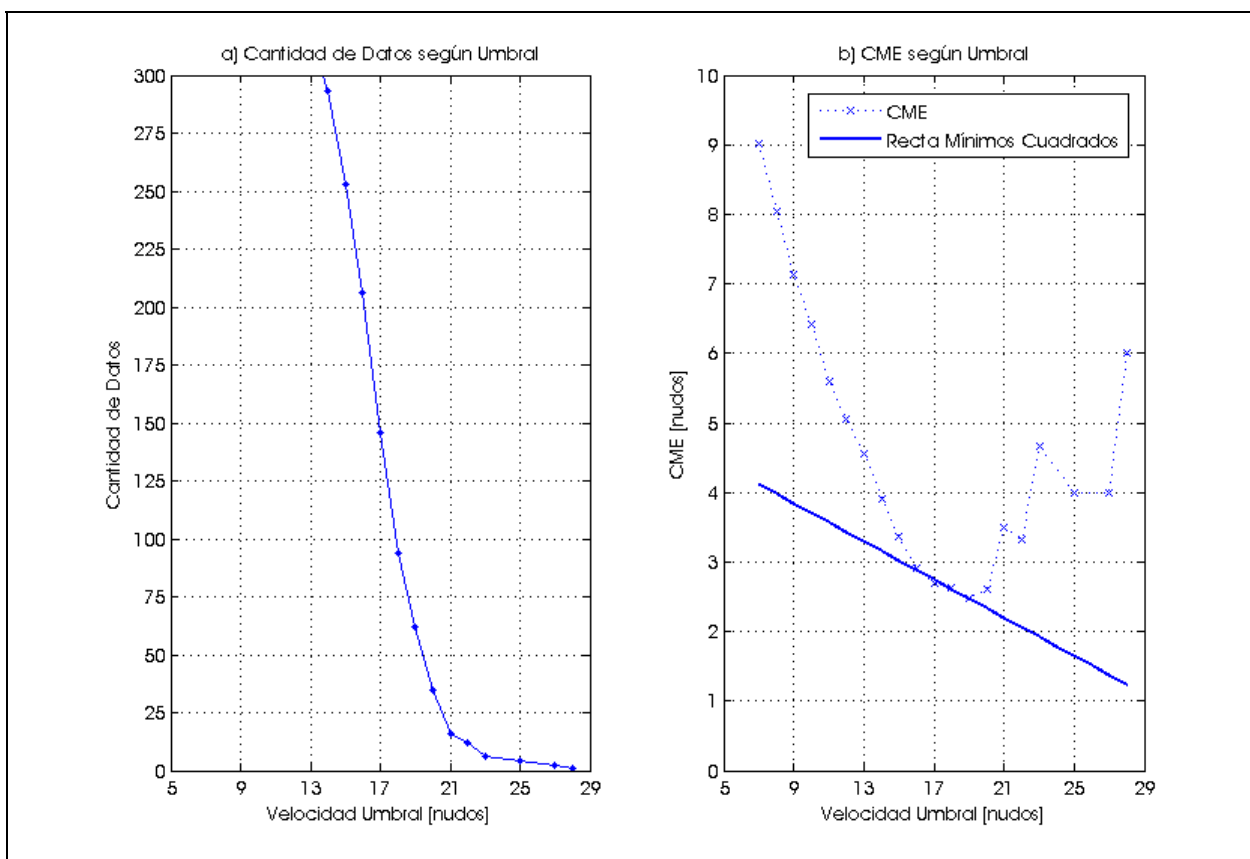


Figura 5.10: "Conditional Mean Exceedance" para velocidades máximas diarias registradas en estación DMC – PUDAHUEL, durante el período 1991 a 2005 usando una partición de 8 días:
a) Cantidad de datos según umbral; b) Ajuste de recta de mínimos cuadrados.

Los resultados de la aplicación de los métodos gráficos se resumen en la Tabla 5.5, donde se muestran los parámetros estimados de la Distribución Generalizada de Valores Extremos (para las rutinas epogumgph y epogrigph) y de la Distribución Generalizada de Pareto (para la rutina potcmegph). Asimismo se muestran los correspondientes valores de la velocidad de retorno para períodos de 50 y 100 años.

Tabla 5.5: Velocidades de retorno para 50 y 100 años, según nombre de rutinas para estación DMC - PUDAHUEL.

Nº	Rutina	Parámetros Estimados			Velocidad de Retorno [nudos]	
		Forma "k"	Escala "a"	Ubicación "u"	50 años	100 años
9	epogumgph	0.00	3.38	22.40	35.6	37.9
10	epogrigph	0.00	2.96	22.46	34.0	36.1
11	potcmegph	0.16 (Weibull)	5.87	N/A	40.9	42.2

5.1.4. Normalización de Registros

De acuerdo a lo informado por la DMC, sus registros de velocidades de viento fueron medidos en estaciones ubicadas en aeródromos o sitios de exposición similar, con un sensor que registra las velocidades del viento en nudos, a una altura de 10 m sobre el nivel del terreno, promediados manualmente en intervalos de tiempo de 10 minutos. Para normalizar sus registros de acuerdo a la descripción de la velocidad básica del viento según la norma ASCE 7-05, basta con modificar el período de promedio de los registros, de 10 minutos a la ráfaga de 3 segundos ("peak 3-s gust speed"), para lo cual se utilizará la Figura 3.1.

La Figura 3.1 presenta los cuocientes entre la máxima velocidad del viento promediada en un intervalo de tiempo de t segundos para un registro de velocidad del viento promediada en un intervalo de 1 hora, cuando la mediación se realiza en un sitio de exposición a campo abierto con un sensor ubicado a 10 m. De acuerdo a lo anterior, para transformar el promedio del registro de la estación DMC – PUDAHUEL de 10 minutos, habrá que dividirlo por el factor correspondiente a los 60 segundos (1.07) de modo de obtener la caracterización horaria, y posteriormente multiplicar este último valor por el factor correspondiente a los 3 segundos (1.53) para lograr el valor de la ráfaga de 3 segundos.

Se define el factor de modificación del promedio del registro como k_{AVE} , el cual, de acuerdo a lo anterior, para la estación DMC – PUDAHUEL tendrá un valor de:

$$k_{AVE} = \frac{1.53}{1.07} = 1.43 \quad (5.1)$$

Debido a que el registro de las velocidades del viento en la estación DMC – PUDAHUEL fue realizado en nudos, y los valores de la velocidad básica serán presentados en (m/s), se define el factor k_{UNI} que da cuenta del cambio de unidades:

$$k_{UNI} = 0.51 \quad (5.2)$$

La velocidad básica de la estación de DMC – PUDAHUEL, calculada a partir de los registros de vientos del período comprendido entre los años 1991 a 2005, corresponde a la velocidad de retorno para un período de 50 años, multiplicada por los factores k_{AVE} y k_{UNI} . La Tabla 5.6 muestra un resumen de las velocidades básicas, para cada velocidad de retorno de 50 años, calculadas en la sección 5.1.3. Se excluyen de estos resultados las velocidades de retorno calculadas según las rutinas potgpdhaa y potgpdkh, ya que sus resultados variaban según el umbral considerado en su estimación.

Tabla 5.6: Velocidades básicas según rutinas para estación DMC - PUDAHUEL.

Nº	Rutina	Velocidad de Retorno para 50 años (nudos)	Factores de Modificación			Velocidad Básica (m/s)
			k_{AVE}	k_{UNI}	k_{TOTAL}^1	
1	mesgummom	31.9	1.43	0.51	0.74	23.5
2	epowblmom	32.7	1.43	0.51	0.74	24.1
3	epogummom	33.4	1.43	0.51	0.74	24.6
4	epogumikh	32.2	1.43	0.51	0.74	23.7
5	epogevpwm	35.8	1.43	0.51	0.74	26.1
6	epogevlkh	37.7	1.43	0.51	0.74	27.7
9	epogumgph	35.6	1.43	0.51	0.74	26.2
10	epogrigph	34.0	1.43	0.51	0.74	25.0
11	potcmegph	40.9	1.43	0.51	0.74	29.8

Notas:

¹: k_{TOTAL} corresponde al producto de todos los factores de modificación

5.2. Resultados Sobre Estaciones Seleccionadas

En esta sección se presentan los valores de las velocidades básicas para las once estaciones seleccionadas en este estudio. Se calculan los distintos factores de modificación a utilizar en la normalización de los registros, de acuerdo a la metodología descrita en la sección 3.1. Estos factores se aplican a las velocidades de retorno calculadas en cada estación a partir de los valores máximos anuales ajustados por una Función de Distribución de Gumbel, mediante el método de los momentos, tal como se calcularon las velocidades básicas del mapa de los Estados Unidos según la norma ASCE 7-05. Se advierte que los resultados obtenidos de la normalización de la velocidad de retorno calculada a partir de los datos básicos son idénticos a los obtenidos al aplicar la metodología estadística a los datos previamente normalizados.

5.2.1. Normalización de Registros

i.- Registros de Viento de Estaciones CNE

Los registros de velocidades del viento proporcionadas por la CNE, además de estar medidos en condiciones de altura y exposición distintas a las normalizadas (10 m y categoría de exposición a campo abierto), están procesados en períodos de una hora. Los procedimientos descritos en la sección 3.1.3 ajustan simultáneamente las condiciones de altura y rugosidad, sin embargo, no modifican el período de promedio en el que fue registrada la velocidad del viento. Para lograr la descripción de la ráfaga de 3 segundos, que utiliza la norma ASCE 7-05 en su definición de la velocidad básica del viento, deberán aplicarse los coeficientes indicados en la sección 3.1.1 una vez que se hayan normalizado la condición de rugosidad a una categoría de campo abierto y la altura de medición a 10 m sobre el nivel del terreno.

La exposición y la altura en la que fueron medidos los registros de cada estación serán modificadas de acuerdo a la ley logarítmica de la sección 3.1.3, utilizando la altura y la longitud de rugosidad z_0 indicadas en la Tabla 4.2. La utilización de Ley Logarítmica se justifica debido a que los registros están promediados en períodos de 1 hora [Simiu y Miyata, 2006, p.13]. En caso de no ser así, se debería utilizar la ley potencial con un exponente $1/\alpha$ adecuado a la condición de exposición y período de promedio en la que fue medida la velocidad del viento.

Se define el factor de modificación de la altura y exposición del registro k_{H-E} como el producto de los dos últimos términos del lado derecho de la ecuación (3.6), para dar cuenta del cambio de los registros a 10 m de altura y una exposición a campo abierto. El valor de este coeficiente se indica en la Tabla 5.7 para cada una de las estaciones seleccionadas en el estudio.

$$k_{H-E} = \left(\frac{z_{0\text{open}}}{z_0} \right)^{0.07} \frac{\ln(z_{\text{open}}/z_{0\text{open}})}{\ln(z/z_0)} \quad (5.3)$$

Una vez que se haya normalizado la altura y exposición de los registros a las condiciones estandarizadas (10 m de altura y exposición a campo abierto), se requiere modificar el período en que están promediados los registros (1 hora), a 3 segundos para lo cual se utilizará la Figura 3.1. El factor de modificación del promedio del registro k_{AVE} de la velocidad del viento para las estaciones proporcionadas por la CNE se obtiene de la Figura 3.1 y corresponde a 1.53.

Finalmente, debido a que los registros de las velocidades del viento en las estaciones proporcionadas por la CNE están procesados en (m/s), no es necesario modificar las unidades de los resultados, por lo que el factor k_{UNI} en estos casos es igual a 1.

ii.- Registros de Viento de Estaciones DMC

Debido a que, según lo informado por la DMC, todos los registros de velocidades de viento pertenecientes a esta entidad, están medidos bajo las mismas condiciones de altura, exposición, los factores de modificación son los mismos que los indicados en la sección 5.1.4 para la estación DMC – PUDAHUEL.

5.2.2. Velocidades Básicas

La Tabla 5.7 muestra un resumen de las velocidades básicas, para un período de retorno de 50 años, calculadas en cada una de las once estaciones seleccionadas en este estudio.

Tabla 5.7: Velocidades básicas para estaciones seleccionadas en el estudio.

Nº	Nombre	Velocidad de Retorno 50 años ¹	Factores de Modificación				Velocidad Básica (m/s)
			k_{H-E}	K_{AVE}	k_{UNI}	k_{TOTAL}^2	
1	DMC - ARICA	31.4 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	23.1
2	DMC - IQUIQUE	29.9 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	22.0
3	DMC - ANTOFAGASTA	32.8 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	24.1
4	DMC - LA SERENA	36.6 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	26.9
5	EOLO - LENGUA DE VACA	16.4 (m/s)	1.03	1.53	1.00	1.58	25.9
6	DMC - PUDAHUEL	33.4 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	24.6
7	EOLO - ENAP BÍO-BÍO	18.1 (m/s)	1.49	1.53	1.00	2.27	41.2
8	DMC - CONCEPCION	56.1 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	41.3
9	DMC - TEMUCO	46.4 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	34.1
10	DMC - PUERTO MONTT	48.5 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	35.7
11	DMC - PUNTA ARENAS	71.6 (nudos)	1.00	1.43	0.51	0.74	52.7

Notas:

¹: Calculada con la rutina epogummom indicada en la Tabla 5.3

²: k_{TOTAL} corresponde al producto de todos los factores de modificación

De acuerdo a los resultados obtenidos, se distinguen 3 zonas con resultados similares, cuyos valores van aumentando hacia el Sur. La primera zona se compone por las primeras 6 estaciones ubicadas desde de la I a la Región Metropolitana, con registros variables de 22 (m/s) a 27 (m/s). Un segundo grupo de estaciones con resultados similares lo componen las estaciones N°7 a N°10, ubicadas desde la VIII a la X región, con velocidades básicas pertenecientes al rango 34 (m/s) a 41 (m/s). El último grupo lo compone la estación DMC – Punta Arenas con una velocidad básica de 53 (m/s).

Las estaciones DMC – TEMUCO Y DMC – PUERTO MONTT, resultan un caso atípico en este aumento de la velocidad básica hacia el sur, ya que presentan valores comparativamente más bajos que los de las estaciones ubicadas más al norte. De acuerdo a esto se considera necesario contar con más registros apropiados de otras estaciones ubicadas en la zona de modo de verificar si esto es una condición particular del sector, o bien corresponden a resultados estimados a partir de un ciclo particularmente bajo de velocidades de vientos.

Se observa también que los resultados obtenidos de las estaciones proporcionadas por la CNE, son similares a los obtenidos en las estaciones DMC ubicadas cerca de las primeras, como es el caso de DMC – LA SERENA (26.9 m/s) con la estación EOLO – LENGUA DE VACA (25.9 m/s) y de la estación DMC - CONCEPCIÓN (41.2 m/s) con la estación EOLO – ENAP BÍO-BÍO (41.3 m/s). De acuerdo a esto, se concluye que pese a que estas estaciones CNE, miden velocidades del viento en condiciones distintas a las normalizadas, se pueden utilizar para el cálculo de las velocidades básicas del viento, considerando los correspondientes valores de altura y longitud de rugosidad en la que fueron medidos los registros.

5.3. Errores

Los valores de las velocidades básicas para las once estaciones seleccionadas, indicados en la Tabla 5.7, están sujetos a distintos tipos de errores, los cuales son descritos a continuación, agrupándolos dentro de los títulos: errores de registro, errores de modelos empíricos y errores muestrales.

5.3.1. Errores de Registro

En esta sección se describen los distintos tipos de errores implícitos en los registros de las estaciones seleccionadas, utilizadas para el cálculo de las velocidades de retorno.

i.- Errores en la Medición

En este grupo se considera cualquier problema eventual, no detectado, que se haya tenido en el anemómetro durante el período de registro y que pueda haber llevado a mediciones anómalas de las velocidades del viento. Dentro de ellos se consideran posibles descalibraciones del anemómetro, movimientos del sensor, u otros.

ii.- Errores de Típeo

En el caso de los archivos Excel de las nueve estaciones de la DMC seleccionadas, cuyos registros de vientos corresponden a observaciones realizadas por el operador de una estación, se considera que el factor humano está implícito en los errores de típeo que pudieran tener los registros. A modo de ejemplo se indica que se encontró más de un valor de la velocidad del viento para el mismo instante de tiempo, en tres de los nueve registros de la DMC.

iii.- Falta de Representatividad de Registros

Otro error a considerar en los resultados obtenidos corresponde a la falta de representatividad de los registros, debido por una parte a datos no registrados dentro del período de medición, y por otra, a la caracterización de la velocidad del viento realizada sólo por los últimos 10 minutos de cada hora en los registros de la DMC.

De acuerdo a la revisión de los registros de viento, se observó que en todas las estaciones recibidas se tuvieron datos faltantes dentro de los períodos de medición. Esta situación se observó sistemáticamente para algunas horas (1:00, 2:00, 4:00, 5:00, 7:00 y 8:00) en algunas de las estaciones de la DMC y en períodos extensos para la estación EOLO – Lengua de Vaca.

Los registros de vientos de la DMC tienen dos problemas intrínsecos en su medición: el primero es que la velocidad horaria queda caracterizada por el promedio de los últimos 10 minutos de cada hora, excluyendo los 50 minutos anteriores, en los cuales pueden haber existido velocidades mayores; el segundo problema es que, según lo informado por la DMC, el promedio de la velocidad del viento en los últimos 10

minutos de cada hora es aproximado, ya que se estima visualmente por el operador de la estación.

iv.- Separación por Tormentas

Debido a que, en las décadas de los 70 y de los 80, las velocidades de diseño de las estructuras fueron excedidas considerablemente en Darwin, Australia (1974) y en Europa (1987), se consideró la necesidad de separar los registros de ráfagas originados por distintos tipos de tormentas [Gomes y Vickery, 1977].

Los registros de vientos utilizados en este estudio no indican el tipo de tormenta (convectiva o sinóptica) que originaron los valores máximos de la velocidad del viento. Esto es particularmente crítico en la estimación de la velocidad de retorno de una estación en climas de transición, pues cada tipo de tormenta tiene asociado un período de retorno, el cual es necesario considerar para la estimación de una velocidad de referencia para la estación, en caso contrario, necesariamente los valores calculados conllevarían algún grado de error.

5.3.2. Errores de Modelos Empíricos

Todas las velocidades básicas obtenidas en este estudio fueron calculadas a partir de registros de vientos medidos en condiciones distintas a las estandarizadas que utiliza la norma ASCE 7-5, razón por la cual fue necesario ajustar los resultados mediante la normalización de los registros. Esta normalización se realizó utilizando modelos empíricos, los que de por sí conllevan algún grado de error y pueden haber afectado la transformación de alturas, exposiciones o períodos de promedio de las velocidades de retorno calculadas.

No obstante lo anterior, resulta crítico contar con los valores correctos de altura y longitud de rugosidad z_0 (o alternativamente del exponente $1/\alpha$) correspondientes a los registros de la estación, de modo de utilizar apropiadamente los modelos empíricos para su normalización. En caso contrario, las velocidades básicas calculadas necesariamente contendrían un error en sus valores.

5.3.3. Error Muestral

El error muestral es la incerteza en la predicción de eventos extremos de vientos debido al limitado período de registro de datos. La velocidad de retorno de 50 años en una estación puede tener un error importante debido a que los datos con que se estimó fueron eventualmente bajos o altos durante el período de registro.

Para un análisis basado en una base de datos formada por los valores máximos anuales, ajustados a una función de distribución de Gumbel, mediante el método de los momentos, [Simiu y Miyata, 2006, p.32] propone la siguiente fórmula para estimar la desviación estándar de la velocidad de retorno como una medida del error muestral $SD(u_R(T_R))$:

$$SD(u_R(T_R)) = \frac{0.78 \sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{1.64 + 1.46 (\log(T_R) - 0.577) + 1.1 (\log(T_R) - 0.577)^2} \quad (5.4)$$

donde:

u_R = velocidad de retorno para un período de T_R años

T_R = período de retorno en años

σ = desviación estándar muestral (valores máximos anuales)

n = número de años de la muestra

De acuerdo a esto, y utilizando la linealidad de la desviación estándar se calculan los errores muestrales de las velocidades básicas calculadas en la Tabla 5.7 para cada una de las 11 estaciones seleccionadas en el estudio. Ver Tabla 5.8.

Tabla 5.8: Error muestral de velocidades básicas calculadas en estaciones seleccionadas en el estudio.

Nº	Nombre	Velocidad Básica (m/s)	k_{TOTAL} ¹	Desviación Estándar σ (m/s)	Tamaño de la Muestra n (años)	Error Muestral (m/s)
1	DMC - ARICA	23.1	0.73	3.46	15	2.2
2	DMC - IQUIQUE	22.0	0.73	1.97	15	1.3
3	DMC - ANTOFAGASTA	24.1	0.73	2.72	15	1.7
4	DMC - LA SERENA	26.9	0.73	5.46	15	3.5
5	EOLO - LENGUA DE VACA	25.9	1.58	0.82	12	1.3
6	DMC - PUDAHUEL	24.6	0.74	3.58	15	2.3
7	EOLO - ENAP BÍO-BÍO	41.2	2.27	1.66	11	3.8
8	DMC - CONCEPCION	41.3	0.73	6.46	16	4.0
9	DMC - TEMUCO	34.1	0.73	5.69	15	3.6
10	DMC - PUERTO MONTE	35.7	0.73	5.52	15	3.5
11	DMC - PUNTA ARENAS	52.7	0.73	8.10	14	5.3

Notas:

¹: k_{TOTAL} corresponde al producto de todos los factores de modificación

Con respecto a este error, el comentario de la norma ASCE 7-05 advierte que “se debe tener especial precaución al calcular velocidades de retorno a partir de datos climáticos regionales debido al error muestral, que puede llegar a ser de 8.9 (m/s) para una estación con 30 años de registros”.

5.4. Mapas de Vientos

La metodología necesaria para la confección de un mapa de vientos se basa en el cálculo de las velocidades básicas en distintas estaciones dentro del territorio de un país. En este ejercicio se deben considerar dos factores de suma importancia en la obtención de resultados: el primero es contar con la mayor cantidad de estaciones con registros (apropiados), de manera de abarcar tan exhaustivamente como sea

posible la superficie del país y extrapolar confiablemente los resultados en los sectores donde no se tengan registros. El segundo factor importante a considerar es que los registros utilizados sean de un período lo suficientemente extenso como para evitar tener errores muestrales considerables. A continuación se revisan las principales características consideradas en la confección de los mapas de vientos de la República Argentina y de los Estados Unidos, según el reglamento CIRSOC 102-05 y la norma ASCE 7-05, respectivamente y se discute la confección de un mapa de vientos para Chile a partir de los registros de vientos reunidos en este estudio.

5.4.1. Mapa de Vientos de Argentina

El actual mapa de vientos de la República Argentina según el reglamento CIRSOC 102-05 (ver Figura 2.3) fue confeccionado a partir de los valores de ráfaga del viento, recogidos en 58 estaciones meteorológicas donde había disponibles al menos diez años de datos. Este corresponde a una actualización del mapa de vientos de la versión anterior del reglamento (CIRSOC 102-82) y considera registros de velocidades hasta 1990, provistas por el Servicio Meteorológico Nacional. Se utilizó una distribución de Gumbel para ajustar valores máximos mensuales, mediante el método de los momentos [Viollaz et al, 1995]. El problema de la limitación estadística disponible en relación a la extensión del territorio argentino fue compensada mediante el estudio meteorológico aportado por [Schwarzskopf, 1997].

5.4.2. Mapa de Vientos de Estados Unidos

De acuerdo a [Peterka y Shahid, 1998], el actual mapa de vientos de los Estados Unidos de la norma ASCE 7-05 (ver Figura 2.2), en particular las zonas no propensas al efecto de huracanes, fueron confeccionadas a partir de los valores de ráfaga del viento, recogidos en 487 estaciones meteorológicas de la National Climatic Data Center (NCDC) que tenían entre 5 a 45 años de registros de datos, de las cuales 250 tenían al menos 20 años de registro y 304, al menos 18 años de registro. La metodología estadística utilizada en el cálculo de las velocidades de retorno consistió en ajustar una distribución de Gumbel a los valores máximos anuales, mediante el método de los momentos.

Ante tan extenso número de estaciones, el principal problema a considerar fue el error muestral debido a la limitada cantidad de años de registro en las estaciones consideradas, las que podrían contener velocidades particularmente altas o bajas durante los períodos de medición. Por otra parte, debido al lento decrecimiento del factor $1/\sqrt{n}$ de la ecuación (5.4), la distribución de Gumbel requiere cientos de años para estimar resultados con un error muestral razonable. A raíz de esto último se utilizó una metodología para combinar estaciones con registros cortos de características similares, en superestaciones con registros más largos de modo de reducir el error muestral [Peterka y Shahid, 1993].

El uso de superestaciones formadas a partir de estaciones del mismo clima es una práctica aceptada dentro de los climatólogos que estudian en problema de la

estimación de valores extremos, sin embargo es necesario considerar los siguientes principios de modo de evitar estimaciones incorrectas de las velocidades de retorno:

- a. Las estaciones componentes de una superestación, deben ser comparables en términos meteorológicos y micrometeorológicos. No se aceptan estaciones de climas distintos o bien con registros no normalizados.
- b. Los registros de las estaciones componentes deben ser mutuamente independientes. El componer superestaciones a partir de estaciones muy cercanas agrega correlación a los datos y no incrementa la cantidad de información útil en la estimación de velocidades de retorno.
- c. Una estación no debe ser utilizada en más de una superestación debido a que esto crearía artificialmente grandes zonas de climatología uniforme.

De acuerdo a [Peterka y Shahid, 1998], para definir la zona no propensa a los huracanes del actual mapa de vientos de la norma ASCE 7-05 se formaron 144 superestaciones a partir de 2 a 25 estaciones individuales (con un promedio de 5 estaciones). Las superestaciones tuvieron de 25 a 510 años de datos (con un promedio de 118); la mayoría de las superestaciones tuvieron entre 50 y 200 años de datos.

5.4.3. Mapa de Vientos para Chile

De acuerdo a los resultados de las velocidades básicas del viento obtenidos en las once estaciones seleccionadas en este estudio (ver Tabla 5.7) se advierte que debido a su relativamente corto período de registro tales resultados pueden tener asociados errores muestrales que pueden ser considerables. Por otra parte tales resultados dejan extensas zonas del país sin información, lo que no describe de manera exhaustiva las características de los vientos de Chile.

Para confeccionar un mapa de vientos para Chile se sugiere por una parte considerar una mayor cantidad de estaciones con registros de velocidades de viento, así como aumentar tanto como sea posible la cantidad de años en los cuales se tenga registro. Lo primero se podría realizar incluyendo todas aquellas estaciones con más de 5 años de datos que cumplan los criterios establecidos en la sección 4.3, para componer superestaciones con una mayor cantidad de años de modo de minimizar el error muestral de los resultados. En el caso en que lo anterior dejase amplias zonas sin información se requeriría de la necesidad de realizar un estudio meteorológico para justificar el trazado de las isotacas de velocidades básicas, tal como se realizó en el mapa del reglamento argentino CIRSOC 102-05.

Considerando lo señalado anteriormente, la definición de un mapa de vientos para Chile supera ampliamente los alcances de este trabajo de título, requiriéndose la necesidad de realizar estudios adicionales sobre el tema. Pese a ello, a modo de

ejemplo, la Figura 5.11 muestra gráficamente sobre el mapa de Chile, los valores de las velocidades básicas calculadas para las estaciones seleccionadas en este estudio.

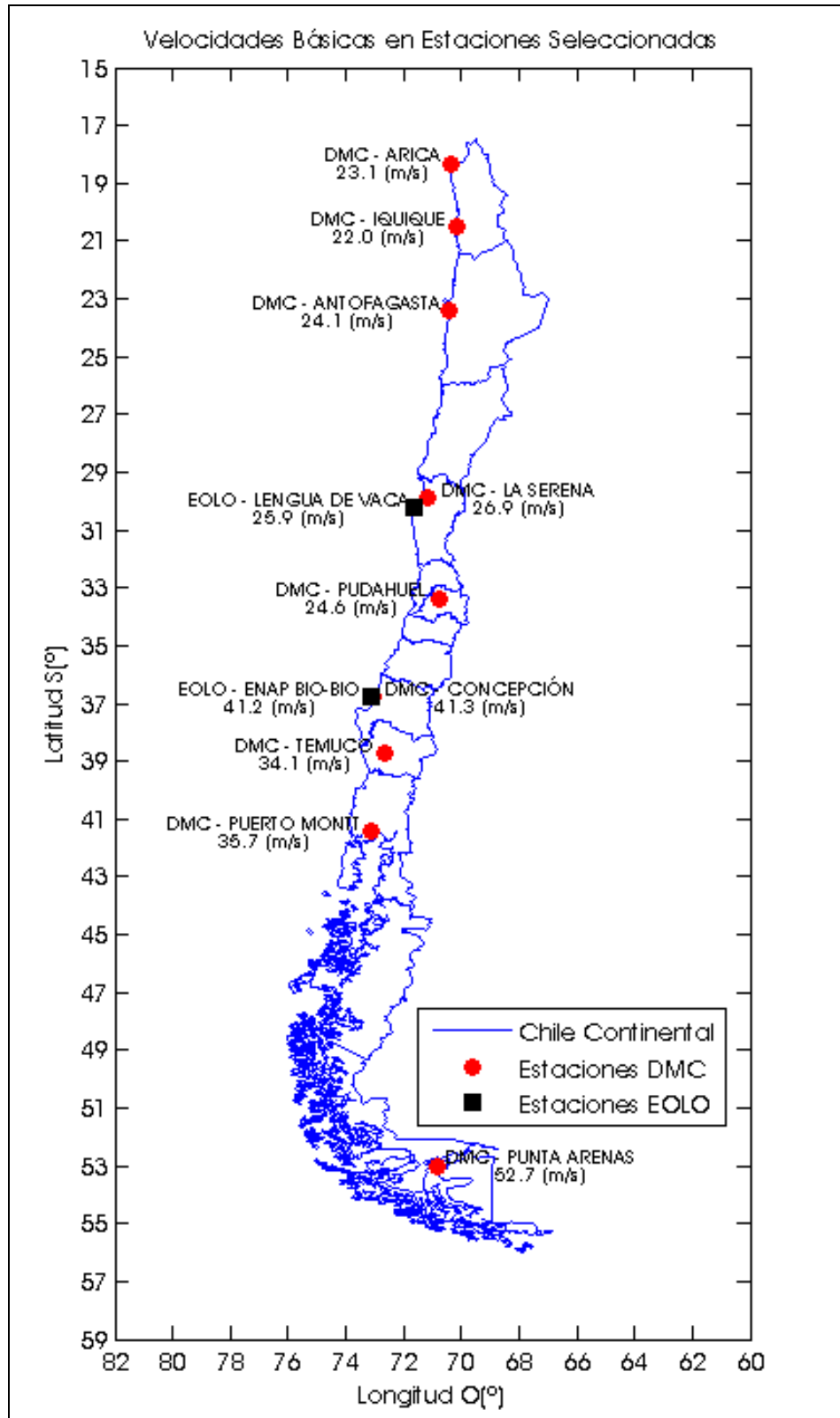


Figura 5.11: Mapa de Chile con velocidades básicas (m/s) en las estaciones seleccionadas.

6. ANÁLISIS NORMA CHILENA NCH432.OF71 Y NORMA ASCE 7-05

En este capítulo se indican los aspectos más relevantes de la norma chilena NCh432.Of71 y de la norma americana ASCE 7-05 para el cálculo de la acción del viento sobre las estructuras, de manera de establecer una comparación a partir de los factores más importantes que definen la presión del viento en cada una de estas normas.

El objetivo es presentar de manera general la metodología utilizada para determinar las presiones sobre las estructuras en ambas normas, sin entrar en detalle sobre la determinación de los factores de modificación para la amplia gama de casos aplicables.

6.1. Análisis Norma Chilena NCh432.Of71

A continuación se resumen aquellas disposiciones esenciales de la norma chilena NCh432.Of71 que a juicio del autor permiten por una parte, entender la naturaleza de la norma y por otra, hacer una comparación con las características principales de la norma ASCE 7-05.

6.1.1. Definiciones y Consideraciones Preliminares

La acción del viento se debe considerar actuando sobre los dos ejes principales de una construcción, salvo en los casos que la Autoridad Revisora solicite otras direcciones adicionales. Se define una Autoridad Revisora, como la autoridad fiscal o municipal encargada de revisar los cálculos de estabilidad de la estructura.

Se considera una clasificación para las estructuras de acuerdo a su nivel de cerramiento, distinguiendo las construcciones abiertas, las cuales tienen a lo menos un tercio de aberturas en alguno de sus lados, de aquellas construcciones cerradas, en las cuales no puede entrar el viento a su interior bajo ninguna circunstancia.

6.1.2. Presión Básica del Viento

La presión que ejerce el viento sobre las estructuras, considerando un valor u para su velocidad medida a una cierta altura se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$q^* = \frac{u^2}{16} \text{ (kgf/m}^2\text{)} \quad (6.1)$$

donde:

u = velocidad máxima instantánea del viento medida a cierta altura en (m/s)

La velocidad máxima instantánea u , se debe determinar a partir de una estadística directa o indirecta, que abarque un período no inferior a 20 años. En el caso en que

esta velocidad se refiera a una altura de 10 m en una categoría de exposición a campo abierto, se podría homologar a la velocidad básica del viento de acuerdo a la norma ASCE 7-05.

Para establecer la presión del viento para una altura distinta a la que fue medida, se acepta la siguiente relación:

$$P_x = P_h \left(\frac{x}{h} \right)^{2\alpha^*} \quad (6.2)$$

donde:

x = altura sobre el nivel del terreno (m), equivalente a la variable z del capítulo 3

P_x = es la presión a una altura x (m)

P_h = es la presión a una altura h (m)

α^* = coeficiente de rugosidad (0.16 para campo abierto y 0.28 para ciudad)

6.1.3. Factor de Ráfaga

Para obtener las presiones básicas q sobre las estructuras, estas presiones P_x se deben multiplicar por el factor R de ráfaga, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$q = R \cdot P_x \quad (6.3)$$

en que:

$$R = 1 + a \cdot b \cdot \sqrt{c + d} \quad (6.4)$$

donde:

“ a ” es un factor que expresa por una parte, en qué medida se aproxima a la resonancia, la relación entre el período propio de vibración de la estructura y el ritmo de ráfagas sucesivas, y por otra, la influencia que dicha resonancia tiene en las sollicitaciones sobre la estructura. Este factor se obtiene de la Figura D.1 del Apéndice D, a partir del cociente τ/T , donde τ representa la duración de la ventisca y T el período natural de vibración de la estructura.

“ b ” es un factor de forma del perfil de velocidades y depende de la condición de exposición y altura del edificio. Este factor se obtiene de la Figura D.2 del Apéndice D.

“ c ” es un factor que da cuenta de la proporción que abarca la altura del edificio sobre el perfil completo de velocidades. Este factor se obtiene a partir de la altura H del edificio en la Figura D.3 del Apéndice D.

“ d ” finalmente es un factor que depende de la energía que posee la parte turbulenta que se halla en resonancia con la estructura. Este factor depende, entre otros factores,

de la rigidez y del amortiguamiento viscoso de la estructura. Se determina a partir de la expresión:

$$d = \frac{S * E}{\beta} \quad (6.5)$$

en que:

S = factor determinado a partir de la Figura D.4 del Apéndice D. Decece con la rigidez λ/H de la estructura en la dirección del viento, siendo λ el ancho de la base en esa dirección y H la altura total del Edificio, y aumenta con la velocidad u del viento y con el período propio de la estructura T.

E = factor determinado a partir de la Figura D.5 del Apéndice D. Depende del producto entre el período propio de la estructura T y la velocidad del viento u.

β = amortiguamiento viscoso de la estructura y puede estimarse en 1% a 2% en estructuras de acero, 4% a 8% en marcos rígidos de hormigón armado y hasta 12% o más en edificios con muros de rigidez de hormigón armado, etc.

6.1.4. Métodos de Análisis

i.- Método Dinámico

La metodología de análisis presentada anteriormente (ecuación 6.3) corresponde al Método Dinámico de la norma chilena, en el cual se calcula una velocidad del viento por medio de una estadística (directa o indirecta), y se determina la respuesta dinámica de la estructura, mediante el Factor de Ráfaga R, u otro similar, aceptado por la Autoridad Revisora. Las presiones así calculadas no deben ser inferiores al 80% de los valores mostrados en la Tabla 6.1, ni tampoco necesitan ser mayores que el 120 % de ellos.

De acuerdo a las ecuaciones expuestas anteriormente, hasta el momento se necesitaría realizar mediciones de velocidades de viento para determinar la presión básica del viento y en consecuencia las cargas sobre una estructura, sin embargo, debido a la complejidad del problema y a la dificultad de medir las velocidades del viento o bien de calcular los parámetros del factor de ráfaga, la norma permite la aplicación del Método Estático para estructuras de hasta 100 m de altura.

i.- Método Estático

El Método Estático establece las presiones básicas a distintas alturas, según los valores de la Tabla 6.1 tanto para construcciones ubicadas dentro de la ciudad o en lugares de rugosidad comparable, como para construcciones ubicadas en sitios de campo abierto, ante el mar o de exposición similar. Las presiones indicadas en esta tabla, consideran la modificación por el efecto del factor R de ráfaga descrito anteriormente.

Las cargas P que ejerce el viento sobre las estructuras a una cierta altura, son proporcionales a un valor denominado presión del viento q y pueden ser descritas por la siguiente ecuación:

$$P = \beta * C * q \quad (6.6)$$

donde:

P = Presiones sobre superficies de la estructura

β = Factor topográfico (ver sección 6.1.5)

C = Factor de forma (ver sección 6.1.6)

q = presión básica del viento obtenida del método estático o dinámico

Tabla 6.1: Presión básica para diferentes alturas sobre el suelo¹ (Tabla 1 de la norma NCh432.Of71)

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 (kgf/m ²)	Altura sobre el suelo (m)	Presión Básica (kgf/m ²)
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

Notas:

¹: Para valores intermedios se permite interpolar

6.1.5. Factor Topográfico

De acuerdo a lo establecido en la sección 6.5 de la norma, se permite un aumento del 20% de la presión básica "q" en gargantas de cerros (propensos a efectos "Venturi"), cimas de cerros o promontorios, bordes de barrancos u otros sitios de condiciones similares donde se tengan mayores intensidades para la velocidad del viento.

6.1.6. Factor de Forma

Las cargas de viento sobre una estructura se obtienen de multiplicar las presiones básicas, calculadas por el método dinámico o bien por el método estático, por un factor de forma C indicado en el capítulo 9 de la norma. Este factor de forma depende de la categoría de cerramiento de la estructura. La acción del viento sobre las estructuras se determina por la acción conjunta de todas estas presiones.

La Figura D.6 del Apéndice D, establece valores típicos del factor de forma para estructuras cerradas, los cuales también son aplicables para estructuras abiertas, considerando adicionalmente para estas últimas, la superposición de los factores de forma indicados en la Figura D.7 actuando desde abajo hacia arriba, perpendicularmente a las superficies de techo. Se aceptan interpolaciones para estos últimos coeficientes para estructuras que, pese a no ser abiertas, presenten aberturas desde un quinceavo a un tercio de la superficie de sus lados.

El número de casos considerados para la determinación del factor de forma C es bastante reducido como para ser útil en una aplicación práctica, por lo que la norma deja a juicio del proyectista la resolución de aquellos casos no indicados en las figuras mostradas en ella..

6.2. Análisis Norma ASCE 7-05

En la presente sección se resumen las principales características de la norma ASCE 7-05, que permiten generar un resumen auto referente para calcular las solicitaciones de viento sobre el galpón presentado en el capítulo 7. Se detallan principalmente aquellas disposiciones que permiten realizar la comparación con la actual norma chilena NCh432.Of71.

6.2.1. Definiciones y Consideraciones Preliminares

Se define una Autoridad Jurisdiccional, como la autoridad encargada de revisar los cálculos de estabilidad de la estructura.

La acción del viento se debe considerar actuando sobre cualquier dirección horizontal.

Para una estructura en particular se diferencian los componentes y revestimientos que forman parte de su envolvente (cubiertas de paredes y techos), de los elementos estructurales que conforman su sistema principal resistente a las fuerzas del viento (que desde ahora en adelante será nombrado por SPRFV). Las cargas de viento se definen separadamente para cada uno de los elementos pertenecientes a estos dos grupos.

Se considera una clasificación para las estructuras según su nivel de cerramiento, distinguiendo tres tipos: construcciones abiertas, construcciones cerradas y construcciones parcialmente cerradas.

Las construcciones abiertas son aquellas que tienen un porcentaje de aberturas mayor o igual al 80% en cada una de los muros expuestos al viento.

En el caso en que una estructura cumpla simultáneamente con las dos condiciones siguientes, se puede clasificar como una construcción parcialmente cerrada.

- a. El área total de aberturas en una pared que recibe una presión externa positiva, excede la suma de las áreas de aberturas en el resto de la envolvente del edificio en más de un 10%.
- b. El área total de aberturas en una pared que recibe presión externa positiva excede el menor valor entre 0.37 m² o el 1% del área de dicha pared, y el porcentaje de aberturas en el resto de la envolvente del edificio no excede el 20%.

Las construcciones cerradas son aquellas que no se pueden clasificar dentro de ninguno de los dos grupos definidos anteriormente.

Si un edificio cumple simultáneamente con las clasificaciones de construcciones abiertas y construcciones parcialmente cerradas, se deberá considerar como una construcción abierta.

Si un edificio cerrado (total o parcialmente), cumple con las siguientes condiciones, se puede clasificar como un edificio de baja altura:

- a. La altura media de la cubierta del techo es igual o menor a 18 m.
- b. La altura media del techo no excede su menor dimensión horizontal.

Las estructuras son clasificadas además como Flexibles o Rígidas dependiendo de su frecuencia natural de vibración. Las estructuras flexibles son aquellas estructuras esbeltas que tienen una frecuencia natural de vibración menor que 1 Hz. Las estructuras rígidas a su vez tienen una frecuencia natural de vibración mayor o igual a 1 Hz.

6.2.2. Categorías de Exposición

Se consideran tres categorías de exposición para el entorno donde se ubica la estructura, de modo que se reflejen adecuadamente las irregularidades de la superficie del terreno.

La determinación de la condición de exposición de la estructura se realiza para dos regiones ubicadas a 45° a cada lado de cada dirección considerada para el análisis, en el lado desde el cual sopla el viento. Se escoge la categoría en la cual se obtienen los mayores valores para la velocidad del viento, en las dos regiones consideradas.

Las categorías de exposición y sus condiciones de determinación corresponden a:

- a. Exposición B. Para áreas urbanas y sub-urbanas, bosques u otros terrenos con amplias obstrucciones próximas entre sí. Esta categoría debe prevalecer por lo menos a una distancia del valor más grande entre 792 m y 20 veces la altura del edificio, en el sector desde el cual sopla en viento.
- b. Exposición C. Terrenos a campo abierto con obstrucciones dispersas de alturas menores a 10 m. Aplica en el caso en que no se tenga una exposición B ni D.
- c. Exposición D. Áreas costeras planas, sin obstrucciones, expuestas al viento soplando desde aguas abiertas. Esta categoría debe prevalecer por lo menos a una distancia del valor más grande entre 1524 m y 20 veces la altura del edificio, en el sector desde el cual sopla en viento.

6.2.3. Métodos de Análisis

Las cargas de viento para el diseño de las estructuras, incluyendo tanto su SPRFV, como sus componentes y revestimientos deben ser aplicadas de acuerdo a uno de los siguientes procedimientos, descritos a continuación:

- a. Método 1-Procedimiento Simplificado. Para edificios de baja altura con diafragmas de piso.
- b. Método 2-Procedimiento Analítico. Para estructuras de formas regulares.
- c. Método 3-Túnel de Viento. Para estructuras geoméricamente complejas y altamente sensibles a la acción del viento.

i.- Método 1-Procedimiento Simplificado

El procedimiento simplificado debe utilizarse en el diseño tanto del sistema principal resistente a las fuerzas del viento de la estructura, como de sus componentes y revestimientos. Este procedimiento aplica para edificios rígidos, cerrados y de baja altura, con diafragmas de piso para la transmisión de las cargas de viento a los elementos resistentes verticales.

Las presiones simplificadas, p_s para el sistema principal resistente a las fuerzas del viento, están determinadas por la siguiente ecuación:

$$p_s = \lambda K_{zt} | p_{s30} \quad (6.7)$$

donde:

λ = Factor de ajuste de altura y exposición para presión p_{s30} o p_{net30} (ver Tabla 6.2)

K_{zt} = Factor Topográfico evaluado a la altura media del techo (ver sección 6.2.5)

I = Factor de Importancia (ver sección 6.2.7)

p_{s30} = presión simplificada de diseño para el SPRFV, a una exposición a campo abierto y una altura de 10 m sobre el nivel del terreno, obtenida de la Figura D.8 del Apéndice D.

Las presiones para los componentes y revestimientos p_{net} están definidos por la misma ecuación que para p_s , con la diferencia que se ocupa el factor p_{net30} en vez de p_{s30} :

$$p_{net} = \lambda K_{zt} I p_{net30} \quad (6.8)$$

donde:

p_{net30} = presión simplificada de diseño, para la envolvente de una estructura, a una exposición a campo abierto y una altura de 10 m sobre el nivel del terreno, obtenida de la Figura D.9 del Apéndice D.

Los valores de p_{s30} y p_{net30} corresponden a presiones netas (suma de internas y externas), aplicadas sobre las proyecciones verticales y horizontales de las superficies de la estructura.

Para el Procedimiento Simplificado se debe considerar la categoría de exposición en la cual se obtengan las mayores cargas de viento, dentro de todas las direcciones de análisis posibles.

Tabla 6.2: Factor λ de ajuste por exposición y altura.

Altura media del techo (m)	Exposición		
	B	C	D
4.6	1.00	1.21	1.47
6.1	1.00	1.29	1.55
7.6	1.00	1.35	1.61
9.1	1.00	1.40	1.66
10.7	1.05	1.45	1.70
12.2	1.09	1.49	1.74
13.7	1.12	1.53	1.78
15.2	1.16	1.56	1.81
16.8	1.19	1.59	1.84
18.3	1.22	1.62	1.87

ii.- Método 2-Procedimiento Analítico

Para todas aquellas estructuras que no satisfagan las condiciones necesarias para la aplicación del método anterior, se propone el uso del procedimiento analítico. Se requiere que las estructuras analizadas sean de forma regular y que no presenten efecto de amplificación causado por ráfagas en resonancia con la dirección del viento.

Se comienza por presentar la ecuación principal de la presión del viento q_z , evaluada a una altura z :

$$q_z = 0.613K_z K_{zt} K_d V^2 I \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (6.9)$$

donde:

K_z = Factor de Altura y Exposición que considera la variación de la velocidad con la altura z sobre el nivel del terreno (ver sección 6.2.4)

K_{zt} = Factor Topográfico (ver sección 6.2.5)

K_d = Factor de Direccionalidad del Viento (ver sección 6.2.6)

V = Velocidad básica en (m/s) obtenida del mapa de la Figura 2.2

I = Factor de importancia (ver sección 6.2.7)

Las presiones p o cargas de diseño F del viento, se determinan considerando la acción conjunta de las presiones externas e internas actuando por ambas caras de cada superficie expuesta al viento. Estas presiones externas e internas se obtienen de multiplicar la presión del viento q_z tanto por un factor de ráfaga, como por un coeficiente de presión (externa o interna). La norma ASCE 7-05 presenta distintas ecuaciones para determinar p o F , dependiendo de la clasificación de cerramiento y rigidez de la estructura. Se distinguen los casos en que se calculan las presiones para el SPRFV o para sus componentes y revestimientos.

iii.- Método 3-Túnel de Viento

Se permiten ensayos de túneles de viento en las estructuras como alternativa a la aplicación de los Métodos 1 y 2, con el objetivo de determinar de manera más precisa las características de su respuesta estructural ante sollicitaciones de viento.

Los ensayos para la determinación de las fuerzas y presiones medias, deben reunir una serie de condiciones, para aceptar su aplicación. Entre los requerimientos principales, destacan:

- a. Se debe modelar la capa límite atmosférica natural, para tener en cuenta la variación de la velocidad del viento con la altura.

- b. El edificio u otra estructura modelada y las estructuras y topografía circundantes son geoméricamente similares a sus contrapartes en escala natural.
- c. Para determinar la respuesta dinámica de la estructura, el modelo estructural y el análisis asociado deben considerar la distribución de masa, rigidez y amortiguamiento.

6.2.4. Factor de Altura y Exposición

Este valor ajusta la velocidad básica del viento para una condición de altura y exposición distinta de 10 m y Exposición C respectivamente. El factor de altura y exposición K_z se indica en la Figura D.10 del Apéndice D, para distintas alturas, según las Categorías de exposición B, C y D. Estos valores fueron determinados a partir de la ley potencial descrita en la sección 3.1.3.

Es importante mencionar que los valores de este factor K_z difieren de los valores de λ utilizados en Procedimiento Simplificado, debido principalmente a que el primero ajusta los valores de la presión básica que incluye una serie de otros efectos de manera simplificada, mientras que el factor K_z , lo hace con los valores del cuadrado de la velocidad básica.

6.2.5. Factor Topográfico

Este factor da cuenta del aumento con respecto a la altura que experimenta el perfil de velocidad del viento, en superficies de pendiente elevada, tales como lomas, colinas o barrancos. El factor topográfico K_{zt} se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (6.10)$$

donde:

K_1 : Considera la forma de la característica topográfica a evaluar (loma, colina o barranco) a partir del valor de su pendiente.

K_2 : Considera la variación del incremento en la velocidad, como función de la distancia a la cima de la loma, colina o barranco.

K_3 : Considera el incremento del valor de la velocidad con respecto a la altura de la estructura a diseñar.

Los parámetros K_1 , K_2 y K_3 se obtienen a partir de la Figura D.11 del Apéndice D

6.2.6. Factor de Direccionalidad

Se define un factor de direccionalidad K_d el cual únicamente debe ser aplicado cuando se usa en conjunto con las combinaciones de cargas de diseño de la

estructura. Este factor de direccionalidad toma en cuenta dos efectos: el primero corresponde a la probabilidad reducida que los máximos vientos provengan de una dirección dada (recordando que se analizan los vientos máximos provenientes de todas las direcciones posibles de la estructura). El segundo efecto corresponde a la probabilidad reducida que el máximo valor del coeficiente de presión ocurra para una dirección dada. Los valores del coeficiente de direccionalidad, de acuerdo a diferentes tipos de estructuras se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3: Factor de Direccionalidad K_d

Tipo de Estructura	Factor de Direccionalidad K_d
Edificios	
- SPRFV (Sistema Principal Resistente a las Fuerzas del Viento)	0.85
- Componentes y Revestimientos	0.85
Techos Arqueados	0.85
Chimeneas, Estanques y Estructuras Similares	
- Cuadradas	0.90
- Hexagonales	0.95
- Redondeadas	0.95
Señalética Cerrada	0.85
Señalética Abierta y Pórticos Enrejados	0.85
Edificaciones Enrejadas	
- Triangulares, Cuadradas y Rectangulares	0.85
- Otras Geometrías de Secciones Transversales	0.95

6.2.7. Factor de Importancia

Se define un factor de importancia I , utilizado para ajustar el nivel de confiabilidad estructural de un edificio u otra estructura. Para ello los edificios se clasifican en cuatro categorías dependiendo si el potencial riesgo para la vida humana que implica su falla es: bajo (Categoría I, que incluye instalaciones de almacenaje menores, temporales o de agricultura), sustancial (Categoría III, incluye edificios con más de 300 personas de aglomeración), o si se trata de estructuras esenciales (Categoría IV). La Categoría II incluye a todas aquellas estructuras que no clasifican en las categorías I, III o IV.

Los valores de I corresponden a 0.87 para las estructuras de Categoría I, 1.00 para las de la Categoría II y 1.15 para las estructuras clasificadas dentro de las Categorías III y IV.

Estos valores modifican el valor de la velocidad básica utilizada en el diseño, asociándole un distinto período de retorno (probabilidad de excedencia anual) a las estructuras calificadas dentro de cada categoría. Este período de retorno corresponde a 25 años (probabilidad anual de excedencia de 4%) para la Categoría I, 50 años (2%) para la categoría II y 100 años (1%) para las categorías III y IV.

6.2.8. Factor de Ráfaga

En el caso en que se produzcan variaciones bruscas de la velocidad del viento, tanto en el tiempo, como en la superficie de la estructura a analizar, se debe considerar el factor de ráfaga.

El factor de ráfaga toma en cuenta los efectos de carga en la dirección del viento debidos a la interacción estructura-turbulencia del viento. También toma en cuenta los efectos de carga en la dirección del viento debido a la amplificación dinámica en edificios y estructuras flexibles. Para ello, se consideran factores tales como período natural de vibración de la estructura, resonancia, amortiguamiento e intensidad de turbulencia.

La norma ASCE 7-05 presenta dos procedimientos para calcular el Factor de Ráfaga, dependiendo si la estructura diseñada puede clasificarse como flexible (G_f) o rígida (G). Para las estructuras rígidas se acepta la utilización de un Factor de Ráfaga igual a 0.85. En vista de la complejidad de la determinación del Factor de Ráfaga para las estructuras flexibles y atendiendo al tono de resumen de la norma ASCE 7-05 que se presenta en este capítulo, no se indica el procedimiento conducente al cálculo de este coeficiente, dejando como tarea al lector la revisión de este procedimiento en el cuerpo de la norma ASCE 7-05.

6.2.9. Coeficientes de Presión

En esta sección se resumen los mecanismos utilizados en la determinación de los coeficientes de presión interna y externa. Los valores de estos coeficientes deben considerarse conjuntamente con las presiones del viento que actúan sobre cada superficie de la estructura.

i.- Coeficiente de Presión Interna

El Coeficiente de Presión Interna (G_{Cpi}) se determina de la Tabla 6.4, dependiendo de la categoría de cerramiento de la estructura. Se acepta una reducción en el valor de este coeficiente cuando se consideran sectores de grandes volúmenes en edificios parcialmente cerrados de un solo cuerpo.

Tabla 6.4: Coeficiente de Presión Interna GC_{pi}

Clasificación de Cerramiento	GC_{pi}
Edificios Abiertos	0.00
Edificios Parcialmente Cerrados	+0.55 -0.55
Edificios Cerrados	+0.18 -0.18

ii.- Coeficiente de Presión Externa

De acuerdo a la norma ASCE 7-05, para estructuras cerradas o parcialmente cerradas, la determinación del Coeficiente de Presión Externa se realiza separadamente para el SPRFV (C_p) y sus componentes y revestimientos (GC_{pf}). Sus valores se obtienen a partir de una serie de figuras y tablas que incluyen numerosos casos comunes en la práctica. Para el caso del SPRFV en edificios de baja altura, la norma ASCE 7-05 permite obtener un valor del Coeficiente de Presión Externa que incluye el efecto de ráfaga (GC_{pr}). Por otra parte el valor del Coeficiente de Presión Externa para los componentes y revestimientos (GC_p) siempre tiene incluido el efecto de ráfaga.

En el caso en que los coeficientes de presión, tanto externa como interna, tengan incluido el efecto de ráfaga (GC_p , GC_{pi} y GC_{pr}), el Factor de Ráfaga no se debe determinar separadamente.

iii.- Coeficiente de Presión Neta

Para estructuras abiertas, se considera un Coeficiente de Presión Neta (C_N) actuando sobre las superficies de la estructura, el cual incluye simultáneamente los efectos de los coeficientes de presión externa e interna. Se diferencia su determinación para el SPRFV y sus componentes y revestimientos. Por otra parte este factor no incluye los efectos de ráfaga.

6.3. Comparación entre NCh432.Of71 y ASCE 7-05

En esta sección se realiza una comparación entre la Norma Chilena NCh432.Of71 y la norma ASCE 7-05 a partir de los factores más importantes que definen la presión del viento en cada una de estas normas.

6.3.1. Velocidad Básica del Viento

Si bien no se consideraron registros de velocidades de viento en la confección de la norma chilena NCh.432.Of71, es posible obtener valores instantáneos equivalentes de ésta para distintas alturas y condiciones de exposición. Para ello se considera que, de

acuerdo a los criterios de la norma alemana (DIN, 1971), la presión que ejerce el viento medida a una altura z_G , en la cual los efectos de la fricción son despreciables, es de $130 \text{ (kg/m}^2\text{)}$. Esta altura z_G para una exposición de campo abierto ($\alpha=0.16$) corresponde a 280 m, en tanto que para una exposición de ciudad ($\alpha=0.28$), corresponde a 400 m. Considerando lo anterior y combinando las ecuaciones 6.1 y 6.2 se determinan los valores instantáneos de la velocidad del viento para distintas alturas en una exposición de campo abierto y de ciudad. En particular la velocidad instantánea del viento a una altura de 10 m sobre el nivel del terreno, en una categoría de exposición a campo abierto, calculada de acuerdo al procedimiento descrito, tiene un valor de 26.8 (m/s) y corresponde a la velocidad básica homologada a la norma ASCE 7-05.

La Figura 6.4 presenta una comparación entre algunos de los valores de la velocidad básica del viento calculados en el capítulo 5 a partir de la metodología indicada en la norma ASCE 7-05, y el valor homologado de la velocidad básica determinado de acuerdo al procedimiento descrito en el párrafo anterior.

Se puede apreciar que las velocidades básicas del viento, calculadas de acuerdo a la norma ASCE 7-05, son levemente inferiores a la velocidad equivalente de la Norma Chilena NCh432.Of71 en las estaciones ubicadas en el sector norte y central del país. Esta situación se revierte para el sector sur del país donde se advierte que las velocidades básicas del viento son sustancialmente mayores que la velocidad equivalente de la norma chilena NCh432.Of71, llegando a ser un 97% superior para la estación DMC - PUNTA ARENAS (ver Tabla 6.5).

Si además consideramos que las cargas del viento son proporcionales al cuadrado de su velocidad, se puede establecer una diferencia porcentual entre las cargas básicas del viento determinadas a partir de la norma ASCE 7-05 y la carga de viento determinada a partir de la Norma Chilena NCh432.Of71. La Tabla 6.5, además de mostrar esta diferencia, presenta los valores de las velocidades básicas del viento calculadas a partir de ambas normativas junto con su diferencia porcentual.

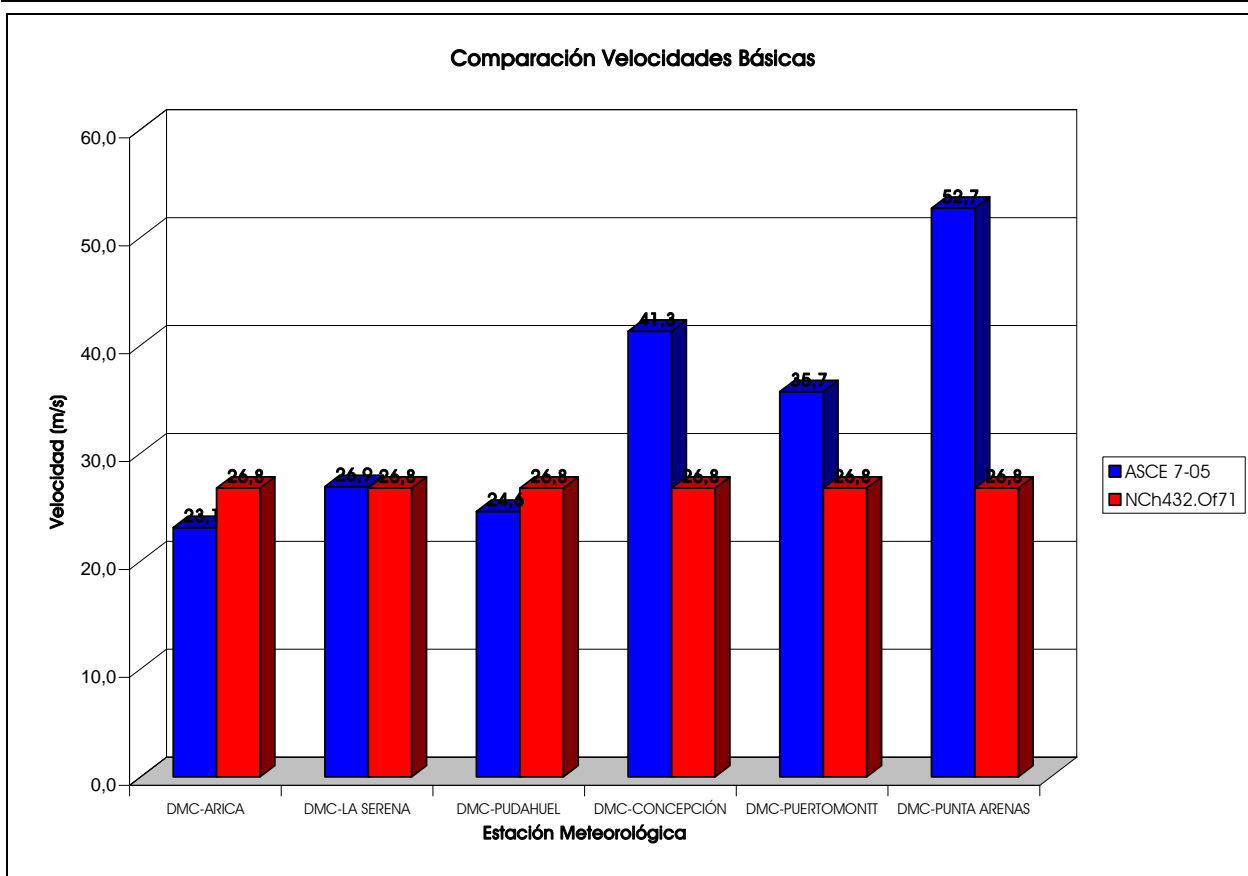


Figura 6.4: Comparación entre velocidades básicas obtenidas a partir de la norma ASCE 7-05 sobre registros de velocidades de viento medidos en Chile y velocidad básica equivalente según Norma Chilena NCh432.Of71.

Tabla 6.5: Comparación de velocidades y cargas obtenidas a partir de norma chilena NCh432.Of71 y norma ASCE 7-05.

Nombre Estación	V _{ASCE 7-05} (m/s)	V _{NCh432.Of71} (m/s)	Diferencia Velocidades	Diferencia Cargas
DMC-ARICA	23.1	26.8	-14%	-25%
DMC-LA SERENA	26.9	26.8	1%	1%
DMC-PUDAHUEL	24.6	26.8	-8%	-15%
DMC-CONCEPCIÓN	41.3	26.8	54%	138%
DMC-PUERTO MONIT	35.7	26.8	33%	78%
DMC-PUNTA ARENAS	52.7	26.8	97%	288%

6.3.2. Exposición y Altura

Si bien ambas normas utilizan una ley potencial para describir la variación de la velocidad con respecto a la altura, existe una diferencia sutil en el parámetro a corregir de ambos reglamentos, ya que la norma NCh432.Of71 aplica los factores

correctivos a la presión del viento medido a la altura geostrófica, en tanto que la norma ASCE 7-05 los aplica al cuadrado del valor de la velocidad básica del viento.

Se debe tener en consideración además, que la norma chilena establece únicamente dos categorías de exposición (campo abierto/costero y ciudad), en tanto que la norma ASCE 7-05 considera tres (campo abierto, costero y ciudad separadamente). Por otra parte esta última norma es más precisa en definir las distintas categorías de exposición, estableciendo una serie de disposiciones desde la dirección donde sopla el viento para su clasificación.

Para realizar una comparación entre los valores de los coeficientes de corrección por altura y exposición de ambas normas, se optó por establecer el coeficiente K_z equivalente de la norma chilena, de modo de compararlo con el de la norma ASCE 7-05 indicado en la Tabla 6.3. El coeficiente K_z equivalente debe ser tal que al multiplicarse por el cuadrado del valor de la velocidad básica homologada, se obtenga el cuadrado del valor de la velocidad del viento para una altura y condición de exposición determinada.

Para calcular el valor del coeficiente K_z equivalente se combinaron las ecuaciones 6.1 y 6.2, determinando los perfiles de la velocidad del viento con respecto a la altura para las dos categorías de exposición distinguidas en la norma chilena. De acuerdo a lo anterior, el coeficiente K_z equivalente se determinó como el cociente entre el cuadrado de la velocidad del viento para una altura y categoría de exposición determinada, y el cuadrado de la velocidad básica homologada (26.8^2 (m/s)^2). Las Tablas 6.6 y 6.7 muestran los valores de los coeficientes de altura y exposición equivalentes, calculados de acuerdo al procedimiento descrito, para las exposiciones de campo abierto/costero y ciudad definidas en la norma chilena, respectivamente.

Tabla 6.6: Resumen de cálculo de coeficiente K_z equivalente para una condición de exposición campo abierto/costera.

Z	ρ_z	V_{NCh432}	$(V_{NCh432})^2$	$K_{z NCh432}$
(m)	(kg/m ³)	(m/s)	(m/s) ²	
4.6	34.8	23.6	557.5	0.78
6.1	38.2	24.7	611.2	0.85
7.6	41.0	25.6	656.4	0.92
9.1	43.5	26.4	695.9	0.97
12.2	47.7	27.6	763.0	1.07
15.2	51.2	28.6	819.5	1.14
18.3	54.3	29.5	868.7	1.21
21.3	57.0	30.2	912.6	1.27
24.4	59.5	30.9	952.5	1.33
27.4	61.8	31.4	989.0	1.38
30.5	63.9	32.0	1023.0	1.43
36.6	67.8	32.9	1084.4	1.51
42.7	71.2	33.8	1139.2	1.59
48.8	74.3	34.5	1189.0	1.66
54.9	77.2	35.1	1234.7	1.72
61.0	79.8	35.7	1277.0	1.78
76.2	85.7	37.0	1371.5	1.92
91.4	90.9	38.1	1453.9	2.03
106.7	95.5	39.1	1527.4	2.13
121.9	99.6	39.9	1594.1	2.23
137.2	103.5	40.7	1655.3	2.31
152.4	107.0	41.4	1712.1	2.39
10.0	44.8	26.8	716.1	1.00
280.0	130.0	45.6	2080.0	2.90

Tabla 6.7: Resumen de cálculo de coeficiente K_z equivalente para una condición de exposición de ciudad.

z	ρ_z	V_{NCh432}	$(V_{NCh432})^2$	$K_{z,NCh432}$
(m)	(kg/m ³)	(m/s)	(m/s) ²	
4.6	10.6	13.0	170.0	0.24
6.1	12.5	14.1	199.8	0.28
7.6	14.1	15.0	226.4	0.32
9.1	15.7	15.8	250.7	0.35
12.2	18.4	17.2	294.5	0.41
15.2	20.9	18.3	333.7	0.47
18.3	23.1	19.2	369.6	0.52
21.3	25.2	20.1	402.9	0.56
24.4	27.1	20.8	434.2	0.61
27.4	29.0	21.5	463.8	0.65
30.5	30.7	22.2	492.0	0.69
36.6	34.1	23.3	544.9	0.76
42.7	37.1	24.4	594.0	0.83
48.8	40.0	25.3	640.1	0.89
54.9	42.7	26.1	683.8	0.95
61.0	45.3	26.9	725.3	1.01
76.2	51.4	28.7	821.9	1.15
91.4	56.9	30.2	910.2	1.27
106.7	62.0	31.5	992.3	1.39
121.9	66.8	32.7	1069.3	1.49
137.2	71.4	33.8	1142.2	1.60
152.4	75.7	34.8	1211.7	1.69
400.0	130.0	45.6	2080.0	2.90

El procedimiento anterior entrega valores del coeficiente K_z equivalente para distintas alturas según las dos categorías de exposición consideradas en la norma chilena (campo abierto/costero y ciudad). Estos valores se comparan en la Tabla 6.8 con los valores del coeficiente K_z de la Figura D.11 del Apéndice D, para las tres categorías de exposición análogas consideradas en la norma ASCE 7-05. Adicionalmente la Figura 6.5 muestra una comparación gráfica de estos perfiles de K_z .

Se puede apreciar que la norma NCh432.Of71, en general entrega valores mayores para la velocidad a distintas alturas en exposiciones de campo abierto y mar. En cambio, las velocidades del viento para la exposición de ciudad, son mayores para la norma ASCE 7-05.

Tabla 6.8: Comparación de valores de coeficiente K_z según norma y tipo de exposición.

Altura sobre nivel del mar	Ciudad		Campo Abierto		Mar	
	ASCE 7-05	NCh432.Of71	ASCE 7-05	NCh432.Of71	ASCE 7-05	NCh432.Of71
z (m)	K_{zASCE7}	$K_{zNCh432}$	K_{zASCE7}	$K_{zNCh432}$	K_{zASCE7}	$K_{zNCh432}$
4.6	0.57	0.24	0.85	0.78	1.03	0.78
6.1	0.62	0.28	0.90	0.85	1.08	0.85
7.6	0.67	0.32	0.95	0.92	1.13	0.92
9.1	0.70	0.35	0.98	0.97	1.16	0.97
12.2	0.76	0.41	1.04	1.07	1.22	1.07
15.2	0.81	0.47	1.09	1.14	1.27	1.14
18.3	0.85	0.52	1.14	1.21	1.31	1.21
21.3	0.89	0.56	1.17	1.27	1.35	1.27
24.4	0.93	0.61	1.21	1.33	1.38	1.33
27.4	0.96	0.65	1.24	1.38	1.41	1.38
30.5	0.99	0.69	1.27	1.43	1.43	1.43
36.6	1.04	0.76	1.32	1.51	1.48	1.51
42.7	1.09	0.83	1.36	1.59	1.52	1.59
48.8	1.13	0.89	1.40	1.66	1.55	1.66
54.9	1.17	0.95	1.43	1.72	1.59	1.72
61.0	1.20	1.01	1.46	1.78	1.62	1.78
76.2	1.28	1.15	1.53	1.92	1.68	1.92
91.4	1.35	1.27	1.59	2.03	1.73	2.03
106.7	1.41	1.39	1.65	2.13	1.78	2.13
121.9	1.47	1.49	1.69	2.23	1.82	2.23
137.2	1.52	1.60	1.74	2.31	1.86	2.31
152.4	1.57	1.69	1.78	2.39	1.90	2.39
10.0	0.72	0.37	1.00	1.00	1.18	1.00
280.0	1.86	2.38	2.02	2.90	2.11	2.90
400.0	2.06	2.90	2.18	3.26	2.24	3.26

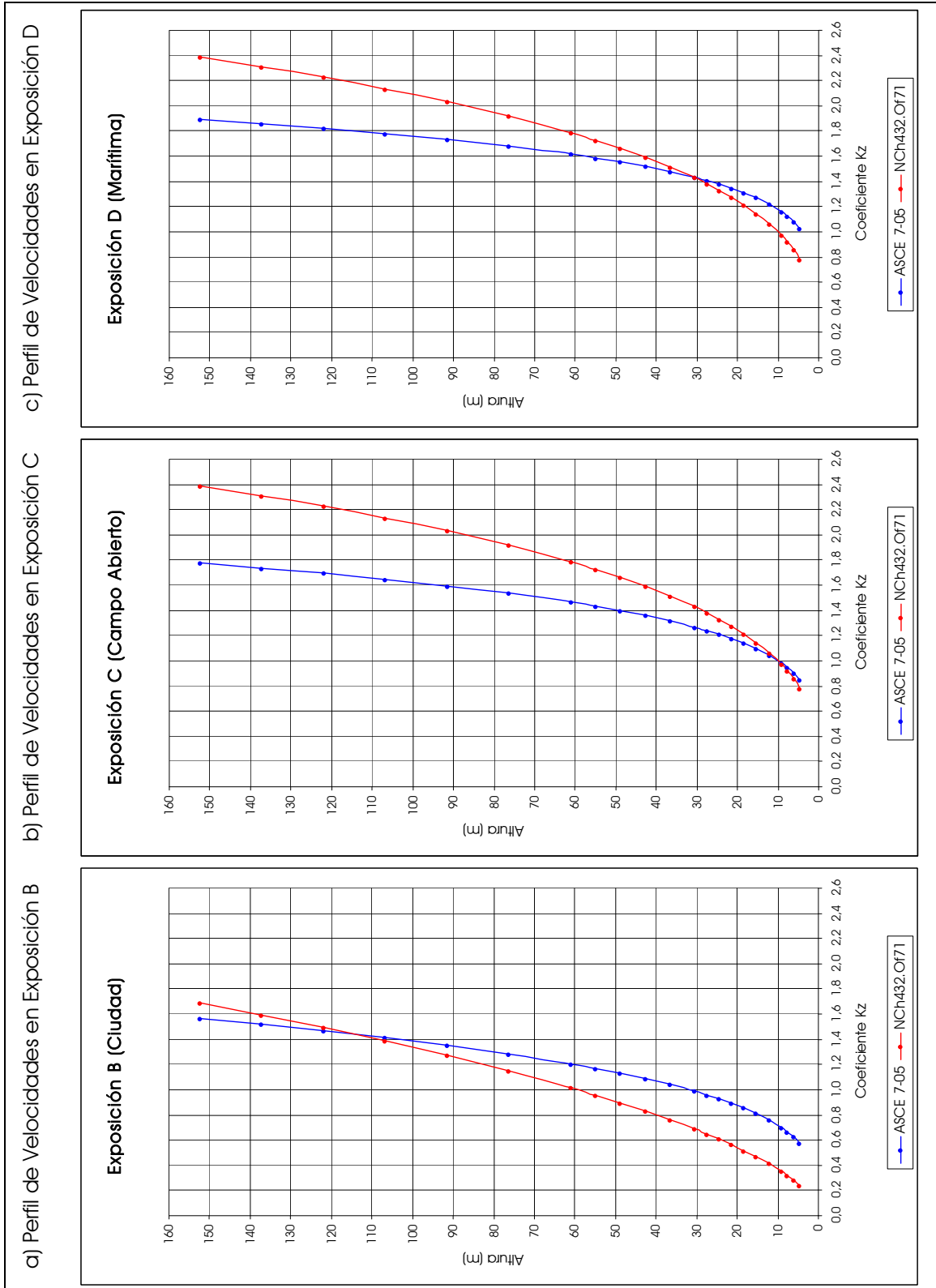


Figura 6.5: Comparación de perfiles de K_z para distintas alturas según Código ASCE 7-05 y NCh432.071:
a) Perfil para Exposición B (ciudad); b) Perfil para Exposición C (campo abierto); c) Perfil para Exposición D (costa).

6.3.3. Factor de Ráfaga

Como se indicó anteriormente, el factor de ráfaga considera la amplificación dinámica de cargas en edificios y estructuras flexibles debido a variaciones bruscas de la velocidad del viento, tanto en el tiempo, como en la superficie de la estructura a analizar. Este factor depende de la forma en que se defina la velocidad y es considerado a través del factor R en la norma chilena que utiliza valores instantáneos de la velocidad del viento, mientras que a través del factor G en la norma americana, que utiliza un promedio de la ráfaga de 3 segundos.

Si bien la descripción de la velocidad es muy similar en ambas normas, en el caso de la norma americana se acepta la utilización de un valor de G igual a 0.85 para estructuras rígidas, lo cual considera la imposibilidad de que se produzca una amplificación dinámica para estructuras rígidas, contrariamente a lo que sucede en el caso de la norma chilena, la cual entrega valores de R mayores que 1.

6.3.4. Factor Topográfico

Pese a que este factor es considerado en ambas normativas, el aumento de la velocidad del viento que se produce en sitios de topografía inusual se describe de manera más precisa en la norma americana, en el cual se establecen distintos factores de modificación tanto para barrancos, lomas y colinas (3D). Este factor topográfico K_z alcanza un valor máximo de 2.96 en la norma ASCE 7-05, mientras que tiene un valor constante de 1.2 en la norma chilena, independiente de la condición topográfica a evaluar.

6.3.5. Coeficientes de Presión

Los coeficientes de presión (externos, internos o netos) indicados en la norma ASCE 7-05, abarcan una amplia gama de casos que se presentan en la práctica, distinguiendo los casos en que se analizan estructuras cerradas (total y parcialmente) y estructuras abiertas. El equivalente factor de forma de la norma chilena en cambio, presenta un número reducido de casos en sus anexos, dejando al criterio del proyectista la resolución de aquellos no indicados en ellos.

Por otra parte, debido a la imposibilidad que se tenga un valor máximo de la carga del viento sobre la totalidad de una superficie de grandes dimensiones, la norma americana, a diferencia de la norma chilena, considera una disminución del valor del coeficiente de presión (interna) que incluye este efecto.

Finalmente, la norma americana establece una distinción entre los coeficientes de presión para el SPRFV y para sus componentes y revestimientos. Esta distinción considera el efecto de la concentración de tensiones que se produce en algunos sectores de la envolvente de un edificio.

6.3.6. Otras Comparaciones

Dentro de esta sección se presentan algunas diferencias entre la Norma Chilena NCh432.Of71 y la norma americana ASCE 7-05 que no involucren la comparación directa de sus factores de modificación.

i.- Clasificación de Estructuras por Cerramiento

La clasificación por cerramiento de las estructuras realizada por la norma chilena es muy limitada y no permite clasificar completamente la totalidad de las estructuras presentes en la práctica (estructuras con menos de un tercio de aberturas en alguno de sus lados). La norma americana en cambio, define de manera muy precisa tres categorías de cerramiento, las cuales abarcan la totalidad de las construcciones presentes en la práctica.

ii.- Dirección de Análisis

La norma americana considera la acción del viento actuando sobre cualquier dirección horizontal, de modo de evaluar la acción del viento sobre la dirección más desfavorable de la estructura. La norma chilena en cambio, considera la acción del viento actuando únicamente sobre las dos direcciones principales de la estructura, dejando a juicio de la Autoridad Revisora la necesidad de incluir otras direcciones adicionales. Esto último hace que el diseño según la norma chilena puede no ser realizado para la condición más desfavorable, al no incluir la dirección que controla el diseño de la estructura.

iii.- Métodos de Análisis

La norma americana cuenta con 3 métodos de análisis para el cálculo de las cargas sobre las estructuras: Procedimiento Simplificado, Procedimiento Analítico y Túnel de Viento. El Procedimiento Simplificado establece ciertas reducciones en algunos de los factores de modificación para un determinado tipo de estructuras, de manera de no sobreestimar las cargas de diseño de viento. El Procedimiento Analítico corresponde a la metodología detallada para la determinación de las cargas de diseño de viento. Finalmente para abarcar un número mayor de estructuras presentes en la práctica, se propone alternativamente la aplicación del Método del Túnel de Viento.

Por otra parte, la norma chilena presenta dos métodos para el cálculo de las cargas de viento: Método Estático (para estructuras de menos de 100 m) y Método Dinámico (para todo tipo de estructuras). El Método Estático consiste en la aplicación de los valores de una tabla generada a partir de la extrapolación de los valores obtenidos del cálculo de tres edificios de 20 m, 80 m y 150 m de altura con el Método Dinámico. De acuerdo a lo anterior, el Método Estático no entrega reducciones en el cálculo de cargas para los edificios como lo hace la norma americana, sobreestimando las cargas para las estructuras rígidas. El Método Dinámico a su vez requiere de la medición de velocidades de viento para su aplicación, lo cual hace difícil su aplicación.

iv.- Factor de Importancia

A diferencia de la norma chilena, la norma americana considera una clasificación de estructuras de acuerdo a su importancia, asignándole distintos valores a un factor de importancia que sobreestime o subestime los valores de las cargas de diseño de viento sobre una estructura en particular. Este tratamiento permite dimensionar las estructuras de acuerdo al riesgo que implicaría su falla. Su utilización es aceptada inclusive en las actuales normas chilenas de diseño sísmico.

La Tabla 6.9 muestra un resumen de la comparación realizada en la sección 6.3 entre las normas NCh432.Of71 y ASCE 7-05.

Tabla 6.9: Resumen de comparación entre normas NCh432.Of71 y ASCE 7-05.

ASCE 7-05		NCh432.Of71	
1	Dirección de Análisis - Todas	1	Dirección de Análisis - Sólo las 2 principales
2	Diferenciación de Cargas - SPRFV - Componentes y Revestimientos	2	Diferenciación de Cargas - No se indica
3	Velocidad Básica - $\langle v \rangle_{3s}$; $h=10$ m ; exposición de campo abierto - Variable según mapa de isotacas de Figura 2.2 - Período de retorno 50 años	3	Velocidad Básica Homologada - Valor único para todo el país - Velocidad instantánea (no se indica período de promedio, ni de retorno)
4	Exposición y Altura K_z - Exposición tipo B (ciudad) - Exposición tipo C (campo abierto) - Exposición tipo D (marítima)	4	Exposición y Altura K_z - Exposición de ciudad - Exposición de campo abierto / marítima
5	Efecto Ráfaga - Factor de efecto ráfaga G	5	Efecto Ráfaga - Factor de ráfaga R
6	Factor Topográfico - K_{zt} (K_1, K_2, K_3)	6	Factor Topográfico - Aumento de 20% en cargas
7	Coefficiente de Presión - Coeficiente de presión externa - Coeficiente de presión interna - Coeficiente de presión neta	7	Factor de Forma - Casos muy limitados en la práctica
8	Factor de Direccionalidad	8	Factor de Direccionalidad - No se indica
9	Factor de Importancia - Estructuras menores o temporales (I) - Estructuras sustanciales o esenciales (III y IV) - Resto de las estructuras (II)	9	Factor de Importancia - No se indica
10	Métodos de Análisis - Procedimiento simplificado - Procedimiento analítico - Túnel de viento	10	Métodos de Análisis - Método estático - Método dinámico
11	Clasificación por Cerramiento - Estructuras abiertas - Estructuras parcialmente cerradas - Estructuras cerradas	11	Clasificación por Cerramiento - Estructuras abiertas - Estructuras cerradas - No abarca representatividad de casos presentes en la práctica

7. CÁLCULO DE CARGAS

En este capítulo se calculan las cargas de viento sobre un galpón tipo ubicado sobre un acantilado cercano a la costa en la ciudad de Concepción. Para ello se utiliza la Norma Chilena NCh432.Of71 y por otra parte, las disposiciones de la norma ASCE 7-05, aplicadas sobre el valor de la velocidad básica del viento obtenida a partir de los registros de la estación DMC con el mismo nombre (41.3 (m/s)). Las solicitaciones de viento se calculan según el Método Estático de la norma chilena y según el Procedimiento Simplificado de la norma americana. Finalmente se presenta una comparación de las cargas obtenidas de la aplicación de estos métodos.

7.1. Características Generales de la Estructura

El galpón industrial corresponde al calculado en [Castillo, 1999, Capítulo 5], según la versión del año 1995 de la norma ASCE 7. Se consideran las siguientes suposiciones para simplificar el cálculo de las cargas:

- a. Se considera que la cara con la abertura correspondiente a la puerta se ubica tanto en la parte frontal como en la posterior del galpón.
- b. Se considera que las puertas corredizas de la cara frontal y de la cara posterior, funcionan permanentemente abiertas.
- c. No se consideran ventanas en las caras laterales del galpón.

La Figura 7.1 muestra las características geométricas, de exposición y emplazamiento del galpón considerado, de acuerdo a las suposiciones indicadas anteriormente.

Como se puede apreciar, el galpón corresponde a una estructura de acero doblemente simétrica, conformada por marcos transversales separados cada 10 m. Estos marcos soportan un sistema de techo a dos aguas que funciona como diafragma. El galpón se encuentra revestido tanto en sus paredes longitudinales, como en el sistema de techo, por medio de una cubierta exterior.

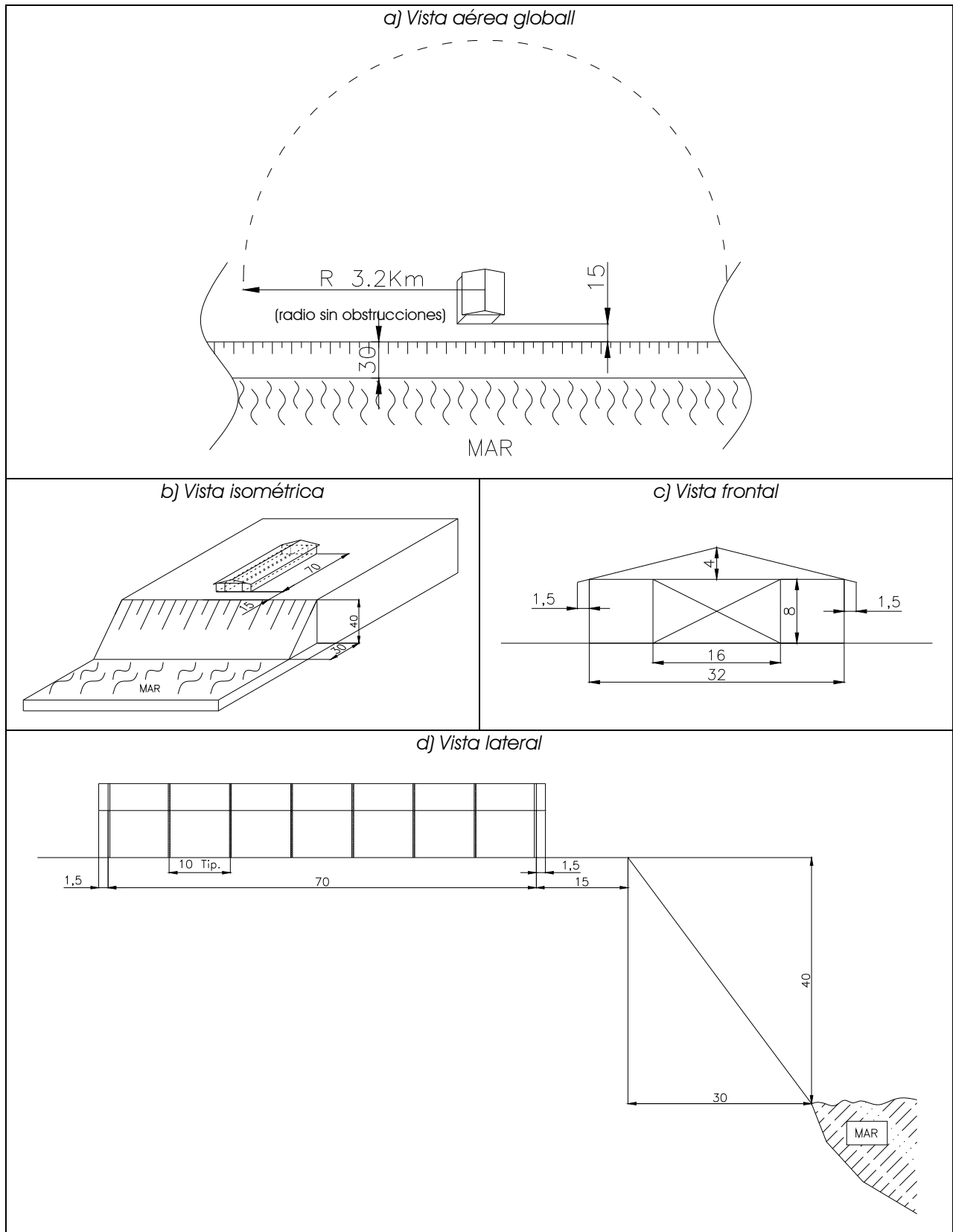


Figura 7.1: Características geométricas, de exposición y emplazamiento del galpón considerado.

7.2. Cálculo de Cargas sobre Galpón según Norma Chilena NCh432.Of71

La acción del viento se considerará actuando sobre las dos direcciones principales del galpón (longitudinal y transversal) de acuerdo a los requerimientos de la norma chilena. Se calcularán dos valores para la presión básica, uno a la altura media del techo y otro a la altura media de los muros, para calcular las cargas sobre estos elementos.

7.2.1. Clasificación de Estructura por Cerramiento

i.- Dirección Transversal

Debido a que el galpón no contiene aberturas en sus caras laterales, se considera como una estructura cerrada para el análisis en su dirección transversal.

ii.- Dirección Longitudinal

Para clasificar el galpón por cerramiento en su dirección longitudinal se debe calcular la permeabilidad de la su cara frontal. La permeabilidad corresponde al cociente entre el área total de aberturas en una cara y el área gruesa de la misma cara:

$$\text{Permeabilidad} = \frac{\text{Área de aberturas en una cara}}{\text{Área gruesa de la misma cara}} \quad (7.1)$$

$$\text{Permeabilidad} = \frac{16 * 8}{32 * 8 + \frac{32 * 4}{2}} = 0.4$$

Debido a que la permeabilidad en la cara frontal es mayor que $\frac{1}{3} = 0.33$ el galpón se considera como una estructura abierta para el análisis en su dirección longitudinal.

7.2.2. Cálculo de Cargas

i.- Presiones Básicas

Para el cálculo de las solicitaciones sobre el galpón se distinguirán las presiones sobre sus muros y sobre el techo. Los valores de estas presiones fueron obtenidos a partir de la Tabla 6.1 para estructuras situadas ante el mar. Estas presiones se evaluaron a la altura media del techo h_{media} y de los muros h_{muro} . Los valores anteriores deben multiplicarse por el factor topográfico (1.2), de manera de considerar el aumento en la velocidad del viento que se produce debido a la cercanía del galpón con respecto al barranco.

$$h_{\text{media}} = 8 + 4 - 2.2 = 9.8 \text{ (m)}$$

$$q_{\text{techo}} = q(h_{\text{media}}) = 105.3 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)$$

$$q_{\text{techo}}^{\text{topo}} = 1.2 * q_{\text{techo}} = 126.3 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)$$

$$h_{\text{muro}} = \frac{8}{2} = 4.0 \text{ (m)}$$

$$q_{\text{muro}} = q(h_{\text{muro}}) = 70.0 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)$$

$$q_{\text{muro}}^{\text{topo}} = 1.2 * q_{\text{muro}} = 84.0 \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)$$

ii.- Cargas para Análisis en la Dirección Transversal

Las cargas de viento sobre el galpón, considerándolo como una estructura cerrada para un análisis en su dirección transversal, se obtienen de multiplicar los valores de las presiones sobre los muros y el techo, por sus respectivos coeficientes de forma. Los valores de los coeficientes de forma se obtuvieron de la Figura D.6 del Apéndice D.

La Figura 7.2 muestra los valores de los factores de forma y de la presión total sobre cada una de las superficies de la estructura. No se consideran cargas de viento para las caras frontal y posterior del galpón en esta dirección de análisis.

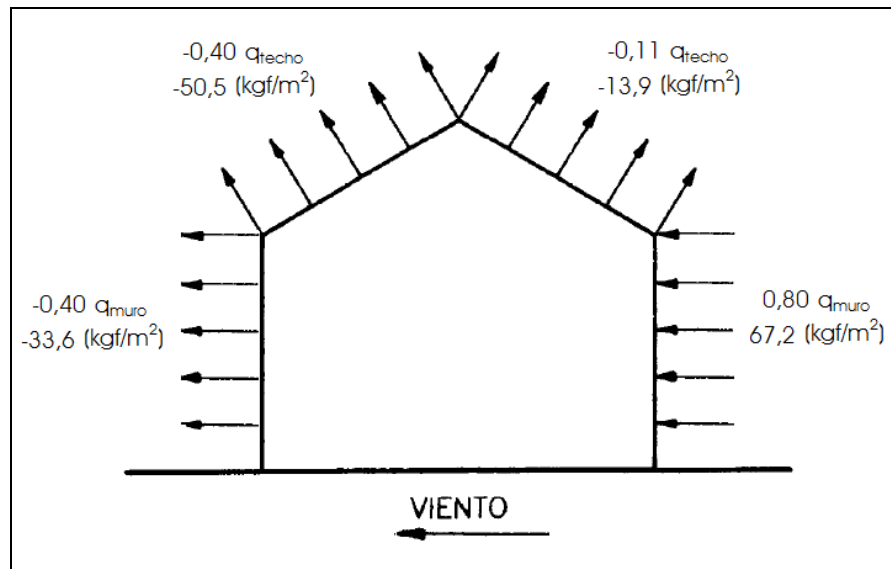


Figura 7.2: Valores de los factores de forma y la presión total en (kgf/m²) sobre cada una de las superficies del galpón para un análisis en su dirección transversal.

iii.- Cargas para Análisis en la Dirección Longitudinal

Al igual que en el punto anterior, las cargas de viento sobre el galpón para un análisis en su dirección longitudinal, se obtienen de multiplicar los valores de las presiones sobre los muros y el techo, por sus respectivos coeficientes de forma.

Debido a que la norma chilena no hacía referencia explícita a una estructura abierta con las características del galpón en estudio, los valores de los coeficientes de forma

se determinaron basados en los valores indicados en las Figuras D.6 y D.7 del Apéndice D.

La Figura 7.3 muestra los valores de los factores de forma utilizados y los valores de la presión total sobre cada una de las superficies de la estructura.

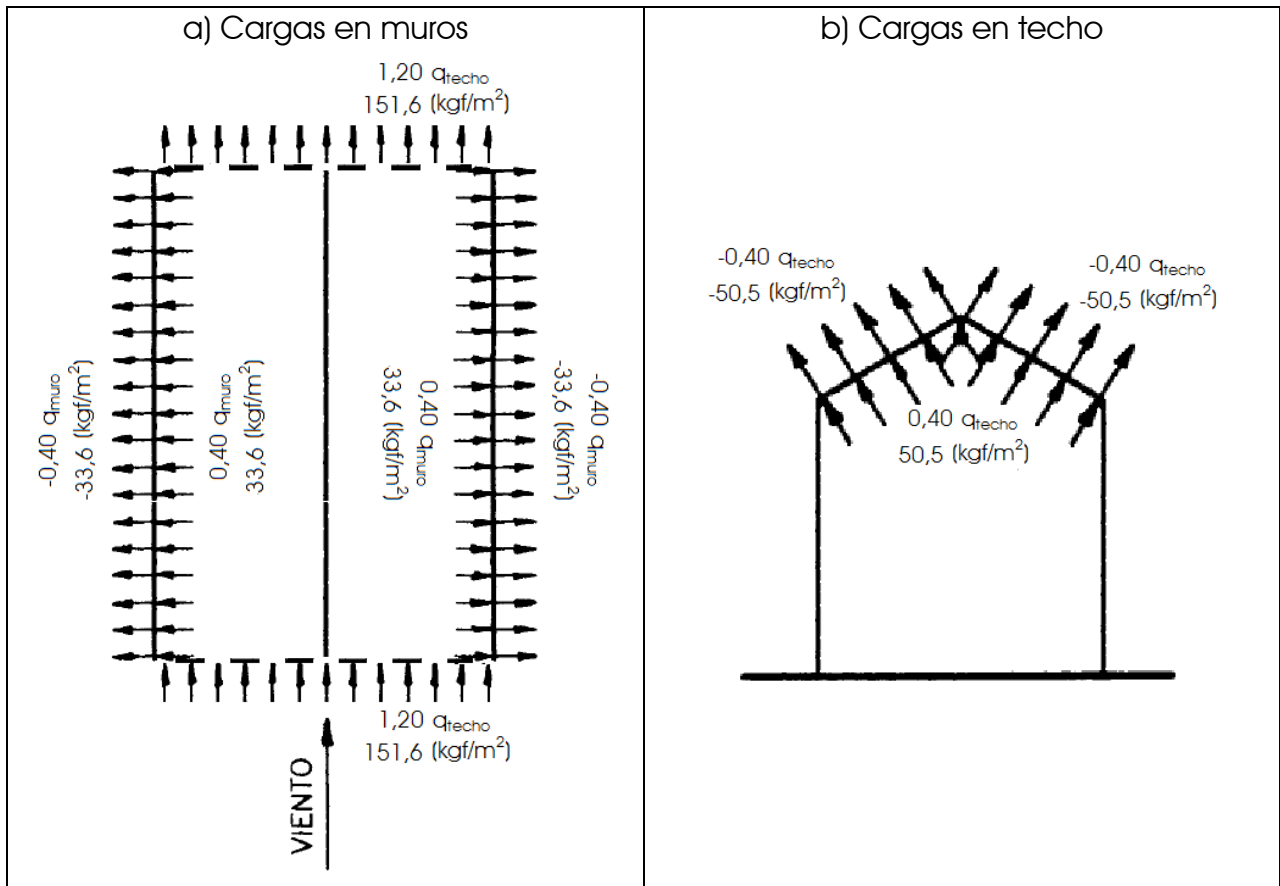


Figura 7.3: Valores de los factores de forma y presión total en (kgf/m²) sobre cada una de las superficies del galpón para un análisis en su dirección longitudinal:
a) Cargas en muros; b) Cargas en techo.

7.3. Cálculo de Cargas sobre Galpón según Norma ASCE 7-05

Previo al cálculo de las cargas sobre la estructura, es necesario aclarar que debido a la simetría de la estructura con respecto a sus ejes longitudinal y transversal, y considerando que las presiones del viento son mayores para estas direcciones de análisis, basta con considerar únicamente un análisis en estas dos direcciones principales para diseñar el galpón de acuerdo a la norma ASCE 7-05.

Por otra parte, el cálculo de cargas se realizará separadamente para la estructura principal resistente al viento del galpón (correspondiente a sus marcos transversales) y para sus componentes y revestimientos (correspondientes a las cubiertas de las paredes y del techo).

7.3.1. Clasificación de SPRFV y Componentes

i.- Sistema Principal Resistente al Viento SPRFV

i.- a) Caracterización por Cerramiento

A_o = Área total de aberturas en la cara que recibe presión externa positiva (m^2)

A_g = Área gruesa del muro correspondiente a la cara asociada a A_o (m^2)

A_{oi} = Suma de áreas de aberturas de la envolvente del edificio (muros y techo), no incluida A_o (m^2)

A_{gi} = Suma de áreas gruesas de la envolvente del edificio (muros y techo), no incluida A_g (m^2)

Analizando la dirección frontal:

$$A_o = 16 * 8 = 128 m^2$$

$$A_g = 32 * 8 + \frac{32 * 4}{2} = 320 m^2$$

$$A_{oi} = 128 m^2$$

$$A_{gi} = 70 * 8 * 2 + 320 + 73 * 18 * 2 = 4068 m^2$$

Clasificación por cerramiento:

$$A_o \geq 0.80 A_g \quad \text{NO SE CUMPLE} \Rightarrow \text{No es abierto}$$

$$A_o \geq 1.10 A_{oi} \quad \text{NO SE CUMPLE} \Rightarrow \text{No es parcialmente cerrado}$$

$$A_o \geq 0.37 m^2 \quad \text{SE CUMPLE}$$

$$\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.20 \quad \text{SE CUMPLE}$$

∴ El galpón se considera cerrado en su dirección frontal.

Analizando la dirección lateral:

$$A_o = 0 m^2$$

$$A_g = 70 * 8 = 560 m^2$$

$$A_{oi} = 2 * 128 = 256 m^2$$

$$A_{gi} = 320 * 2 + 70 * 8 + 73 * 18 * 2 = 3828 m^2$$

Clasificación por cerramiento:

$$\begin{aligned} A_o &\geq 0.80 A_g && \text{NO SE CUMPLE} \Rightarrow \text{No es abierto} \\ A_o &\geq 1.10 A_{oi} && \text{NO SE CUMPLE} \Rightarrow \text{No es parcialmente cerrado} \\ A_o &\geq 0.37 \text{ m}^2 && \text{NO SE CUMPLE} \Rightarrow \text{No es parcialmente cerrado} \\ \frac{A_{oi}}{A_{gi}} &\leq 0.20 && \text{SE CUMPLE} \end{aligned}$$

∴ El galpón se considera cerrado en su dirección lateral.

De acuerdo a lo anterior, el edificio es cerrado para las dos direcciones de análisis.

i.- b) Caracterización por Altura

Debido a que:

- a. El edificio es cerrado
- b. La altura media del techo h_{mean} es:
 $h_{\text{mean}} = h_{\text{media}} = 9.8 \text{ m} \leq 18 \text{ m}$
- c. La dimensión basal mínima B_{min} es:
 $B_{\text{min}} = 32 \text{ m} \geq h_{\text{mean}} = 18 \text{ m}$

El galpón se puede clasificar como un edificio de baja altura

i.- c) Otras Caracterizaciones

Debido a que, además:

- d. El galpón se considera como un edificio de diafragmas simples
- e. La frecuencia natural de vibración η_1 es:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \frac{22.2}{(H(\text{ft}))^{0.8}} \text{ (Hz)} && \text{(Ecuación C6 - 14 de Código ASCE 7 - 05)} \\ &= \frac{22.2}{\left(12(\text{m}) * 3.28 \left(\frac{\text{ft}}{\text{m}}\right)\right)^{0.8}} \text{ (Hz)} \\ &= 1.2 \text{ (Hz)} \geq 1.0 \text{ (Hz)} \\ &\Rightarrow \text{Edificio Rígido} \end{aligned}$$

- f. El galpón se considera como un edificio de forma regular

- g. El galpón no corresponde a un edificio sensible a los efectos del viento
- h. El galpón no presenta un comportamiento asociado a efectos torsionales

Por lo tanto es procedente la utilización del Procedimiento Simplificado para el cálculo de las cargas de viento sobre el SPRFV.

ii.- Componentes y Revestimientos

Considerando los puntos a, b, f y g del SPRFV y además que:

- a. El galpón tiene un techo a dos aguas con un ángulo θ igual a:

$$\theta = \arctan\left(\frac{4}{16}\right) = 14^\circ \leq 45^\circ$$

$$\theta \approx 15^\circ$$

Para efectos de cálculo de cargas se asumirá que el ángulo θ es igual a 15°

Es procedente la utilización del Procedimiento Simplificado para el cálculo de las cargas de viento sobre sus componentes y revestimientos.

7.3.2. Cálculo de Cargas

i.- Parámetros Preliminares

Considerando que el galpón se ubica en la ciudad de Concepción, se utilizará la velocidad básica V estimada para la estación DMC con el mismo nombre, la cual tiene un valor de:

$$V = 41.3 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \quad (7.2)$$

Por otra parte se considera que el galpón clasifica como una estructura de Categoría II, de modo que el Factor de Importancia I tiene un valor de 1.00.

Si bien, de acuerdo a la ubicación del galpón se podría considerar que para la dirección del viento desde el mar se tiene una categoría de Exposición D (costera) y para la dirección opuesta sería de Exposición C (campo abierto), para la aplicación del Procedimiento Simplificado se debe utilizar la dirección que conlleve a los mayores valores de las cargas de viento, aplicada sobre todas las direcciones de análisis de la estructura. De acuerdo a lo anterior, se utilizará la Exposición D de la norma ASCE 7-05.

ii.- Cargas sobre Sistema Principal Resistente al Viento

Las presiones simplificadas p_s , para el sistema principal resistente a las fuerzas del viento, están determinadas por la ecuación (6.7). De acuerdo a esto, se debe calcular los valores de λ , K_{zt} , I y p_{s30} .

De acuerdo a la Tabla 6.2, el valor de λ para una Categoría de Exposición D y una altura media de la cubierta de techo h_{mean} es:

$$h_{mean} = 9.8 \text{ (m)} \approx 10.7 \text{ (ft)} \Rightarrow \lambda = 1.70$$

El factor topográfico K_{zt} evaluado a una altura de h_{mean} para una topografía de acantilado se determina a partir de los valores de los multiplicadores K_1 , K_2 y K_3 indicados en la Figura D.10 del Apéndice D, de la siguiente forma:

$$\frac{H}{L_h} = \frac{40}{15} = 2.67$$

\therefore se asume que $\frac{H}{L_h} = 0.5$ y que $L_h = 2H$ para evaluar K_2 y K_3

$$\Rightarrow K_1 = 0.43$$

$$\frac{x}{L_h} = \frac{x}{2H} = \frac{15}{80} = 0.19$$

$$\Rightarrow K_2 = 0.95$$

$$\frac{z}{L_h} = \frac{h_{mean}}{2H} = \frac{9.8}{80} = 0.12$$

$$\Rightarrow K_3 = 0.75$$

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 = (1 + 0.43 * 0.95 * 0.75)^2 = 1.71$$

El factor de importancia, como se indicó en el punto anterior, tiene un valor de:

$$I = 1.00$$

Finalmente de la Figura D.8 del Apéndice D, se establecen los valores de las presiones básicas p_{s30} para el SPRFV, considerando una velocidad básica de 41.3 (m/s). Estos valores fueron obtenidos interpolando linealmente los valores indicados para 40.2 (m/s) y 44.7 (m/s).

La Figura 7.4 muestra los valores de las presiones básicas p_{s30} sobre el SPRFV del galpón para una velocidad básica de 41.3 (m/s), así como los valores de las presiones totales p_s^{TOTAL} , obtenidas de la multiplicación de estas últimas por los factores

λ , K_{zt} e I ($\lambda * K_{zt} * I = 1.70 * 1.71 * 1.00 = 2.91$). Para ello se consideró que el ángulo de la cubierta del techo θ es igual a 15° .

El valor de "a" indicado en la Figura 7.4 corresponde al valor mínimo entre el 10% de la dimensión basal mínima y 0.4 veces la altura media del techo:

$$\begin{aligned} a &= \min(0.1 * B_{\min} ; 0.4 * h_{\text{mean}}) \\ &= \min(0.1 * 32 \text{ m} ; 0.4 * 9.8 \text{ m}) \\ &= \min(3.2 \text{ m} ; 3.9 \text{ m}) \\ &= 3.2 \text{ m} \end{aligned}$$

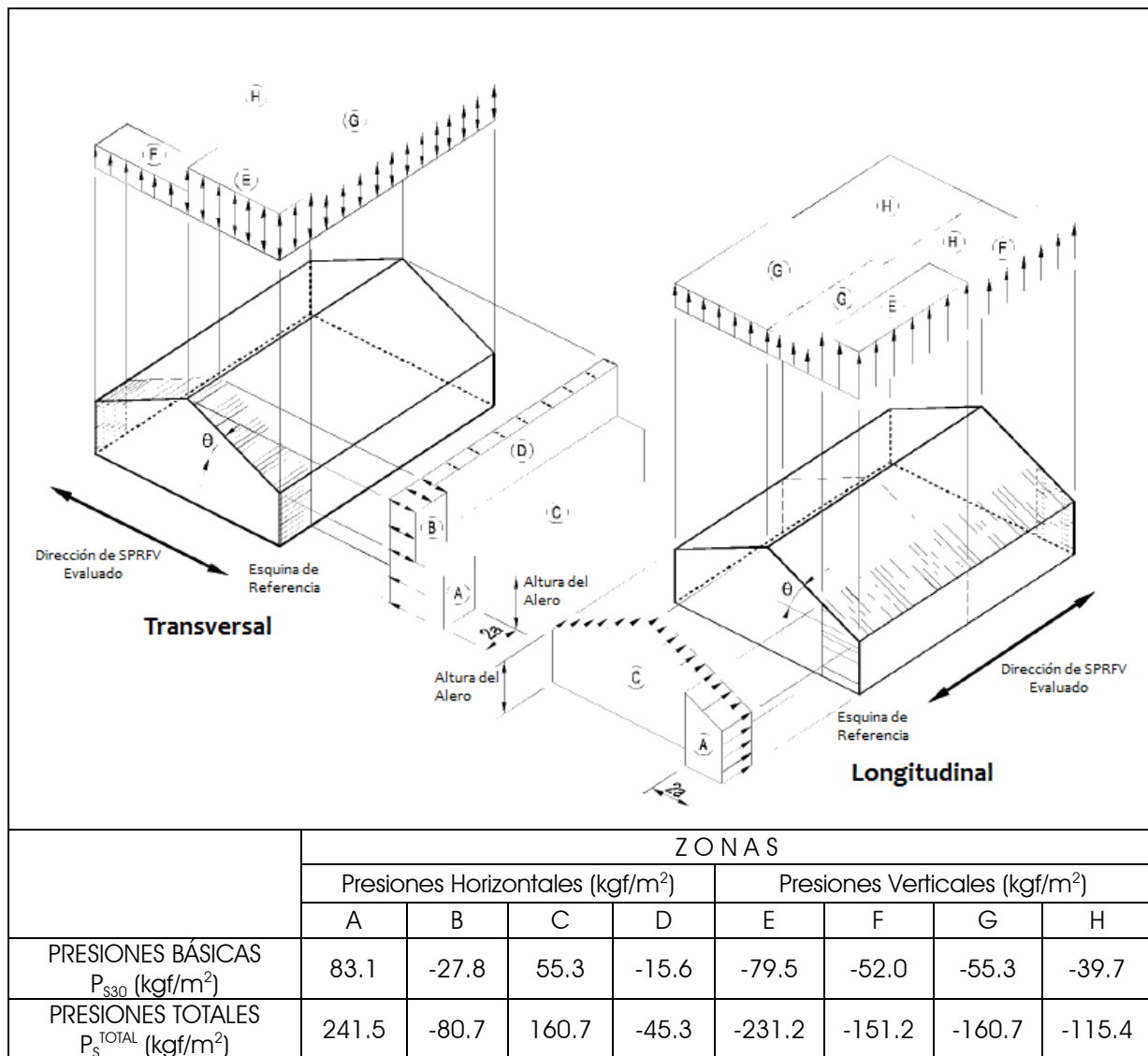


Figura 7.4: Presiones Básicas y Presiones Totales para el SPRFV del galpón según Norma ASCE 7-05, considerando una velocidad básica de 92.4 (mph) y un ángulo de la cubierta del techo igual a 15° .

iii.- Cargas sobre Componentes y Revestimientos

Debido a que las presiones sobre los componentes y revestimientos del galpón están dados por la ecuación (6.8), la cual considera los mismos valores de λ , K_{zt} e I , basta con obtener los valores de p_{net30} para obtener estas presiones.

Al igual que para el caso del SPRFV del galpón, los valores de las presiones básicas p_{net30} para sus componentes y revestimientos se obtienen de la Figura D.9 del Apéndice D. Para ello se considera una velocidad básica de 41.3 (m/s) y las correspondientes áreas efectivas. Los valores de las presiones p_{net30} fueron obtenidos interpolando linealmente los valores indicados para 40.2 (m/s) y 44.7 (m/s).

La Figura 7.5 muestra los valores de las presiones básicas p_{net30} sobre los componentes y revestimientos del galpón para una velocidad básica de 41.3 (m/s), así como los valores de las presiones totales p_{net}^{TOTAL} , obtenidas de la multiplicación de estas últimas por los factores λ , K_{zt} e I ($\lambda * K_{zt} * I = 1.70 * 1.71 * 1.00 = 2.91$). De igual forma que para el caso del SPRFV se considero que el ángulo de la cubierta del techo θ es igual a 15° .

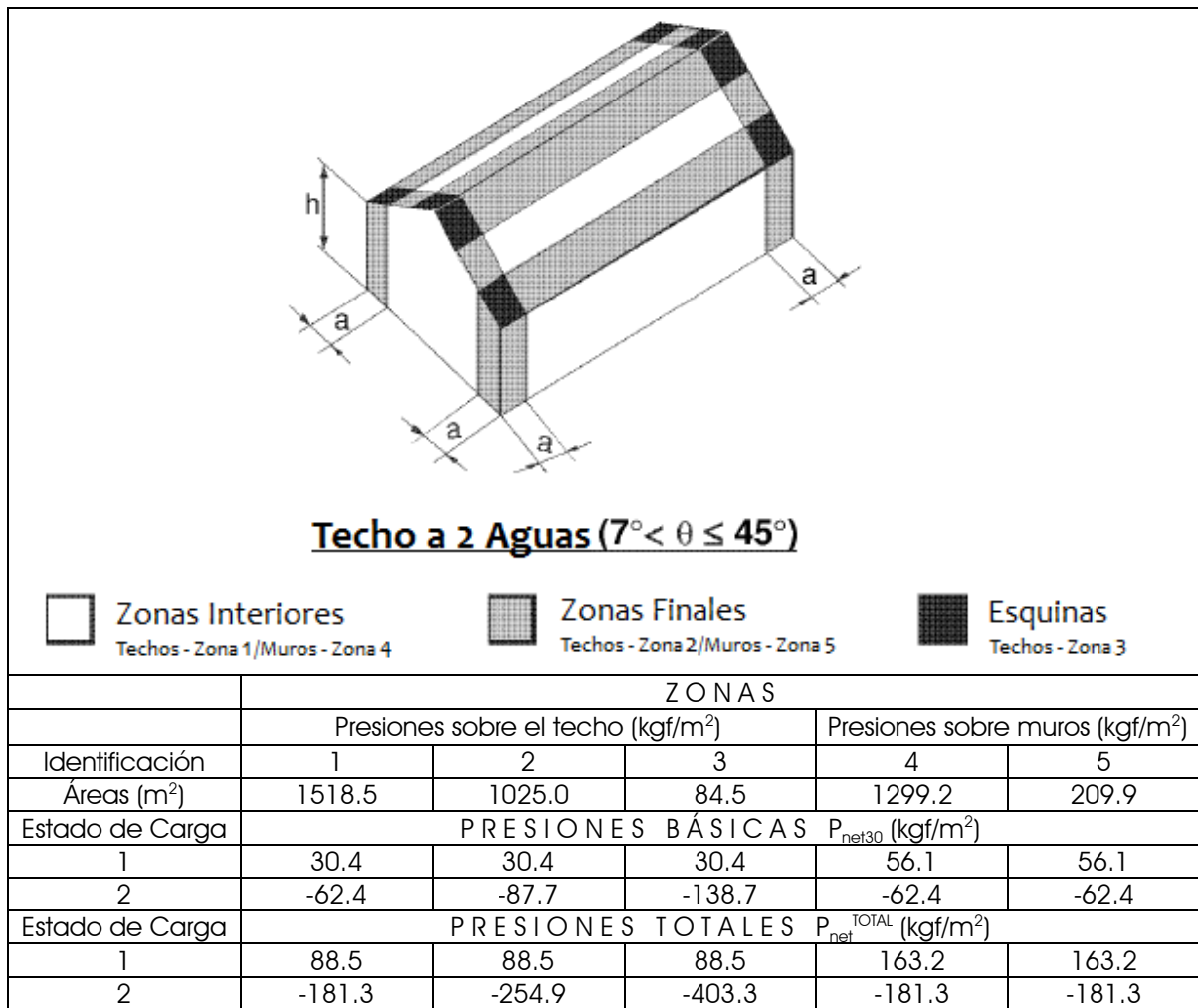


Figura 7.5: Áreas efectivas, presiones básicas y presiones totales para componentes y revestimientos del galpón según Norma ASCE 7-05, considerando una velocidad básica de 92.4 (mph), un ángulo de la cubierta del techo igual a 15° y reducción por áreas efectivas.

7.4. Comparación de Cargas

En esta sección se comparan las cargas de viento sobre el galpón en estudio, obtenidas a partir de la aplicación de las normas ASCE 7-05 y NCh.432.Of 71. Debido a que las zonas en las cuales se aplican las cargas según la norma ASCE 7-05 coinciden con las zonas de aplicación de las cargas según la norma chilena, la comparación se establecerá a partir de las presiones obtenidas en estas zonas según ambas normas.

Debido a que la norma ASCE 7-05, a diferencia de la norma chilena, distingue entre las presiones sobre el SPRFV y las presiones sobre sus componentes y revestimientos, se realizará un análisis por separado para cada uno de estos casos. Las Figuras 7.6 y 7.7 muestran una comparación entre las cargas de viento sobre el SPRFV, obtenidas a partir de ambas normas, considerando un análisis en dirección transversal y longitudinal del galpón respectivamente. La Figura 7.8 muestra a su vez una

comparación entre las cargas de viento sobre los componentes y revestimientos del galpón, obtenidas a partir de ambas normas, considerando las solicitaciones más desfavorables para las dos direcciones de análisis.

De las Figuras 7.6 a 7.8 se observa que las cargas de viento calculadas según la norma chilena son inferiores a las cargas de viento calculadas según la norma ASCE 7-05 tanto para el SPRFV, como para sus componentes y revestimientos . No es posible indicar un valor exacto que señale los valores entre una y otra norma, sin embargo esta diferencia alcanza en algunos sectores puntuales hasta 23 veces el valor indicado por la norma chilena.

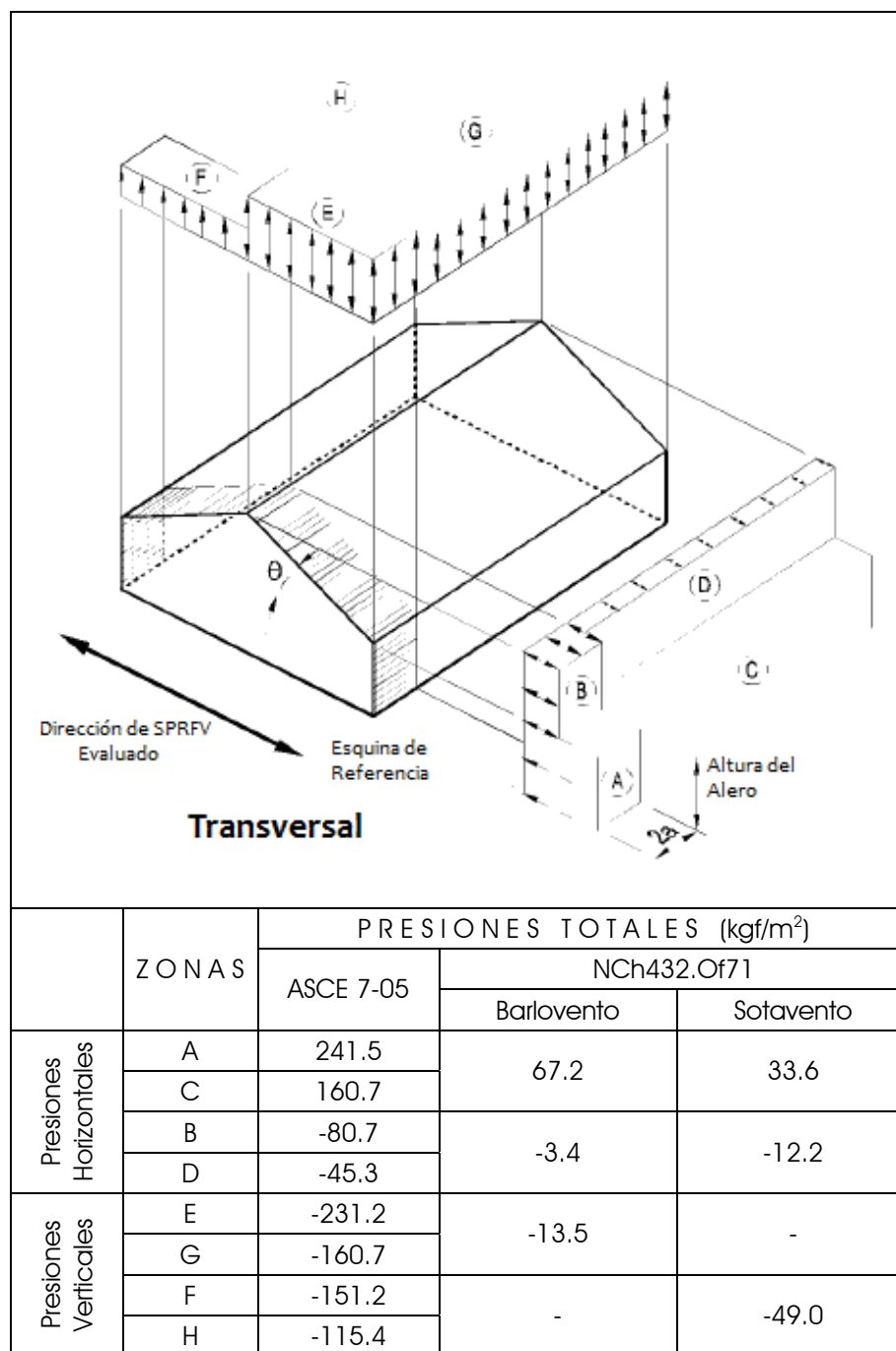


Figura 7.6: Cargas de viento sobre SPRFV del galpón según Norma ASCE 7-05 y NCh432.Of71, considerando un análisis en su dirección transversal.

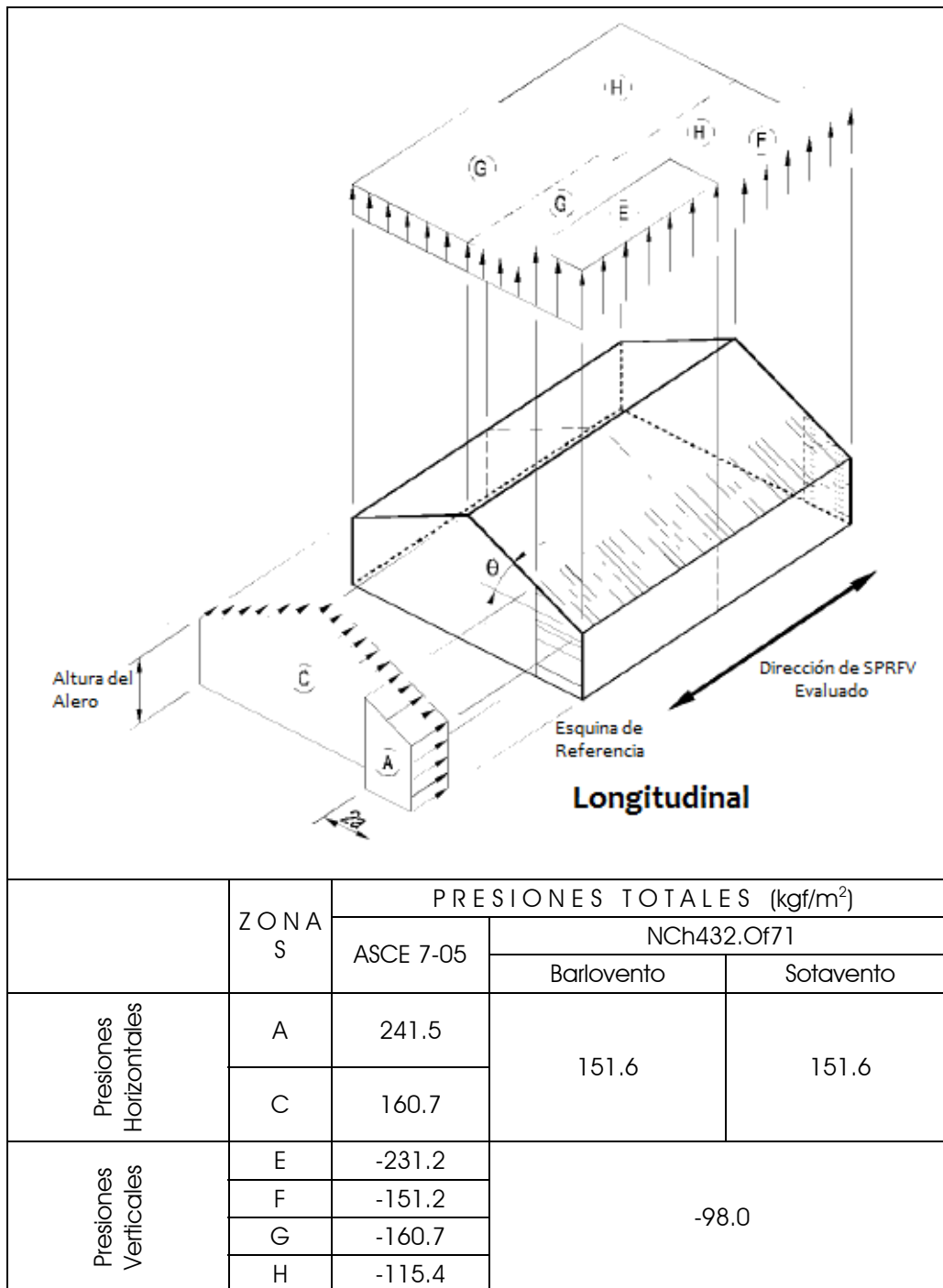
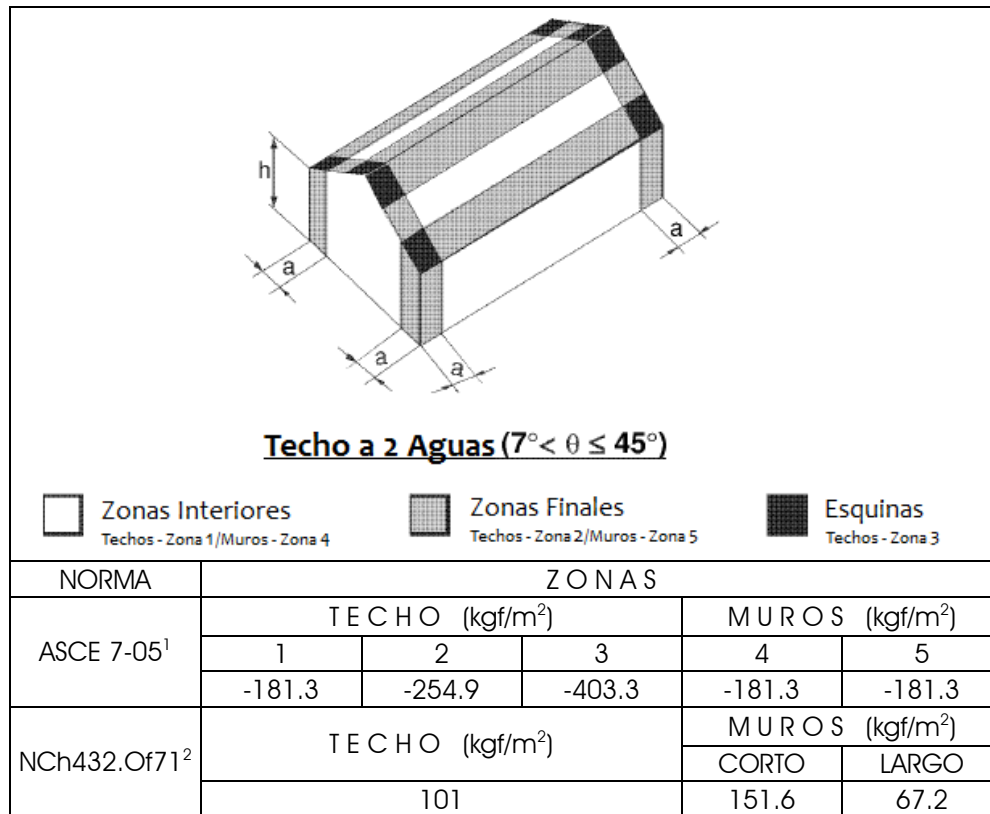


Figura 7.7: Cargas de viento sobre SPRFV del galpón según Norma ASCE 7-05 y NCh432.Of71, considerando un análisis en su dirección longitudinal.

Para el caso de la Norma Chilena NCh432.Of71 se tienen presiones horizontales sobre los muros laterales (largos) y sobre la cubierta de techo que no fueron indicadas en la Figura 7.5 debido a que, las primeras tienen el mismo valor que las obtenidas del análisis en la dirección transversal del galpón (67.2 kgf/m²), y las últimas son despreciables debido a la baja pendiente de la cubierta del techo (14°).



Notas:

¹: Valores de presiones según estado de carga 2 de Figura 7.3

²: Valores de presiones según análisis en dirección transversal del galpón

Figura 7.8: Cargas de viento sobre componentes y revestimientos del galpón según Norma ASCE 7-05 y NCh432.Of71, considerando presiones considerando las solicitaciones más desfavorables para las dos direcciones de análisis.

8. CONCLUSIONES

8.1. Análisis de Resultados y Discusión

En esta sección se analizan y discuten los resultados obtenidos en los distintos capítulos del presente trabajo de título. El análisis se presenta en el mismo orden en que fueron desarrollados los capítulos.

8.1.1. Capítulo 3: Metodología de Análisis

El establecimiento de la velocidad básica del viento es un paso crítico para el cálculo de la acción del viento sobre las estructuras. Este paso es usualmente el que tiene la mayor incerteza en el proceso de diseño de las estructuras para la acción del viento. Para ilustrar lo anterior, en este trabajo de título se revisaron distintas metodologías estadísticas utilizadas en la actualidad para el cálculo de las velocidades de retorno, cuyos resultados arrojaron leves diferencias para los registros de la estación DMC - PUDAHUEL (ver Tabla 5.6). Asimismo se presentaron dos metodologías para la normalización de registros basadas en Ley Logarítmica y La Ley Potencial de la variación de la velocidad con respecto a la altura, las cuales utilizan respectivamente un parámetro z_0 y $1/\alpha$, cuyos valores varían levemente de una norma a otra. De esto último se desprende la necesidad de utilizar los valores de una sola norma para la normalización de los registros de modo de evitar una combinación de criterios. En el presente trabajo se utilizó la Ley Logarítmica presentada en el comentario de la Norma ASCE 7-05.

Con respecto a la base de datos utilizada para ajustar las funciones de probabilidad, se presentaron dos metodologías: las "Épocas" y los "Peaks over Threshold". Si bien esta última metodología puede entregar una mayor cantidad de valores de velocidades, su gran desventaja radica en las decisiones que se requieren para establecer la base de datos de modo asegurar la independencia de los datos. Estas decisiones corresponden al período de la partición así como el valor de la velocidad umbral utilizada. Estas decisiones pueden tener un fuerte impacto en los valores de los parámetros de las funciones de ajuste, así como en los valores de las velocidades de retorno obtenidas a partir de ellas.

Finalmente, con respecto a la función de ajuste de los datos, se menciona que tradicionalmente los valores extremos de la velocidad del viento para climas templados han sido modelados utilizando una Función Gumbel en vez de la Función Weibull. Esta decisión se ha debido principalmente a la sencillez en la estimación de los parámetros de la función Gumbel, recordando que como el factor de forma es igual a cero, se requiere únicamente de la estimación de dos parámetros (factor de escala y ubicación) en vez de tres en el caso de la Función Weibull. Para evaluar el ajuste de la distribución con los datos de viento se suelen utilizar diferentes test de bondad de ajuste, tales como el Test de Kolmogorov-Smirnov o el Test de Chi-Cuadrado. En la actualidad no existe consenso en cual de las dos funciones modela de manera más apropiada los valores extremos de vientos y ambas función de ajuste son utilizadas en el cálculo de las velocidades básicas del viento.

8.1.2. Capítulo 4: Base de Datos

Pese a la gran cantidad de estaciones con registros de velocidades de viento recopiladas para este trabajo, sólo once fueron utilizadas para calcular los valores de velocidades básicas del viento a lo largo del país. Esto se debió básicamente a que la mayoría de los registros no contaba con un número suficiente de años como para calcular un valor relativamente confiable de la velocidad de retorno del viento.

Con respecto a los registros de velocidades de viento proporcionados por la CNE, se observó además que gran parte de ellos no contaba con información referente a la altura del sensor o bien a las condiciones del entorno de la estación en la que fueron medidos. Adicionalmente, otra parte importante de estos registros correspondían a muestras de datos en los períodos reportados, los cuales no permiten caracterizar de buena forma los valores extremos de la velocidad del viento de interés para el presente estudio. De acuerdo a lo anterior se consideró que tales registros no son apropiados para establecer un valor de la velocidad básica del viento y no fueron utilizados en este estudio.

Con respecto a los registros de velocidades de viento proporcionados por la DMC si bien no caracterizan completamente la velocidad horaria reportada (debido a que corresponden al promedio de los últimos diez minutos de cada hora), se determinó que la pérdida de información no es tan importante por lo que se consideraron apropiados para determinar los valores de la velocidad básica del viento en este estudio.

Si bien los registros de velocidades de viento de la mayoría de las estaciones disponibles no serían apropiados para el cálculo de las velocidades básicas, en el Apéndice A se presenta, a modo informativo, un resumen con las velocidades máximas anuales obtenidas de sus registros originales. La intención es esbozar una idea de la realidad de los vientos en el país, sobre todo en las extensas zonas que no cuentan con registros apropiados. Se incluyeron adicionalmente los valores máximos anuales de la velocidad del viento a partir del año 1970, entregados a posteriori por la DMC, para las 9 estaciones pertenecientes a esta entidad analizadas en este estudio. Esta información permitiría caracterizar de mejor forma los valores de la velocidad básica calculados en este trabajo de título y se considera un aporte importante para futuros estudios sobre el tema.

A raíz de todo lo anterior se desprende la necesidad de normalizar la medición de vientos, de modo de contar con una base de datos compuesta por una mayor cantidad registros apropiados de velocidades de viento durante la mayor cantidad de años que sea posible. Esto último sería de gran utilidad, entre muchas otras cosas, para el desarrollo de una nueva norma de diseño de estructuras para la acción del viento, aspecto no menor que influye en la seguridad y economía de millones de pesos en edificios y otras estructuras desarrolladas dentro del país.

8.1.3. Capítulo 5: Velocidades Básicas

En esta sección se presentó en detalle el cálculo de la velocidad básica a partir de los registros de velocidades de vientos medidos en la estación DMC – PUDAHUEL. Para ello se consideraron distintos procedimientos estadísticos de análisis de valores extremos, así como aspectos tales como el largo del registro, error muestral, intervalo de promedio, altura del anemómetro, calidad de los datos y exposición del terreno, de acuerdo a lo señalado en el capítulo 6.5.4.2 de la Norma ASCE 7-05 “Estimación de velocidades básicas a partir de datos climáticos regionales”.

De acuerdo a los resultados obtenidos para la velocidad básica del viento en la estación DMC – PUDAHUEL, se observa que las rutinas que utilizan una base de datos construida a partir del método de las “Épocas” entregan resultados similares (ver Tabla 5.6). Las rutinas que utilizan una base de datos construida a partir del método de “Peaks over Thresholds” en cambio, entregan valores que dependen fuertemente del valor de la velocidad umbral utilizada. De acuerdo a esto último los resultados se presentan como gráficos en función de la velocidad umbral (ver Figura 5.8).

Se determinaron valores de la velocidad básica del viento en once localidades a lo largo de Chile (Ver Tabla 5.7 y Figura 5.11). Estas velocidades básicas fueron obtenidas aplicando el mismo procedimiento estadístico que se utilizó en la confección del mapa de viento de los Estados Unidos según la Norma ASCE 7-05. De acuerdo a los resultados obtenidos, se distinguieron 3 zonas con velocidades básicas similares, cuyos valores van aumentando hacia el Sur. La primera zona comprende el sector norte y central del país, desde de la I Región a la Región Metropolitana, con velocidades básicas variables entre 22 (m/s) y 27 (m/s). El segundo grupo de estaciones, con velocidades básicas pertenecientes al rango de 34 (m/s) a 41 (m/s), se ubica desde la VIII Región a la X Región. El último grupo puede asociarse al extremo sur del país, con una velocidad básica de 53 (m/s). Es importante notar la coherencia de este último valor con los indicados en el mapa de velocidades básicas de la República Argentina (ver Figura 2.3) en el sector de la Patagonia, donde las características geográficas son semejantes y justifican un valor similar para la velocidad básica del viento.

Los once valores de la velocidad básica calculada para distintas localidades a lo largo de Chile dejan extensas zonas del país sin información y no describen de manera exhaustiva las características de los vientos de Chile. Por otra parte tales resultados tienen errores asociados, dentro de los cuales se considera que el error muestral (debido al limitado número de años de medición con que contaban los registros) es uno de los más importantes.

A raíz de lo anterior, la utilización de estos resultados para el establecimiento de un mapa de vientos para Chile debiera ser realizado con cuidadoso criterio. Por otra parte se propone la utilización aquellos registros de la DMC con una menor cantidad de años (como mínimo 5) para la composición de superestaciones de modo de ampliar la cobertura de las velocidades básicas dentro del territorio nacional. Adicionalmente sería útil contar un estudio meteorológico para justificar el trazado de

las isotacas de velocidades básicas del viento, tal como se realizó en el mapa del reglamento argentino CIRSOC 102-05.

Debido a que para calcular la acción del viento sobre una estructura se requiere contar con un valor de la velocidad básica del viento para aquella localidad en la que se encuentra ubicada, la necesidad de establecer un mapa de vientos para Chile se debe a que permitiría calcular la acción del viento sobre todas las estructuras ubicadas dentro del territorio nacional.

8.1.4. Capítulo 6: Análisis Norma Chilena NCh432.Of71 y Norma ASCE 7-05

De acuerdo a la comparación realizada entre las velocidades básicas del viento calculadas en este estudio y la velocidad básica equivalente de la norma chilena se observa que las primeras llegan a ser entre un 30% y un 100% mayores que esta última (ver Figura 6.4). Se concluye que el criterio de la norma chilena generado a partir de un único valor para la velocidad del viento en todo Chile no es representativo de las condiciones nacionales y además subestima las cargas directas (cargas sin considerar los demás factores de modificación) en el sur del país.

Se observó una excesiva simplificación en la norma chilena para la determinación de los factores que establecen la velocidad del viento, categoría de exposición, efectos topográficos y los coeficientes de presión. Por otra parte hay efectos que no han sido considerados, tales como análisis especiales para estructuras sensibles a los efectos del viento, distintos niveles de seguridad para las estructuras de acuerdo a su importancia, reducciones por aplicación sobre grandes superficies o bien aumentos locales de cargas en el encuentro de los elementos de la envolvente de la estructura.

De acuerdo a lo anterior se destaca la necesidad de actualizar la norma chilena "NCh432.Of71 - Cálculo de acción del viento sobre las estructuras" para considerar criterios que vayan de acuerdo con las condiciones nacionales así como también las últimas metodologías que se están empleando internacionalmente en el diseño de estructuras para la acción del viento.

8.1.5. Capítulo 7: Cálculo de Cargas

Para ejemplificar el cálculo de la acción del viento sobre las estructuras se utilizó un galpón basado en el calculado en [Castillo, 1999, Capítulo 5]. Se modificaron algunas de sus características para simplificar el cálculo de cargas. La ubicación del galpón en Concepción se escogió debido a que el valor de la velocidad básica del viento calculado en la Estación DMC- Concepción (41.3 m/s) establece valores de presiones mayores a las mínimas, según la norma ASCE 7-05. Por otra parte este valor de la velocidad básica del viento es muy similar a los 150 Km/h indicados en [Castillo, 1999, Figura 5.1], de manera de que se pueda establecer una comparación con tal estudio.

De las comparación de cargas realizada con ambas normas se observa que las cargas de viento calculadas según la norma chilena son inferiores a las cargas de

viento calculadas según la norma ASCE 7-05 tanto para el SPRFV, como para sus componentes y revestimientos. No es posible indicar un valor exacto que señale los valores entre una y otra norma, sin embargo esta diferencia alcanza en algunos sectores puntuales hasta 23 veces el valor indicado por la norma chilena.

8.2. Conclusiones Generales

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de título se establecen en resumen las siguientes conclusiones:

- i Utilizando los registros de velocidades de viento disponibles para la realización de este trabajo de título, se determinaron los valores de la velocidad básica del viento en once localidades a lo largo de Chile.
- ii De acuerdo a los resultados obtenidos para las velocidades básicas a lo largo de Chile (ver Tabla 5.7) se distinguen 3 zonas con valores similares. La primera zona comprende el sector norte y central del país, desde de la I Región a la Región Metropolitana, con velocidades básicas variables entre 22 (m/s) y 27 (m/s). El segundo grupo de estaciones, con velocidades básicas pertenecientes al rango de 34 (m/s) a 41 (m/s), se ubica desde la VIII Región a la X Región. El último grupo puede asociarse al extremo sur del país, con una velocidad básica de 53 (m/s).
- iii Considerando los valores de las velocidades básicas obtenidas en este trabajo de título y debido tanto a las amplias zonas existentes entre algunas de las localidades caracterizadas, como al relativo corto período de medición de los registros de viento utilizados, se recomienda que, para confeccionar un mapa de vientos para Chile, se considere una mayor cantidad de estaciones con registros de velocidades de viento, así como aumentar, en la medida que sea posible, su cantidad de años de registro.
- iv En vista del variado número de instituciones que miden velocidades del viento y debido a la amplia gama de formatos de registro que se tienen para ellos, los cuales muchas veces poseen limitaciones de uno u otro tipo, se hace necesario estandarizar la medición de velocidades del viento de modo de generar una base de datos apropiada, útil para distintos fines.
- v De la comparación de ambas normas se concluye que el criterio de la norma chilena generado a partir de un único valor para la velocidad del viento en todo Chile no es representativo de las condiciones nacionales y además subestima las cargas (sin considerar los demás factores de modificación) en el sur del país. Por otra parte se observa una excesiva simplificación en la norma chilena para la determinación de los factores que establecen algunos de sus parámetros, así como también hay efectos que no han sido considerados.
- vi De acuerdo a la aplicación de ambas normas en el cálculo de la acción del viento sobre un determinado galpón se obtiene que las cargas de viento calculadas según la norma chilena son inferiores a las cargas de viento calculadas según la norma ASCE 7-05 tanto para el SPRFV, como para sus componentes y revestimientos.

- vii Finalmente se destaca la necesidad de actualizar la norma chilena de cálculo de acción del viento sobre las estructuras para considerar criterios que vayan de acuerdo con las condiciones nacionales así como también las últimas metodologías que se están empleando internacionalmente en el diseño de estructuras para la acción del viento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASCE/SEI 7-05 "Minimum Design Loads for Buildings and other Structures". American Society of Civil Engineers. 2005.
- [2] BIÉTRY, J., SACRE, C. y SIMU, E. 1978. "Mean Wind Profiles and Change of Terrain Roughness". Journal of the Structural Division, ASCE 104, No ST10, pp. 1585-1593.
- [3] BRABSON, B. y PALUTIKOF, J. 1998. "Tests of the Generalized Pareto Distribution for Predicting Extreme Winds Speeds". Meteorological Applications.
- [4] CASTILLO, E. 1988. "Extreme Value Theory in Engineering". Londres, Academic Press. 389p.
- [5] CASTILLO, V. 1999. "La Norma de Viento en las Construcciones". Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. 94p.
- [6] CERE, Universidad de Magallanes. 2005. "Mejoría del Conocimiento y Administración de la Información Eólica en Chile. Segunda Etapa". 73p. (Estudio para la Comisión Nacional de Energía).
- [7] DAVISON, A. y SMITH, R. 1990. "Models for Exceedances over High Thresholds" Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 52, No. 3. pp: 393-442.
- [8] DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 1993. Proyecto Eolo. "Evaluación del Potencial Eólico Nacional".
- [9] DURST, C. 1960. "Wind Speeds over Short Periods of Time". Meteor. Mag., Vol. 89. pp: 181-187.
- [10] EN 1991-1-4 "Eurocode 1: Actions on structures - General actions - Part 1-4: Wind actions". European Standard. 2004.
- [11] FISHER, R. y TIPPETT, L. 1928. "Limitings Forms of the Frequency Distribution of the Largest or Smallest Member of a Simple" Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, part 2, 24: 180-90.
- [12] FUNDACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA. 2003. "Mejoría del Conocimiento del Recurso Eólico en el Norte y Centro del País". 120p. (Estudio para la Comisión Nacional de Energía).
- [13] GALAMBOS, J. y MACRI, N. 1999. "Classical Extreme Value Model and Prediction of Extreme Winds". Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 7, July, 1999. pp: 792-794.

- [14] GOMES, L. y VICKERY, B. 1977. "Extreme Winds Speeds in Mixed Wind Climates". *Journal of Industrial Aerodynamics*, Vol. 2. pp: 331-44.
- [15] GROSS, J., HECKERT, A., LECHNER, J. y SIMIU, E. 1994. "Novel Extreme Value Procedures: Application to Extreme Wind Data". *Extreme Value Theory and Applications*, Vol. 1, j. Galambos, J. Lechner y E. Simiu, Eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- [16] HOLMES, J. 2007. "Wind Loading of Structures". 2º ed. New York, Taylor & Francis. 379p.
- [17] HOLMES, J. y MORIARTY, W. 1999. "Application of the Generalized Pareto Distribution to Extreme Value Analysis in Wind Engineering" *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 83. pp: 1-10.
- [18] HOSKING, J., WALLIS, J. y Wood, E. 1985. "Estimation for the Generalized Extreme Value Distribution by the Method of Probability Weighted Moments". *Technometrics*, 27 (3), pp: 251-261.
- [19] HOSKING, J. y WALLIS, J. 1987. "Parameter and Quantile Estimation for the Generalized Pareto Distribution" *Technometrics*, 29: 339-49.
- [20] INTI/CIRSOC 102-05 "Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones". Instituto Nacional de Tecnología Industrial. 2005.
- [21] ISO/DIS 4354 "Wind Actions on Structures". International Organization for Standardization. 2007.
- [22] IS:875 (Part3). "Wind Loads on Buildings and Structures – Proposed Draft & Commentary". Indian Institute of Technology Roorkee. 2004.
- [23] JENKINSON, A. 1955. "The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) Values of Meteorological Elements". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 81: 158-71.
- [24] LIU, H. 1991. "Wind Engineering". New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [25] MESEGUER, J., SANZ, A., PERALES, J. y PINDADO, S. 2001 "Aerodinámica Civil. Cargas de Viento en las Edificaciones". Madrid, McGraw-Hill. 270p.
- [26] MODEL BUILDING CODE FOR WIND LOADS. ASSOCIATION OF CARIBBEAN STATES. 2003.
- [27] NCh 432.Of71 "Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones". Instituto Nacional de Normalización. 1972.

- [28] NIST, Dataplot, CME. 2005. "Estimates the Parameters of a Generalized Pareto Distribution Using the Conditional Mean Exceedance (CME) Method". [en línea] <http://www.itl.nist.gov/div898/software/dataplot/refman1/auxillar/dehaan.htm> [consulta: 08 Mayo 2008].
- [29] NIST, Dataplot, DEHAAN. 2005. "Estimates the Parameters of a Generalized Pareto Distribution Using the De Haan Method". [en línea] <http://www.itl.nist.gov/div898/software/dataplot/refman1/auxillar/dehaan.htm> [consulta: 08 Mayo 2008].
- [30] PALUTIKOF, J., BRABSON, B., LISTER, D. y ADCOCK, S. 1999. "A Review of Methods to Calculate Extreme Winds Speeds". *Meteorological Applications*, Vol. 6, Issue 2, June, 1999. pp: 119-132.
- [31] PETERKA, J. y SHAHID, S. 1993. "Extreme Gust Wind Speeds in the U.S.". Proc., 7th U.S. Nat. Conf. On Wind Engineering, UCLA, Los Angeles, California
- [32] PETERKA, J. y SHAHID, S. 1998. "Design Gust Wind Speeds in the United States". *Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, No. 2, February, 1998. pp: 207-214.
- [33] POPOV, N.A. 2000. "The Wind Load Codification in Rusia and Some Estimates of Gust Load Accuracy Provided by Different Codes". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 88. pp: 171-181.
- [34] RAYNAL, J. "Estimadores de Momentos de Probabilidad Pesada para la Distribución General de Valores Extremos para Máximos". 2005. *Información tecnológica*, Vol. 16, No. 1. pp: 75-82. [en línea] http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000100011&lng=es&nrm=iso [consulta: 08 Mayo 2008].
- [35] SADLER, J., LANDER, A., HORI, A. y ODA, L. 1987. "Tropical Marine Climatic Atlas. Volume II. Pacific Ocean". Pub. UHMET 87-02, Dpt. of Meteorology, University of Hawaii.
- [36] SIMIU, E., FILLIBEN, J., PETERKA, J. y SHAHID, S. 1999. Discussion of "Design Gust Wind Speeds in the United States". *Journal of Structural Engineering*, September, 1999. pp: 1077-1080.
- [37] SIMIU, E., LECHNER, J., HOLMES, J., GALAMBOS, J. y MACRI, N. 2002. Discussion of "Classical Extreme Value Model and Prediction of Extreme Winds". *Journal of Structural Engineering*, February, 2002. pp: 271-275.
- [38] SIMIU, E. y HECKERT, N. 1996. "Extreme Wind Distribution Tails: a "Peaks over Threshold" Approach". *Journal of Structural Engineering*, Vol. 122, No. 5, May, 1996. pp: 539-547.

- [39] SIMIU E. y MIYATA T. 2006. "Design of Buildings and Bridges for Wind: A Practical Guide for ASCE-7 Standard Users and Designers of Special Structures". New Jersey, John Wiley & Sons. 308p.
- [40] SIMIU, E. y SCANLAN, R. 1996. "Wind Effects on Structures". 3° ed. New York John Wiley & Sons.
- [41] SIMIU, E. 2002. "Meteorological Extremes. Encyclopedia of Environmetrics", Abdel H. El-Shaarawi and Walter W. Piegorsch, Vol. 3, 2002. Ltd, Chichester, United Kingdom. John Wiley & Sons. pp: 1255-1259.
- [42] SCHWARZSKOPF, M. 1997 "Fundamentos meteorológicos que sustentan el trazado de isolíneas de la velocidad básica del viento V_0 en el mapa de la Figura 4 del Reglamento CIRSOC 102". Informe Interno CIRSOC, Buenos Aires.
- [43] TAMURA, Y., OKHUMA, T., OKADA, H., y KANDA, J. 1999. "Wind Loading Standard and Design Criteria in Japan". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 85. pp: 555-566.
- [44] TREWARTHA, G. y HORN, L. 1971. "An Introduction to Climate". McGraw-Hill. 416p.
- [45] VIOLLAZ, A., SALVATIERRA, S. y ARAGNO, A. 1995. "Estimación de Velocidades de Recurrencia de Vientos Basada en Velocidades Máximas Mensuales". 1995. Buenos Aires, INTI. 14p.

APÉNDICE A: VALORES MÁXIMOS ANUALES PARA REGISTROS DISPONIBLES

En este apéndice se muestra, para cada una de las estaciones con registros horarios de velocidades del viento disponibles para este estudio, una tabla con los parámetros principales de la medición de las velocidades de viento en la estación y otra tabla con los valores máximos anuales de la velocidad del viento, obtenidos a partir de sus registros originales para el período en el cual se contaba con datos.

Las tablas con los parámetros principales de cada estación (Tablas A.1, A.2, A.3 y A.4) muestran información de su ubicación (latitud y longitud), así como los valores de la altura del sensor, longitud de rugosidad z_0 del entorno de la estación y el período de tiempo en el cual se encuentran promediados los registros. Los valores de estos parámetros son necesarios para realizar la normalización de los registros. Estos valores se obtuvieron de los informes Eolos para el caso de los registros de velocidades de viento proporcionados por la CNE y de acuerdo a lo indicado por la DMC para sus registros de velocidades de viento.

Las Tablas A.5, A.6, A.7 y A.8 muestran, para cada una de las estaciones proporcionadas para este estudio, los valores máximos anuales de la velocidad del viento obtenidos a partir de sus registros originales. Para los registros de la velocidad del viento de las estaciones proporcionadas por la CNE, el valor máximo anual indicado corresponde al obtenido para cada período de 12 meses. El año correspondiente a cada máximo está asociado al año del primer dato disponible de cada período de 12 meses considerado. Por su parte para los registros de velocidades del viento de las estaciones proporcionadas por la DMC se determinó un valor máximo anual, sólo cuando el año tenía más de un 90% de días con datos en más de 12 horas del día correspondiente (importante para estaciones con régimen diurno). Adicionalmente se incluyen los valores máximos anuales de la velocidad del viento entregados por la DMC a posteriori, para las 9 estaciones DMC analizadas en este estudio, los cuales no fueron considerados para la obtención de los resultados debido a su tardía entrega.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los registros de las velocidades del viento obtenidos de los estudios Eolo 1993, Eolo 2003, Eolo 2005 y para los registros proporcionados por la DMC.

Tabla A.1: Parámetros principales de estaciones de estudio Eolo 1993.

Nº	Estación ¹	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altura Sensor (m)	Longitud de rugosidad z_0 (m)	Tiempo Promedio Registros (s)	Referencia
1	El Abra	21.92	68.83	-	0.001	3600	Eolo 1993
2	Bocatoma San Pedro	21.95	68.55	-	46.000	3600	Eolo 1993
3	Lasana	22.27	68.62	-	0.001	3600	Eolo 1993
4	Botadero 71	22.28	68.88	10.00	0.001	3600	Eolo 1993
5	Botadero 67	22.32	68.90	10.00	0.001	3600	Eolo 1993
6	Casa de Bombas	22.35	68.85	10.00	0.001	3600	Eolo 1993
7	Calama	22.45	68.92	10.00	0.500	3600	Eolo 1993
8	El Laco	23.82	67.50	2.00 ²	-	3600	Eolo 1993
9	Refimot	23.85	70.33	1.80	-	3600	Eolo 1993
10	Cerro Paranal	24.62	70.40	10.00	-	1200	Eolo 1993
11	La Silla	29.27	70.70	10.00	-	1200	Eolo 1993
12	Cruz Grande	29.45	71.32	3.75	-	600	Eolo 1993
13	El Tofo	29.45	71.25	3.75	0.030	600	Eolo 1993
14	Punta Lengua de Vaca	30.24	71.63	3.75	0.030	1800	Eolo 1993
15	Punta de Toro	30.73	71.70	10.00	³	900	Eolo 1993
16	Punta Cerro de Arena	31.26	71.63	10.00	⁴	900	Eolo 1993
17	Los Vilos	31.85	71.51	10.00	⁵	900	Eolo 1993
18	Ritocue	32.82	71.53	8.00	-	3600	Eolo 1993
19	Punta Curaumilla	33.08	71.75	8.00	-	3600	Eolo 1993
20	Lo Orozco	33.25	71.43	8.00	-	3600	Eolo 1993
21	Casa Blanca	33.32	71.42	8.00	-	3600	Eolo 1993
22	Putú	35.21	72.28	10.00	⁶	900	Eolo 1993
23	Pahuil	35.61	72.57	10.00	⁷	900	Eolo 1993
24	Cobquecura	36.14	72.80	10.00	⁸	900	Eolo 1993
25	Punta Hualpén	36.73	73.18	6.00	-	-	Eolo 1993
26	Isla Santa María	37.05	73.52	6.00	-	-	Eolo 1993
27	Canutilar	41.50	72.35	-	-	-	Eolo 1993
28	Plataforma Spiteful N4	52.40	69.00	20.00	0.001	3600	Eolo 1993
29	Pecket	52.95	71.18	20.00	0.001	3600	Eolo 1993

NOTAS:

- : No se indicó el valor del parámetro en el estudio Eolo 1993

¹: El nombre de la estación indicado en la tabla, corresponde al mismo denominado en el estudio Eolo 1993

²: Altura Aproximada del sensor

³: El factor de extrapolación vertical a 25 m tiene un valor de 1.09, obtenido a partir de la aplicación de un modelo de campo de viento

⁴: El factor de extrapolación vertical a 25 m tiene un valor de 1.04, obtenido a partir de la aplicación de un modelo de campo de viento

⁵: El factor de extrapolación vertical a 25 m tiene un valor de 1.17, obtenido a partir de la aplicación de un modelo de campo de viento

⁶: El factor de extrapolación vertical a 25 m tiene un valor de 1.23, obtenido a partir de la aplicación de un modelo de campo de viento

⁷: El factor de extrapolación vertical a 25 m tiene un valor de 1.24, obtenido a partir de la aplicación de un modelo de campo de viento

⁸: El factor de extrapolación vertical a 25 m tiene un valor de 1.13, obtenido a partir de la aplicación de un modelo de campo de viento

Tabla A.2: Parámetros principales de estaciones de estudio Eolo 2003.

Nº	Estación ¹	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altura Sensor (m) ²	Longitud de rugosidad z_0 (m) ³	Tiempo Promedio Registros (s)	Referencia
1	POTRE	26.44	69.48	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
2	CANCA	27.07	70.83	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
3	DGCAL	27.07	70.83	3.75	0.10	3600	Eolo 2003
4	DGPCA	27.08	70.87	3.75	0.10	3600	Eolo 2003
5	COPIA	27.36	70.33	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
6	SFERN	27.39	70.30	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
7	PAIPO	27.41	70.27	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
8	PRINC	27.41	70.26	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
9	CANTA	27.47	70.26	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
10	TAMAR	27.47	70.26	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
11	CANMI	27.51	70.27	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
12	GUACO	28.46	71.26	25.00	0.01	3600	Eolo 2003
13	HUASC	28.46	71.18	13.00	0.01	3600	Eolo 2003
14	DGHUA	28.47	71.25	3.75	0.10	3600	Eolo 2003
15	GUSM4	28.48	71.17	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
16	GUSM8	28.50	71.08	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
17	DGCGR	29.45	71.32	3.75	0.03	3600	Eolo 2003
18	DGTOF	29.45	71.25	3.75	0.03	3600	Eolo 2003
19	INDIO	29.76	69.97	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
20	GUAYA	29.97	71.35	13.00	0.01	3600	Eolo 2003
21	PELIC	29.99	71.01	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
22	PUCLA	30.00	70.87	2.50	0.01	3600	Eolo 2003
23	ARRAY	30.04	70.99	2.50	0.01	3600	Eolo 2003
24	SCARL	30.05	70.82	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
25	TOLOL	30.17	70.80	3.50	0.01	3600	Eolo 2003
26	DGLVA	30.24	71.63	3.75	0.03	3600	Eolo 2003
27	DGPAL	31.20	71.60	3.75	0.10	3600	Eolo 2003
28	DGCUN	31.90	70.62	3.75	0.10	3600	Eolo 2003
29	PICHI	32.12	71.52	45.00	0.01	3600	Eolo 2003
30	DGLMO	32.25	71.51	3.75	0.10	3600	Eolo 2003
31	PUCHU	32.72	71.41	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
32	CAMPI	32.74	71.46	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
33	RURA2	32.74	71.19	9.00	0.01	3600	Eolo 2003
34	GREDA	32.75	71.47	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
35	PVEN2	32.75	71.48	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
36	MAITE	32.76	71.46	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
37	MEVEN	32.76	71.48	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
38	RURA1	32.77	71.18	12.00	0.01	3600	Eolo 2003

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

39	HIJUE	32.78	71.18	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
40	CALER	32.79	71.19	12.00	0.01	3600	Eolo 2003
41	MEMEL	32.79	71.20	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
42	CHAGR	32.80	70.96	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
43	VESUR	32.80	71.48	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
44	VALEG	32.81	71.44	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
45	INPQU	32.87	71.24	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
46	UCEVE	32.87	71.22	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
47	BOMBE	32.89	71.25	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
48	COLMO	32.91	71.44	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
49	GAVIO	32.91	71.48	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
50	NEHUE	32.94	71.33	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
51	SPEDR	32.94	71.27	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
52	CONCF	32.96	71.55	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
53	CONCS	32.96	71.55	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
54	ICSPE	32.96	71.23	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
55	LIMAC	32.98	71.27	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
56	ARMAT	33.04	71.43	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
57	CBLAN	33.35	71.38	10.00	0.01	3600	Eolo 2003
58	DGCRU	33.50	71.62	3.75	0.10	3600	Eolo 2003

NOTAS:

¹: El nombre de la estación indicado en la tabla, corresponde al mismo denominado en el estudio Eolo 2003

²: En los casos en que no se contó conoce la altura del sensor de la estación se asumió un valor de 10 m

³: En los casos en que no se conoce el valor de la longitud de rugosidad z_0 del entorno de la estación, se asumió un valor de 0,01 m

Tabla A.3: Parámetros principales de estaciones de estudio Eolo 2005.

Nº	Estación ¹	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altura Sensor (m)	Longitud de rugosidad z_0 (m) ²	Tiempo Promedio Registros (s)	Referencia
1	13SCRO5	32.42	70.63	70	-	3600	Eolo 2005
2	13DORO5	33.06	71.00	40	-	3600	Eolo 2005
3	13POLO5	33.16	70.87	10	-	3600	Eolo 2005
4	13LPIO5	33.27	70.74	10	-	3600	Eolo 2005
5	13REIO5	33.37	70.64	10	-	3600	Eolo 2005
6	13ENTO5	33.38	70.74	127	-	3600	Eolo 2005
7	13PRAO5	33.39	70.82	33	-	3600	Eolo 2005
8	13EINO5	33.45	70.66	10	-	3600	Eolo 2005
9	13MPIO5	33.47	71.07	10	-	3600	Eolo 2005
10	13LCAO5	33.52	70.55	10	-	3600	Eolo 2005
11	13CBAO5	33.56	70.95	20	-	3600	Eolo 2005
12	13MALO5	33.57	71.16	10	-	3600	Eolo 2005
13	13PLAO5	33.57	70.63	10 ³	0.3464	3600	Eolo 2005
14	13MANO5	33.59	70.38	10	-	3600	Eolo 2005
15	13CAMO5	33.64	70.96	22	-	3600	Eolo 2005
16	13PIRO5	33.66	70.61	10	-	3600	Eolo 2005
17	13PAIO5	33.70	71.00	22	-	3600	Eolo 2005
18	13TILO5	33.71	70.70	10	-	3600	Eolo 2005
19	13CODO5	33.76	71.32	10	-	3600	Eolo 2005
20	13PNEO5	33.84	70.75	10	-	3600	Eolo 2005
21	06CHA05	33.93	70.65	10	-	3600	Eolo 2005
22	06PEU05	33.95	70.64	10	-	3600	Eolo 2005
23	06MOSO5	33.98	70.70	10	-	3600	Eolo 2005
24	13QUI05	33.99	70.75	10	-	3600	Eolo 2005
25	06CANO5	34.03	70.61	10	-	3600	Eolo 2005
26	06SEW05	34.08	70.38	20	-	3600	Eolo 2005
27	06COD05	34.09	70.66	10	-	3600	Eolo 2005
28	06RANO5	34.17	72.70	6	-	3600	Eolo 2005
29	06COCO5	34.20	70.54	10	-	3600	Eolo 2005
30	06COP05	34.20	70.53	10	-	3600	Eolo 2005
31	06CAU05	34.24	70.55	10	-	3600	Eolo 2005
32	06BRE05	34.28	70.82	10	-	3600	Eolo 2005
33	06REQ05	34.28	70.81	10	-	3600	Eolo 2005
34	06COLO5	34.29	71.08	10	-	3600	Eolo 2005
35	06PRO05	34.32	70.84	10	-	3600	Eolo 2005
36	06TOT05	34.33	70.74	10	-	3600	Eolo 2005
37	06CIP05	34.36	70.46	10	-	3600	Eolo 2005
38	06QTI05	34.37	71.02	10	-	3600	Eolo 2005

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

39	06PIC05	34.38	72.00	6	-	3600	Eolo 2005
40	06LOR05	34.39	71.15	15	-	3600	Eolo 2005
41	07PUT05	35.22	72.30	10	-	3600	Eolo 2005
42	08BIO05	36.78	73.12	10 ³	0.3183	3600	Eolo 2005
43	08TIG05	36.84	73.03	4	-	3600	Eolo 2005
44	08CHI05	36.92	73.01	10	-	3600	Eolo 2005
45	08ARA05	37.24	73.23	10	-	3600	Eolo 2005
46	09TEM05	38.72	72.59	6	-	3600	Eolo 2005
47	10PAL05	40.56	73.15	10	-	3600	Eolo 2005
48	10CER05	40.57	73.13	10	-	3600	Eolo 2005
49	10REM05	40.59	73.13	2	-	3600	Eolo 2005
50	10PAM05	40.87	73.20	3.5	-	3600	Eolo 2005
51	10BUT05	42.27	73.68	2	-	3600	Eolo 2005

NOTAS:

-: No se indicó el valor del parámetro en el estudio Eolo 2005

¹: El nombre de la estación indicado en la tabla, corresponde al mismo denominado en el estudio Eolo 2005

²: Valores de z_0 estimados ajustando la Ley Logarítmica a los datos de velocidades disponibles

³: Estación que también cuenta con valores de la velocidad del viento a una altura de 24 m

Tabla A.4: Parámetros principales de estaciones DMC.

Nº	Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altura Sensor (m)	Longitud de rugosidad z_0 (m) ¹	Tiempo Promedio Registros (s)	Referencia
1	DMC - ARICA	18.33	70.33	10	0.02	600	DMC
2	DMC - CAMIÑA	19.32	69.43	10	0.02	600	DMC
3	DMC - PICA	20.48	69.32	10	0.02	600	DMC
4	DMC - IQUIQUE	20.53	70.18	10	0.02	600	DMC
5	DMC - CALAMA	22.45	68.92	10	0.02	600	DMC
6	DMC - TOCONAO	23.18	68.18	10	0.02	600	DMC
7	DMC - ANTOFAGASTA	23.43	70.43	10	0.02	600	DMC
8	DMC - EL SALVADOR	26.32	69.62	10	0.02	600	DMC
9	DMC - COPIAPO	27.30	70.42	10	0.02	600	DMC
10	DMC - HUASCO	28.47	71.22	10	0.02	600	DMC
11	DMC - VALLENAR	28.58	70.77	10	0.02	600	DMC
12	DMC - LA SERENA	29.90	71.20	10	0.02	600	DMC
13	DMC - OVALLE	30.57	71.18	10	0.02	600	DMC
14	DMC - LOS VILOS	31.85	71.52	10	0.02	600	DMC
15	DMC - LOS LIBERTADORES	32.87	70.17	10	0.02	600	DMC
16	DMC - PUDAHUEL	33.38	70.78	10	0.02	600	DMC
17	DMC - TOBALABA	33.45	70.53	10	0.02	600	DMC
18	DMC - STO DOMINGO	33.60	71.63	10	0.02	600	DMC
19	DMC - NAVIDAD	33.95	71.83	10	0.02	600	DMC
20	DMC - RANCAGUA	34.13	70.72	10	0.02	600	DMC
21	DMC - PICHILEMU	34.40	72.00	10	0.02	600	DMC
22	DMC - CURICO	34.97	71.23	10	0.02	600	DMC
23	DMC - CHILLAN	36.57	72.03	10	0.02	600	DMC
24	DMC - CONCEPCION	36.77	73.05	10	0.02	600	DMC
25	DMC - LAS TRANCAS	36.90	71.45	10	0.02	600	DMC
26	DMC - LOS ANGELES	37.40	72.43	10	0.02	600	DMC
27	DMC - LEBU	37.65	73.63	10	0.02	600	DMC
28	DMC - TEMUCO	38.75	72.63	10	0.02	600	DMC
29	DMC - PUCON	39.35	71.67	10	0.02	600	DMC
30	DMC - VALDIVIA	39.63	73.08	10	0.02	600	DMC
31	DMC - LAGO RANCO	40.30	72.68	10	0.02	600	DMC
32	DMC - OSORNO	40.60	73.07	10	0.02	600	DMC
33	DMC - PUERTO MONTT	41.43	73.12	10	0.02	600	DMC
34	DMC - CASTRO	42.48	73.78	10	0.02	600	DMC
35	DMC - CHAITEN	42.92	72.72	10	0.02	600	DMC
36	DMC - QUELLON	43.17	73.72	10	0.02	600	DMC
37	DMC - FUTALEUFU	43.20	71.82	10	0.02	600	DMC
38	DMC - PALENA	43.63	71.78	10	0.02	600	DMC

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

39	DMC - AYSEN	45.40	73.67	10	0.02	600	DMC
40	DMC - COYHAIQUE	45.58	72.12	10	0.02	600	DMC
41	DMC - BALMACEDA	45.90	71.72	10	0.02	600	DMC
42	DMC - CHILE CHICO	46.53	71.68	10	0.02	600	DMC
43	DMC - COCHRANE	47.23	72.55	10	0.02	600	DMC
44	DMC - VILLA OHIGGINS	48.92	73.00	10	0.02	600	DMC
45	DMC - PUNTA ARENAS	53.00	70.85	10	0.02	600	DMC

NOTAS:

¹: Longitud de rugosidad z_0 correspondiente a una categoría de exposición de campo abierto según norma ASCE 7-05

Tabla A.5: Velocidades máximas anuales de estaciones de estudio Eolo 1993.

Nº	Estación	Información ¹								
		Año	Velocidad (m/s)	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
1	El Abra	Año	1992							
		Velocidad (m/s)	-							
2	Bocatoma San Pedro	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	60.0							
3	Lasana	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	-							
4	Botadero 71	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	24.0							
5	Botadero 67	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	19.9							
6	Casa de Bombas	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	19.0							
7	Calama	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	-							
8	El Laco	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	22.7							
9	Refimet	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	9.7							
10	Cerro Paranal	Año	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
		Velocidad (m/s)	50.0	29.5	30.3	27.3	29.1	24.0	27.0	
11	La Silla	Año	1987	1988	1989	1990	1991			
		Velocidad (m/s)	23.9	21.8	32.6	23.5	24.1			
12	Cruz Grande	Año	1990							
		Velocidad (m/s)	13.4							
13	El Tofo	Año	1989	1990	1991					
		Velocidad (m/s)	11.9	8.8	15.1					
14	Punta Lengua de Vaca	Año	1990	1991						
		Velocidad (m/s)	13.9	15.3						
15	Punta de Toro	Año	1992							
		Velocidad (m/s)	-							
16	Punta Cerro de Arena	Año	1992							
		Velocidad (m/s)	-							
17	Los Vilos	Año	1992							
		Velocidad (m/s)	-							
18	Ritoque	Año	1981							
		Velocidad (m/s)	-							
19	Punta Curaumilla	Año	1983	1984						
		Velocidad (m/s)	24.3	24.9						
20	Lo Orozco	Año	1981							
		Velocidad (m/s)	-							
21	Casa Blanca	Año	1980							
		Velocidad (m/s)	-							
22	Putú	Año	1992							
		Velocidad (m/s)	-							
23	Pahull	Año	1992							
		Velocidad (m/s)	-							
24	Cobquecura	Año	1992							
		Velocidad (m/s)	-							
25	Punta Hualpén	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	-							
26	Isla Santa María	Año	1991							
		Velocidad (m/s)	-							

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

27	Canutillar	Año	1979			
		Velocidad (m/s)	-			
28	Plataforma Spiteful N4	Año	1985	1986	1987	1988
		Velocidad (m/s)	25.7	26.5	23.3	25.4
29	Pecket	Año	1990			
		Velocidad (m/s)	49.9			

NOTAS:

-: No se contaba con al menos 12 meses de datos disponibles para ese año

¹: Algunas de las estaciones tienen datos de máximos que parecen dudosos. Ver por ejemplo datos de estación Cerro Paranal que tiene un máximo de 50 (m/s) (muy lejano de sus otros valores extremos).

Tabla A.6: Velocidades máximas anuales de estaciones de estudio Eolo 2003.

Nº	Estación	Información											
		Año	Velocidad (m/s)										
1	POTRE	Año	2002										
		Velocidad (m/s)	10.1										
2	CANCA	Año	2002										
		Velocidad (m/s)	14.1										
3	DGCAL	Año	1993										
		Velocidad (m/s)	10.1										
4	DGPCA	Año	1997	1998									
		Velocidad (m/s)	8.3	8.5									
5	COPIA	Año	2000	2001									
		Velocidad (m/s)	7.1	6.6									
6	SFERN	Año	2000	2001									
		Velocidad (m/s)	6.4	5.4									
7	PAIPO	Año	2000	2001									
		Velocidad (m/s)	7	6.7									
8	PRINC	Año	2000	2001									
		Velocidad (m/s)	11.5	11.3									
9	CANTA	Año	2002										
		Velocidad (m/s)	5.4										
10	TAMAR	Año	2000	2001									
		Velocidad (m/s)	5.6	5.2									
11	CANMI	Año	2002										
		Velocidad (m/s)	7.8										
12	GUACO	Año	2001	2002									
		Velocidad (m/s)	12.3	15.8									
13	HUASC	Año	1998	1999	2000	2001							
		Velocidad (m/s)	9.7	9.8	7.5	12.1							
14	DGHUA	Año	1993										
		Velocidad (m/s)	10.7										
15	GUSM4	Año	2001	2002									
		Velocidad (m/s)	9.2	14.1									
16	GUSM8	Año	2001	2002									
		Velocidad (m/s)	8.5	7.9									
17	DGCGR	Año	1993										
		Velocidad (m/s)	15.5										
18	DGTOF	Año	1993										
		Velocidad (m/s)	12										
19	INDIO	Año	1998	1999	2000	2001	2002						
		Velocidad (m/s)	12.2	17.1	17.7	18.7	16.2						
20	GUAYA	Año	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002				
		Velocidad (m/s)	13.7	13.2	10.4	12.4	10.8	11.3	12.5				
21	PELIC	Año	2000										
		Velocidad (m/s)	11.6										
22	PUCLA	Año	2000										
		Velocidad (m/s)	8.9										
23	ARRAY	Año	2000										
		Velocidad (m/s)	9.8										
24	SCARL	Año	2000										
		Velocidad (m/s)	9										
25	TOLOL	Año	1996	1997	1998	1999							
		Velocidad (m/s)	20.1	28.5	15.6	15.6							
26	DGLVA	Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1998	1999	2000	2001
		Velocidad (m/s)	13.9	15.3	15.2	15.2	13.4	14.6	13.8	13.1	15.2	13.7	13.8

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

27	DGPAL	Año	-					
		Velocidad (m/s)	-					
28	DGCUN	Año	2001					
		Velocidad (m/s)	4.4					
29	PICHI	Año	1997	1998	1999	2000	2001	2002
		Velocidad (m/s)	17.5	12.6	16	18.5	12.9	14.4
30	DGLMO	Año	1994					
		Velocidad (m/s)	9.7					
31	PUCHU	Año	2000	2001	2002			
		Velocidad (m/s)	8	9	9			
32	CAMPI	Año	2000	2001	2002			
		Velocidad (m/s)	8.5	7.9	6.6			
33	RURA2	Año	-					
		Velocidad (m/s)	-					
34	GREDA	Año	2000	2001	2002			
		Velocidad (m/s)	7.4	7.8	7.4			
35	PVEN2	Año	2001	2002				
		Velocidad (m/s)	7.8	9.8				
36	MAITE	Año	2000	2001	2002			
		Velocidad (m/s)	8.4	8.7	7.6			
37	MEVEN	Año	2000	2001	2002			
		Velocidad (m/s)	14.2	11.8	10.7			
38	RURA1	Año	2002					
		Velocidad (m/s)	9.3					
39	HIJUE	Año	1999	2000				
		Velocidad (m/s)	7.5	11.3				
40	CALER	Año	1999	2000	2001	2002		
		Velocidad (m/s)	6.8	6.9	7.6	6.1		
41	MEMEL	Año	1999	2000	2001	2002		
		Velocidad (m/s)	13.1	11.8	12.6	12.4		
42	CHAGR	Año	2000	2001				
		Velocidad (m/s)	14.8	10.3				
43	VESUR	Año	2000	2001	2002			
		Velocidad (m/s)	11.7	10.6	12.2			
44	VALEG	Año	2000	2001	2002			
		Velocidad (m/s)	7.6	7	6.6			
45	INPQU	Año	-					
		Velocidad (m/s)	-					
46	UCEVE	Año	1999	2000	2001	2002		
		Velocidad (m/s)	8.6	10.4	9	12.8		
47	BOMBE	Año	1999	2000	2001	2002		
		Velocidad (m/s)	6.7	6.6	11.1	7.1		
48	COLMO	Año	2002					
		Velocidad (m/s)	9					
49	GAVIO	Año	2002					
		Velocidad (m/s)	8.8					
50	NEHUE	Año	1998	1999	2000	2001		
		Velocidad (m/s)	11	12.3	11.7	10.6		
51	SPEDR	Año	1998	1999	2000	2001		
		Velocidad (m/s)	6	6.3	6.7	5.8		
52	CONCF	Año	1999	2000	2001	2002		
		Velocidad (m/s)	8	12.4	11.4	10.7		
53	CONCS	Año	2002					
		Velocidad (m/s)	5.7					
54	ICSPE	Año	-					
		Velocidad (m/s)	-					

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

55	LIMAC	Año	1999
		Velocidad (m/s)	8.7
56	ARMAT	Año	2002
		Velocidad (m/s)	11.7
57	CBLAN	Año	2001
		Velocidad (m/s)	9.7
58	DGCRU	Año	1993
		Velocidad (m/s)	14.4

NOTAS:

-: No se contaba con al menos 12 meses de datos disponibles para ese año

Tabla A.7: Velocidades máximas anuales de estaciones de estudio Eolo 2005.

1	13SCR05	Año	1996				
		Velocidad (m/s)	14.4				
2	13DOR05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	22.1	18.7	19.7	16.8	
3	13POL05	Año	-				
		Velocidad (m/s)	-				
4	13LPI05	Año	1995	1996	1997	1998	1999
		Velocidad (m/s)	7.5	7.4	9.1	7.5	8.9
5	13REI05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	8.3	6.7	5.6	6.2	
6	13ENT05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	14.6	15	13	10.2	
7	13PRA05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	17.1	18.1	18.1	14.3	
8	13EIN05	Año	1995	1996	1997		
		Velocidad (m/s)	6.3	6.3	8.3		
9	13MPI05	Año	1996	1997	1998	1999	
		Velocidad (m/s)	9.8	8.2	8.8	12.7	
10	13LCA05	Año	1996	1997	1998	1999	
		Velocidad (m/s)	4.7	5.8	4.5	4	
11	13CBA05	Año	1997	1998			
		Velocidad (m/s)	16.7	16.3			
12	13MAL05	Año	2001	2002			
		Velocidad (m/s)	7.4	7.8			
13	13PLA05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	6.9	7.8	6.5	8.4	
14	13MAN05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	16.5	12.3	12.3	12.1	
15	13CAM05	Año	-				
		Velocidad (m/s)	-				
16	13PIR05	Año	-				
		Velocidad (m/s)	-				
17	13PAI05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	11	10.7	17.1	10.7	
18	13TIL05	Año	-				
		Velocidad (m/s)	-				
19	13COD05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	8.5	8.1	9.4	7.6	
20	13PNE05	Año	1996	1997	1998		
		Velocidad (m/s)	7	7	6.6		
21	06CHA05	Año	2001	2002	2003	2004	
		Velocidad (m/s)	12.9	13.4	15.1	13.8	
22	06PEU05	Año	2004				
		Velocidad (m/s)	7.3				
23	06MOS05	Año	2004				
		Velocidad (m/s)	6.7				
24	13QUI05	Año	1997	1998	1999		
		Velocidad (m/s)	10.1	8	7.8		
25	06CAN05	Año	-				
		Velocidad (m/s)	-				
26	06SEW05	Año	2000	2001	2002	2003	2004
		Velocidad (m/s)	17.2	21.2	12.6	13.9	12.8

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
 Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

27	06COD05	Año	2001	2002	2003	2004							
		Velocidad (m/s)	10	9.6	6.9	6.6							
28	06RAN05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
29	06COC05	Año	2000	2001	2002	2003	2004						
		Velocidad (m/s)	13.9	12.9	13.1	11.9	11.9						
30	06COP05	Año	2000	2001	2002	2003	2004						
		Velocidad (m/s)	7.3	7.3	6.7	5.9	8.7						
31	06CAU05	Año	2000	2001	2002	2003							
		Velocidad (m/s)	5.8	5.5	5.3	5.6							
32	06BRE05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
33	06REQ05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
34	06COL05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
35	06PRO05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
36	06TOT05	Año	1997										
		Velocidad (m/s)	9.5										
37	06CIP05	Año	2000	2001	2002	2003							
		Velocidad (m/s)	6	7.1	8.4	6.5							
38	06QTI05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
39	06PIC05	Año	2004										
		Velocidad (m/s)	13										
40	06LOR05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
41	07PUT05	Año	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003				
		Velocidad (m/s)	15.3	10.5	18.4	13.1	14.7	11.9	13.2				
42	08BIO05	Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
		Velocidad (m/s)	13.2	12.8	15.6	13.2	15.9	10.6	11.9	14.7	13.8	17	12.5
43	08TIG05	Año	2002	2003									
		Velocidad (m/s)	9	7.9									
44	08CHI05	Año	2001										
		Velocidad (m/s)	14.4										
45	08ARA05	Año	2001										
		Velocidad (m/s)	10.5										
46	09TEM05	Año	2004										
		Velocidad (m/s)	14.9										
47	10PAL05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
48	10CER05	Año	2001	2002									
		Velocidad (m/s)	9.5	10									
49	10REM05	Año	2001	2002	2003								
		Velocidad (m/s)	8.5	7.8	7.44								
50	10PAM05	Año	-										
		Velocidad (m/s)	-										
51	10BUT05	Año	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003				
		Velocidad (m/s)	13.7	15.5	15.4	14.7	12.6	17.1	19.8				

NOTAS

:- No se contaba con al menos 12 meses de datos disponibles para ese año

1: Algunas de las estaciones reportaban velocidades como datos de direcciones (máximos del orden de 300), razón por la cual se descartaron del análisis.

Tabla A.8: Velocidades máximas anuales de estaciones DMC.

N°	Estación	Información ^{1 2 3}																	
		Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
1	DMC - ARICA	Velocidad (nudos)	22	28	26	28	26	28	26	25	21	24	24	22	23	24	22	23	
		Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
		Velocidad (nudos)	22	22	20	24	20	23	30	21	21	21	21	26	22	21	25	20	
		Año	2002	2003	2004	2005													
		Velocidad (nudos)	18	19	19	29													
2	DMC - CAMIÑA	Año	2000																
		Velocidad (m/s)	14																
3	DMC - PICA	Año	2000	2001	2002	2003													
		Velocidad (m/s)	19	18	24	26													
4	DMC - IQUIQUE	Velocidad (nudos)	40	31	31	22	34	28	22	24	23	26	25	25	25	23	23	25	
		Año	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
		Velocidad (nudos)	28	30	25	23	23	23	25	23									
		Año	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005									
5	DMC - CALAMA	Velocidad (nudos)	42	37	39	32	34	33	35	36	33	37	35	33	42	33	34		
		Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005		
6	DMC - TOCONAO	Velocidad (m/s)	37	30	27	29													
		Año	2001	2002	2003	2004													
7	DMC - ANTOFAGASTA	Velocidad (nudos)	25	26	34	28	28	26	30	30	26	26	25	40	30	28	30	33	
		Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
		Velocidad (nudos)	25	27	31	31	23	30	26	28	28	23	26	21	28	20	24	25	
		Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
		Velocidad (nudos)	26	28	25	28													
8	DMC - EL SALVADOR	Velocidad (m/s)	25	26															
		Año	2001	2002															
9	DMC - COPIAPO	Velocidad (m/s)	17	17	16	17	16												
		Año	2000	2001	2002	2003	2004												
10	DMC - HUASCO	Velocidad (m/s)	20	35	-	22													
		Año	2001	2002	2003	2004													
11	DMC - VALLENAR	Velocidad (m/s)	18	27	16	23													
		Año	2001	2002	2003	2004													
12	DMC - LA SERENA	Velocidad (nudos)	28	35	37	21	20	22	24	24	23	20	30	31	33	34	40	24	
		Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
		Velocidad (nudos)	23	24	32	36	20	24	32	19	23	18	24	34	27	17	28	18	
		Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
 Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

		Año	2002	2003	2004	2005														
		Velocidad (nudos)	19	15	19	20														
13	DMC - OVALLE	Año	2001	2002	2003	2004														
		Velocidad (m/s)	16	18	-	16														
14	DMC - LOS VILOS	Año																		
		Velocidad (m/s)																		
15	DMC - LOS LIBERTADORES	Año	2001	2002	2003	2004														
		Velocidad (m/s)	27	26	-	32														
16	DMC - PUDAHUEL	Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
		Velocidad (nudos)	25	40	30	30	26	30	26	27	22	20	20	26	31	24	26	20		
		Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001		
		Velocidad (nudos)	28	31	31	20	25	27	25	21	21	27	25	23	23	23	21	28		
		Año	2002	2003	2004	2005														
		Velocidad (nudos)	21	23	20	34														
17	DMC - TOBALABA	Año	2000	2001	2002	2003	2004													
		Velocidad (m/s)	13	15	12	-	13													
18	DMC - STO DOMINGO	Año	2001	2002	2003	2004														
		Velocidad (m/s)	17	18	-	18														
19	DMC - NAVIDAD	Año																		
		Velocidad (m/s)																		
20	DMC - RANCAGUA	Año	2001	2002	2003	2004														
		Velocidad (m/s)	19	-	17	16														
21	DMC - PICHILEMU	Año																		
		Velocidad (m/s)																		
22	DMC - CURICO	Año	2004																	
		Velocidad (m/s)	17																	
23	DMC - CHILLAN	Año	2002	2003	2004															
		Velocidad (m/s)	29	-	23															
24	DMC - CONCEPCION	Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985		
		Velocidad (nudos)	52	45	50	50	50	45	70	45	40	50	60	40	40	44	42	40		
		Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001		
		Velocidad (nudos)	52	58	51	38	37	34	45	43	53	40	36	43	32	30	37	35		
		Año	2002	2003	2004	2005														
		Velocidad (nudos)	37	40	35	53														
25	DMC - LAS TRANCAS	Año	2001																	
		Velocidad (m/s)	20																	
26	DMC - LOS ANGELES	Año	2002																	
		Velocidad (m/s)	17																	
27	DMC - LEBU	Año	2001	2002	2003	2004														
		Velocidad (m/s)	23	22	22	23														

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
 Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

28	DMC - TEMUCO	Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
		Velocidad (nudos)	50	45	35	60	46	40	40	40	35	35	50	40	35	40	35	36	
		Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
		Velocidad (nudos)	40	40	32	32	35	32	32	34	38	38	35	38	32	30	40	29	
29	DMC - PUCON	Año	2001	2002	2003	2004													
		Velocidad (m/s)	23	22	20	26													
30	DMC - VALDIVIA	Año	2001	2002	2003														
		Velocidad (m/s)	24	-	21														
31	DMC - LAGO RANCO	Año	2001	2002	2003	2004													
		Velocidad (m/s)	19	25	22	18													
32	DMC - OSORNO	Año	2001	2002															
		Velocidad (m/s)	23	18															
33	DMC - PUERTO MONTT	Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
		Velocidad (nudos)	30	25	28	36	40	45	40	45	48	40	40	40	40	48	33	50	
		Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
		Velocidad (nudos)	42	33	40	44	40	34	26	40	36	51	33	30	36	32	35	33	
34	DMC - CASTRO	Año	2001	2002	2003														
		Velocidad (m/s)	22	24	21														
35	DMC - CHAITEN	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004			
		Velocidad (nudos)	40	31	30	60	40	50	33	28	26	24	28	55	27	25			
36	DMC - QUELLON	Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999										
		Velocidad (nudos)	30	40	25	24	-	30	40										
37	DMC - FUTALEUFU ⁴	Año																	
		Velocidad (nudos)																	
38	DMC - PALENA	Año	1994	1995	1996														
		Velocidad (nudos)	38	24	24														
39	DMC - AYSEN	Año	2001	2002	2003	2004													
		Velocidad (m/s)	18	21	21	20													
40	DMC - COYHAIQUE	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004			
		Velocidad (nudos)	30	40	31	50	44	30	30	30	90	30	24	28	25	26			
41	DMC - BALMACEDA	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
		Velocidad (nudos)	44	52	56	54	60	73	47	50	43	46	37	42	41	57	40	42	
42	DMC - CHILE CHICO	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003				
		Velocidad (nudos)	40	40	45	40	40	45	45	50	41	43	43	45	44				
43	DMC - COCHRANE	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003				
		Velocidad (nudos)	33	25	25	30	30	30	40	30	26	40	32	30	33				

Determinación de la Acción del Viento sobre las Estructuras en Chile
Apéndice A: Valores Máximos Anuales para Registros Disponibles

44	DMC - VILLA OHIGGINS	Año	2001	2002															
		Velocidad (m/s)	23	21															
45	DMC - PUNTA ARENAS	Año	1970	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	
		Velocidad (nudos)	46	50	50	45	50	51	53	48	41	45	49	45	66	57	66	53	
		Año	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004									
		Velocidad (nudos)	48	46	47	42	60	42	44	44									

NOTAS:

-: Año no tenía más de un 90% de días con datos en más de 12 horas del día correspondiente

¹: Se determinó un valor máximo anual sólo cuando el año tenía más de un 90% de días con datos en más de 12 horas del día correspondiente

²: Algunas de las estaciones tienen datos de máximos que parecen dudosos. Ver por ejemplo dato de 1999 de estación DMC - COYHAIQUE que tiene un máximo de 90 (muy lejano de sus otros valores extremos)

³: A pesar de lo informado por la DMC, las unidades de los datos de las estaciones DCP parecen ser (m/s) y no (nudos), por lo que se dejaron en (m/s)

⁴: La estación DMC - FUTALEUFU estaba en la lista de la DMC pero el archivo con datos no existía.

APÉNDICE B: ESTADÍSTICA BÁSICA PARA ESTACIONES SELECCIONADAS

En este apéndice se muestra una figura y tabla resumen tipo generada para cada una de las 11 estaciones seleccionadas en este estudio. Esta figura y tabla fueron utilizadas para de revisar la calidad de los registros básicos de las velocidades de viento y detectar así problemas de falta de datos, cambios en su registro o bien valores anómalos.

La tabla tipo se divide en 4 campos, donde el primero muestra el nombre de la estación, el segundo, información general de su ubicación, período y número de años completos con registro, el tercer campo muestra las condiciones de medición de los datos registrados en ella (altura del sensor, longitud de rugosidad del entorno de la estación (Z_0) y el período de promedio de registros); finalmente el cuarto campo contiene un conteo de los datos registrados (datos válidos y no válidos) y resumen de resultados estadísticos de las velocidades máximas diarias del viento obtenidos a partir de los datos válidos.

La figura tipo generada para cada estación consta de 6 gráficos (a, b, c, d, e, y f). Los gráficos a, b y c de cada figura se confeccionaron a partir de los valores horarios de la velocidad del viento y muestran la serie completa de datos, un histograma con las velocidades horarias registradas y un resumen con el ciclo diario a nivel mensual, respectivamente. Los gráficos d, e y f a su vez, se confeccionaron a su vez a partir de los valores máximos diarios y muestran la serie completa (d), un histograma con los valores máximos diarios (e) y un gráfico de cajas con las distribuciones los valores máximos desagregados mensualmente (f).

Tabla B.1: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC - ARICA.

Nombre Estación:	DMC - ARICA	
Ubicación:	18° 20' LS	70° 20' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	15 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	131453	datos
Datos Faltantes:	43	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	13.4	[nudos]
Desviación Estandar σ :	2.6	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	30	[nudos]

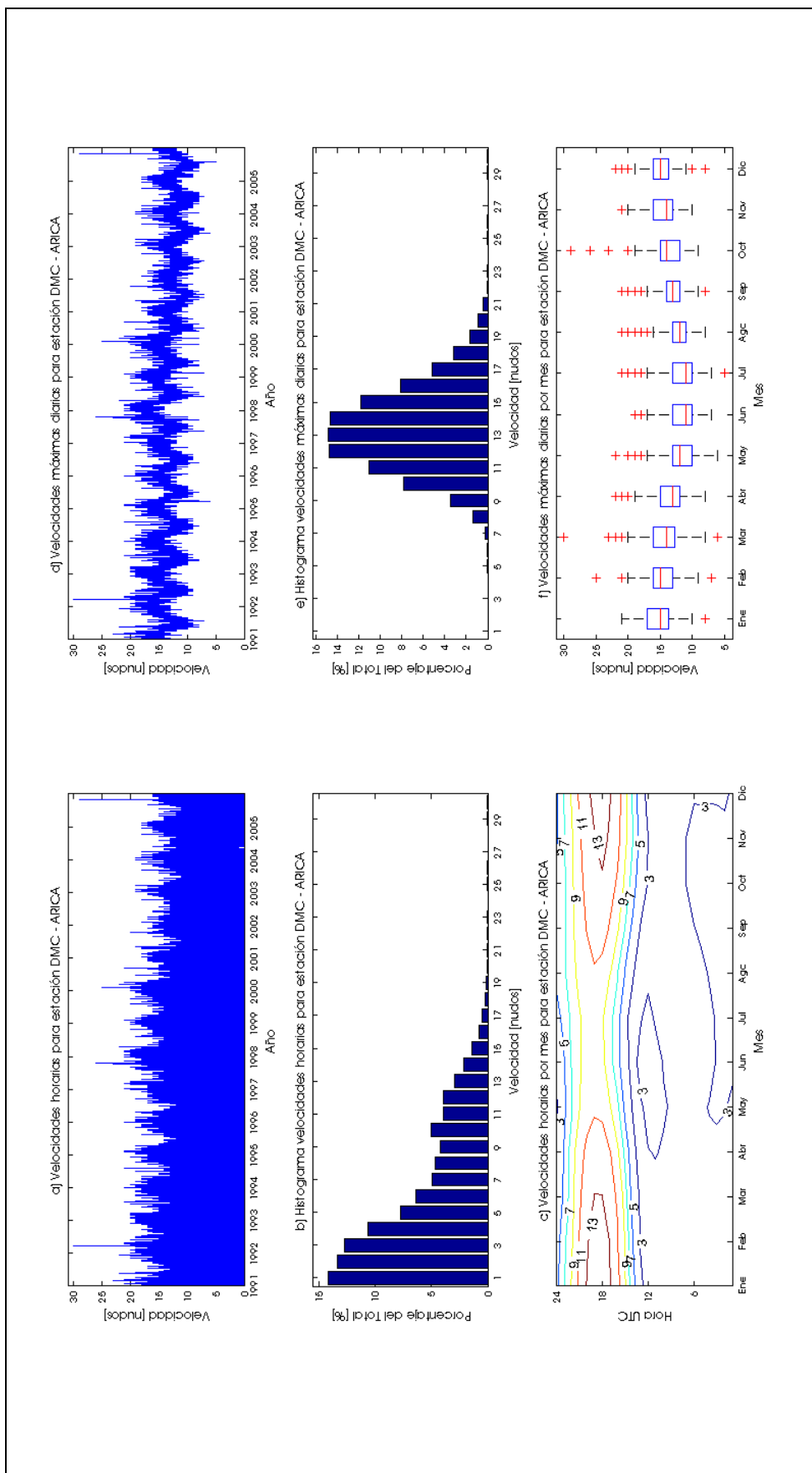


Figura B.1: Estadística Básica Estación DMC - ARICA.

Tabla B.2: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC - IQUIQUE.

Nombre Estación:	DMC - IQUIQUE	
Ubicación:	20° 32' LS	70° 11' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	15 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	131413	datos
Datos Faltantes:	83	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	14.1	[nudos]
Desviación Estandar σ :	3.3	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	30	[nudos]

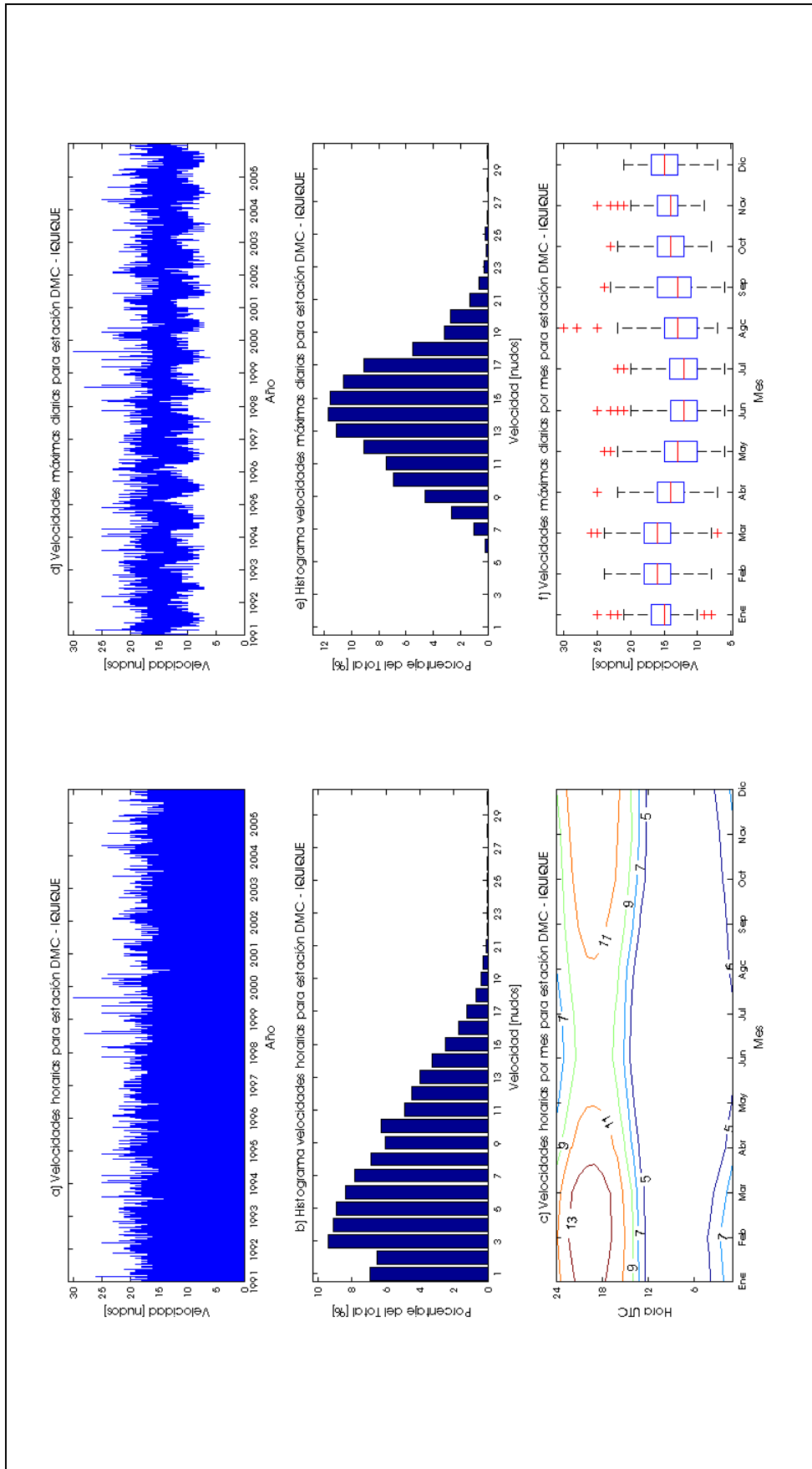


Figura B.2: Estadística Básica para Estación DMC - IQUIQUE.

Tabla B.3: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC - ANTOFAGASTA.

Nombre Estación:	DMC - ANTOFAGASTA	
Ubicación:	23° 26' LS	70° 26' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	15 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	131472	datos
Datos Faltantes:	24	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	14.0	[nudos]
Desviación Estandar σ :	2.8	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	30	[nudos]

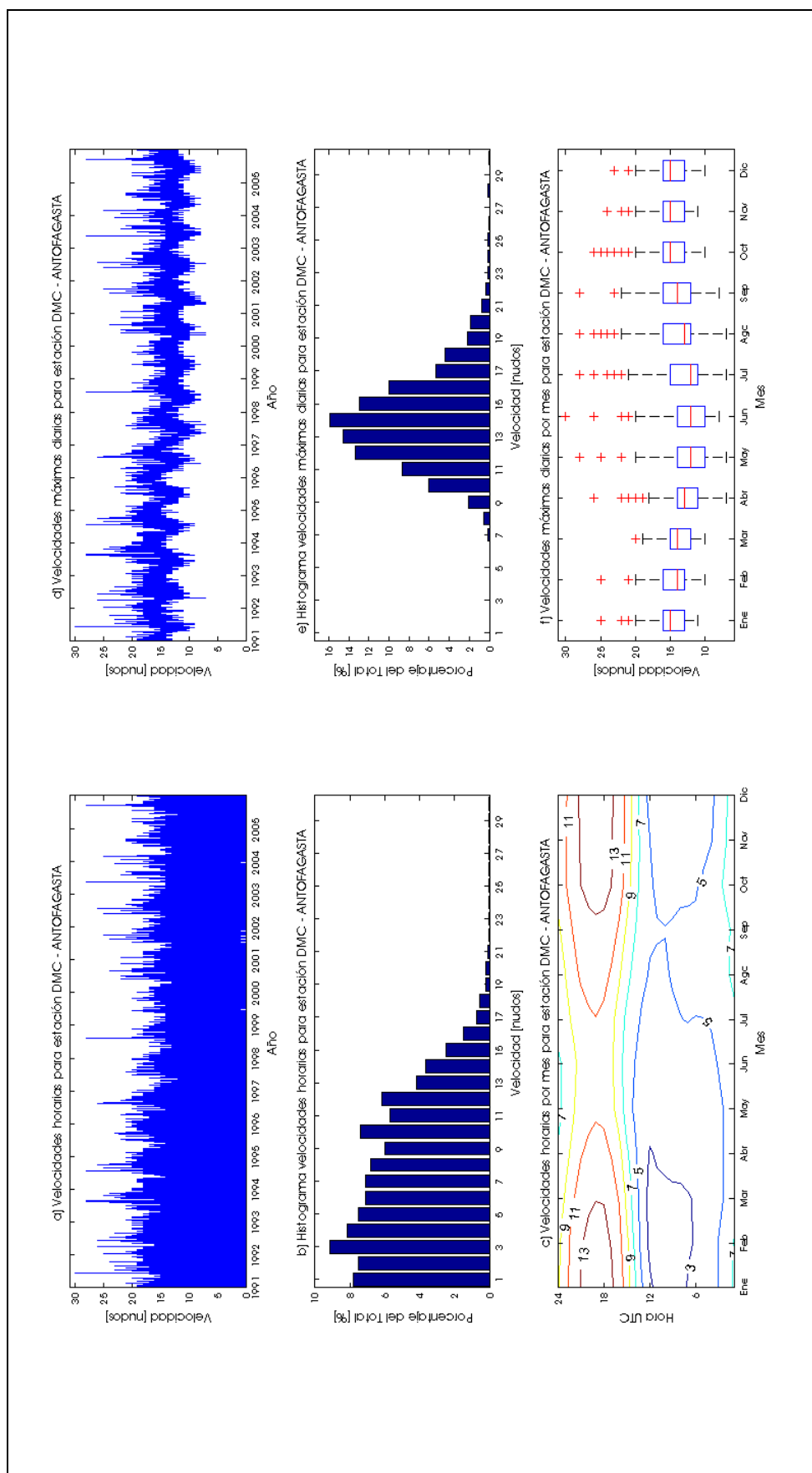


Figura B.3: Estadística Básica para Estación DMC - ANTOFAGASTA.

Tabla B.4: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC – LA SERENA.

Nombre Estación:	DMC - LA SERENA	
Ubicación:	29° 54' LS	71° 12' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	15 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	101168	datos
Datos Faltantes:	30328	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	11.2	[nudos]
Desviación Estandar σ :	2.5	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	34	[nudos]

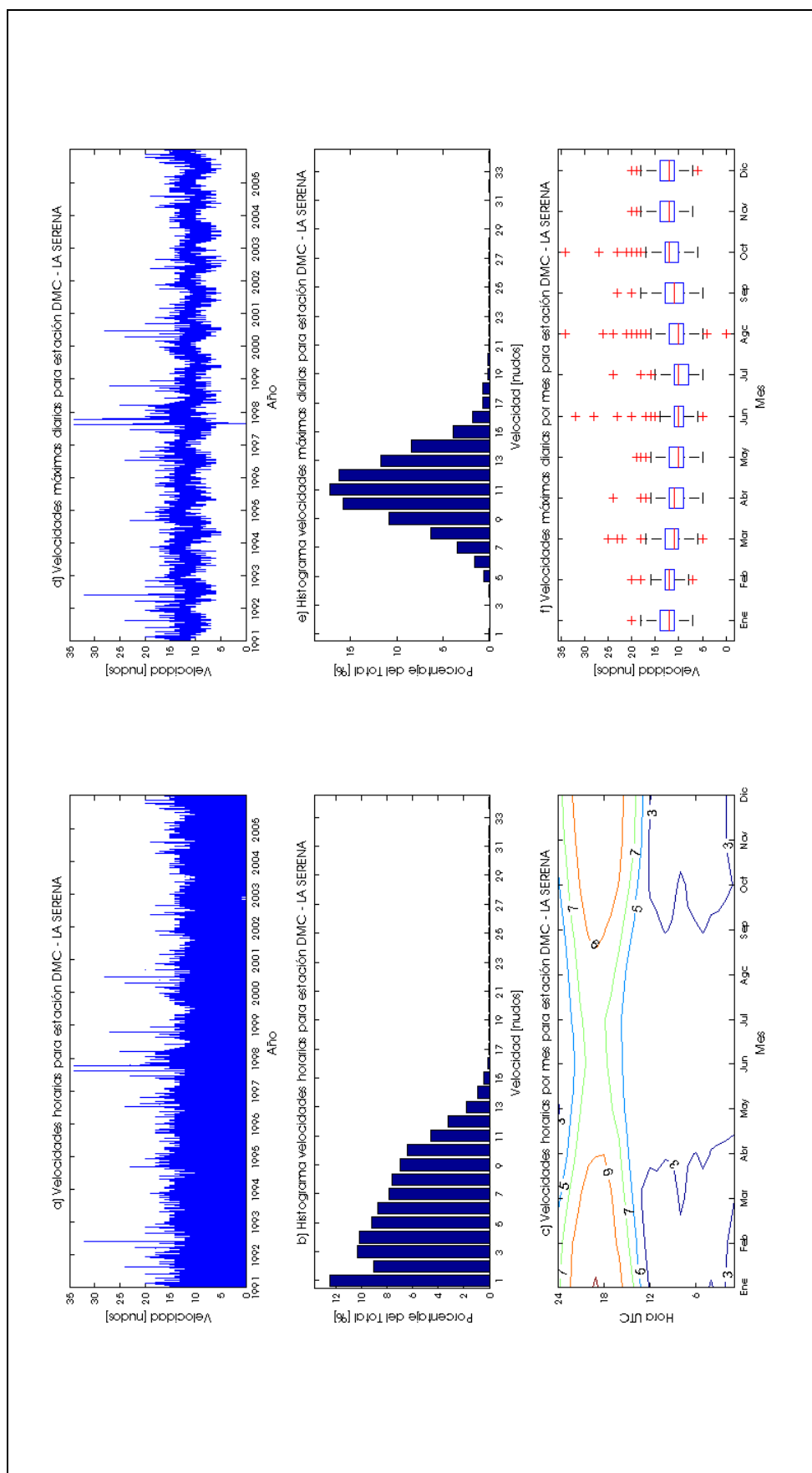


Figura B.4: Estadística Básica para Estación DMC – LA SERENA.

Tabla B.5: Tabla resumen de datos básicos para estación EOLO – LENGUA DE VACA.

Nombre Estación:	EOLO - LENGUA DE VACA	
Ubicación:	30° 14' LS	71° 38' LO
Inicio Datos:	14 Sep 1990	
Fin Datos:	26 Abr 2003	
Período:	12 [años]	
Altura Sensor:	3.75	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.005	[m]
Promedio Registros:	3600	[seg]
Datos Válidos:	88747	datos
Datos Faltantes:	22253	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	7.6	[m/s]
Desviación Estandar σ :	2.6	[m/s]
Velocidad Máxima V_{max} :	15.3	[m/s]

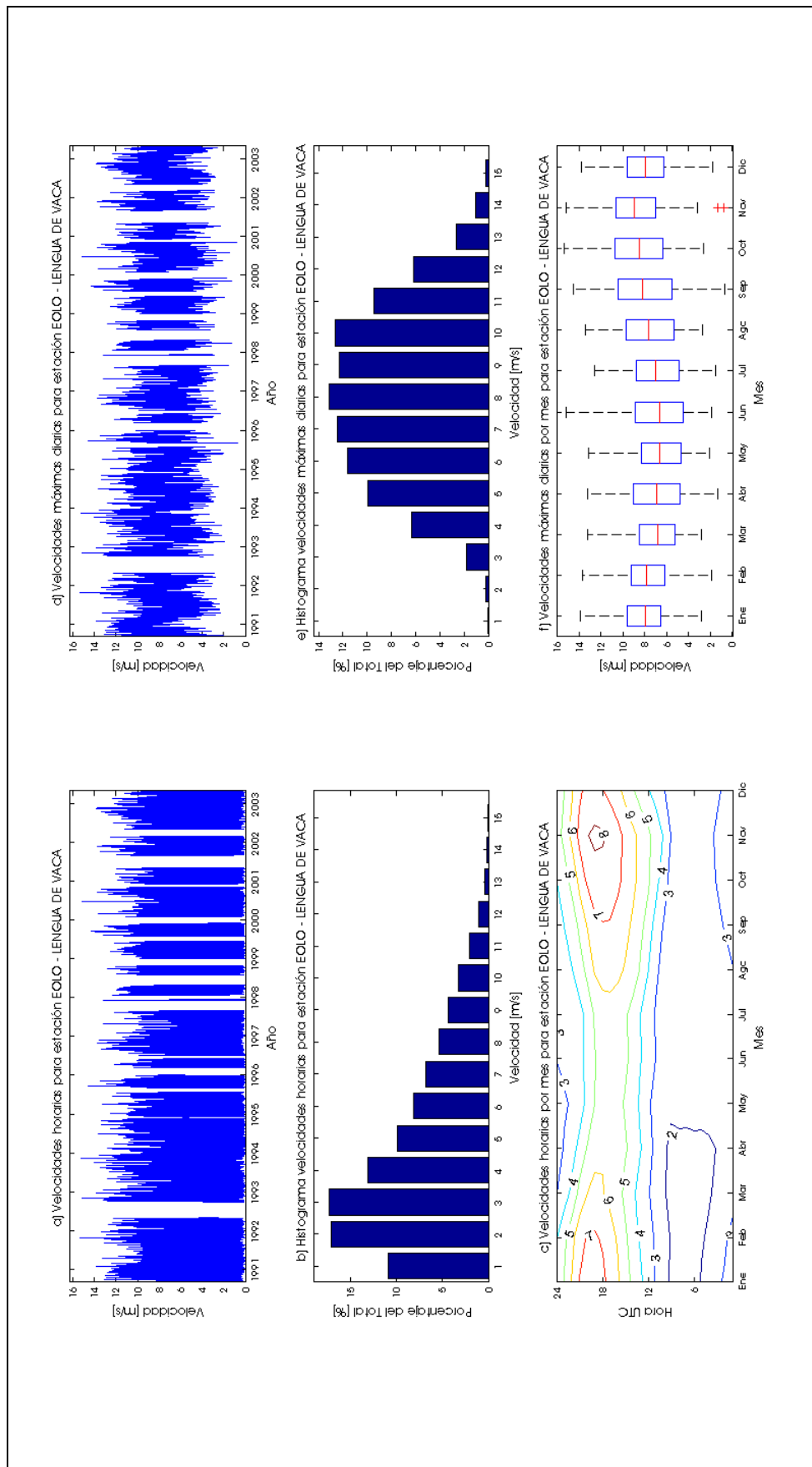


Figura B.5: Estadística Básica para Estación EOLO – LENGUA DE VACA.

Tabla B.6: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC – PUDAHUEL.

Nombre Estación:	DMC - PUDAHUEL	
Ubicación:	33° 23' LS	70° 47' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	15 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	131434	datos
Datos Faltantes:	62	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	11.5	[nudos]
Desviación Estandar σ :	3.9	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	34	[nudos]

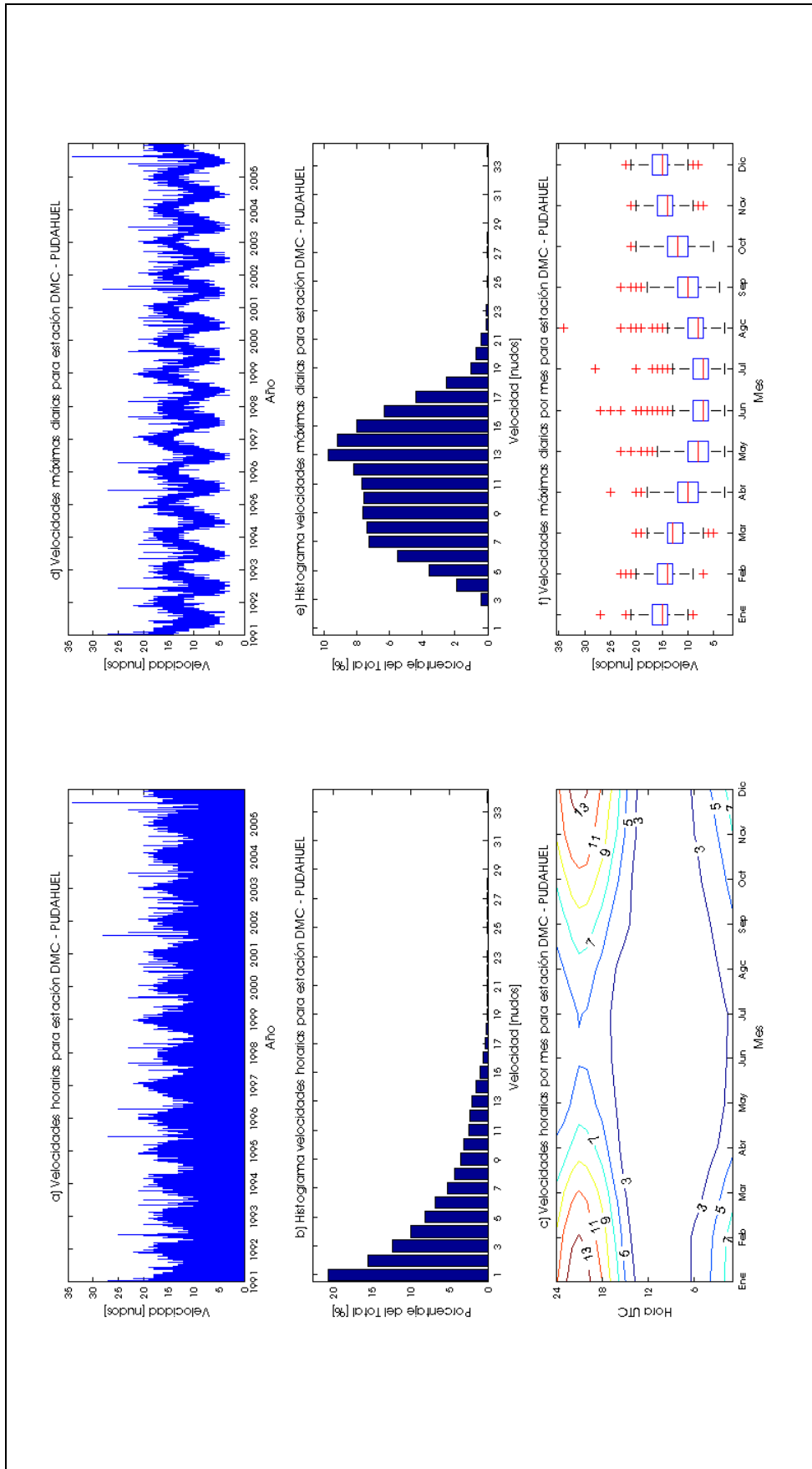


Figura B.6: Estadística Básica para Estación DMC – PUDAHUEL.

Tabla B.7: Tabla resumen de datos básicos para estación EOLO – ENAP BÍO-BÍO.

Nombre Estación:	EOLO - ENAP BIO-BIO	
Ubicación:	36° 46' LS	73° 07' LO
Inicio Datos:	01 May 1993	
Fin Datos:	31 Dic 2004	
Período:	11 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.3183	[m]
Promedio Registros:	3600	[seg]
Datos Válidos:	101435	datos
Datos Faltantes:	877	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	5.7	[m/s]
Desviación Estandar σ :	1.8	[m/s]
Velocidad Máxima V_{max} :	17.0	[m/s]

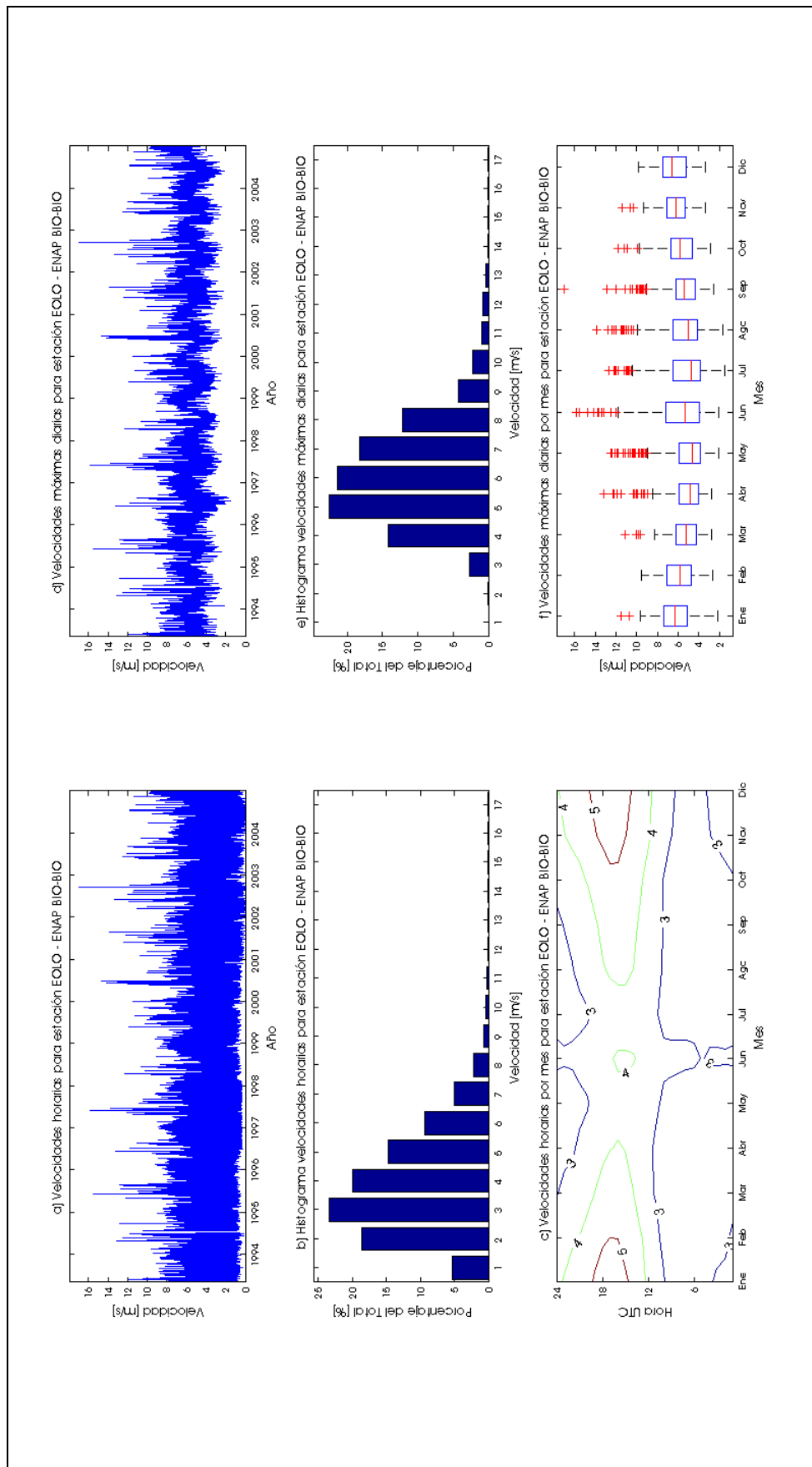


Figura B.7: Estadística Básica para Estación EOLO – ENAP BIO-BIO.

Tabla B.8: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC – CONCEPCIÓN.

Nombre Estación:	DMC - CONCEPCIÓN	
Ubicación:	36° 47' LS	73° 03' LN
Inicio Datos:	01 Ene 1990	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	16 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	139096	datos
Datos Faltantes:	1160	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	14.7	[nudos]
Desviación Estandar σ :	5.6	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	53	[nudos]

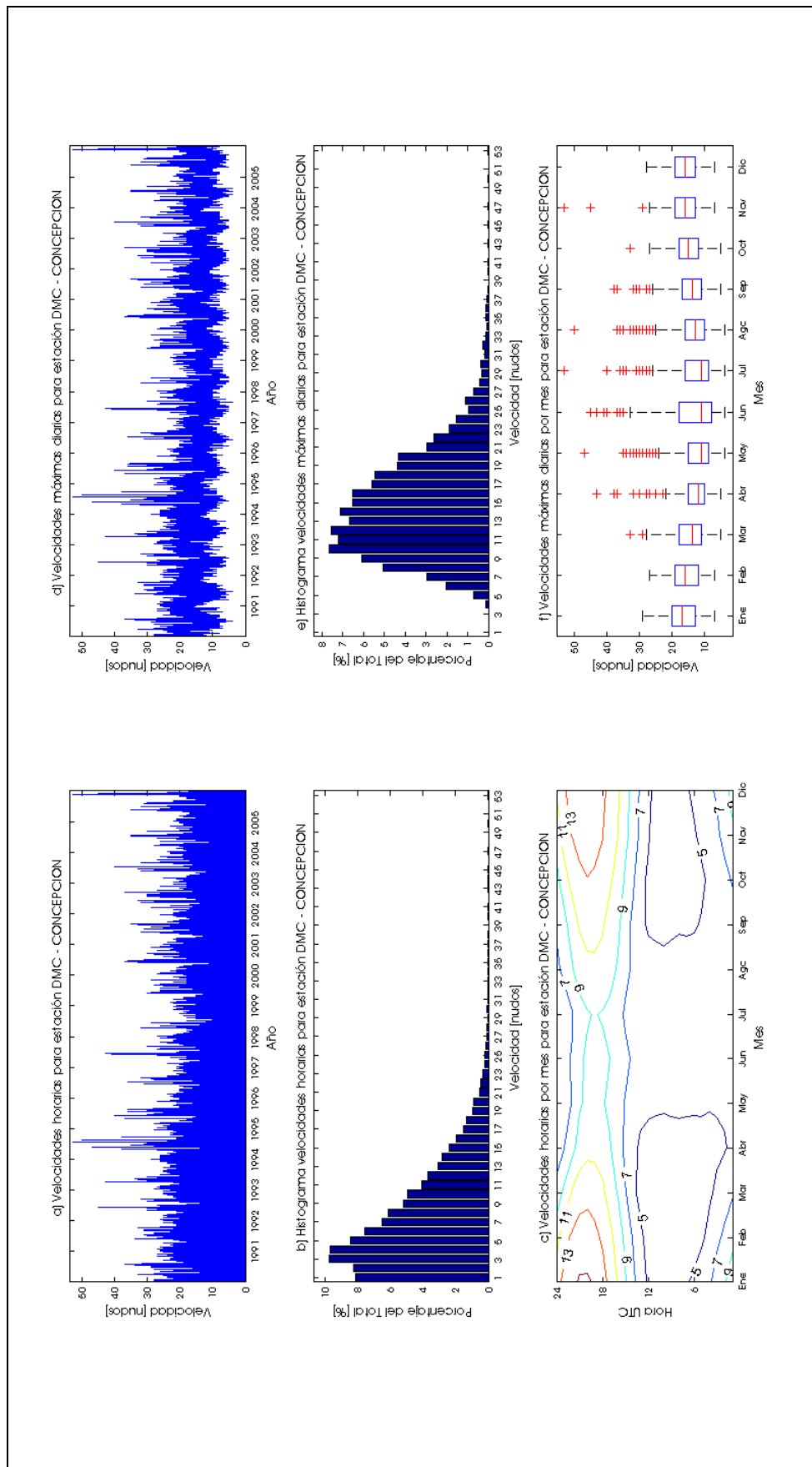


Figura B.8: Estadística Básica para Estación DMC – CONCEPCION.

Tabla B.9: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC – TEMUCO.

Nombre Estación:	DMC - TEMUCO	
Ubicación:	38° 45' LS	72° 38' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	15 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	127222	datos
Datos Faltantes:	4274	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	10.0	[nudos]
Desviación Estandar σ :	4.3	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	40	[nudos]

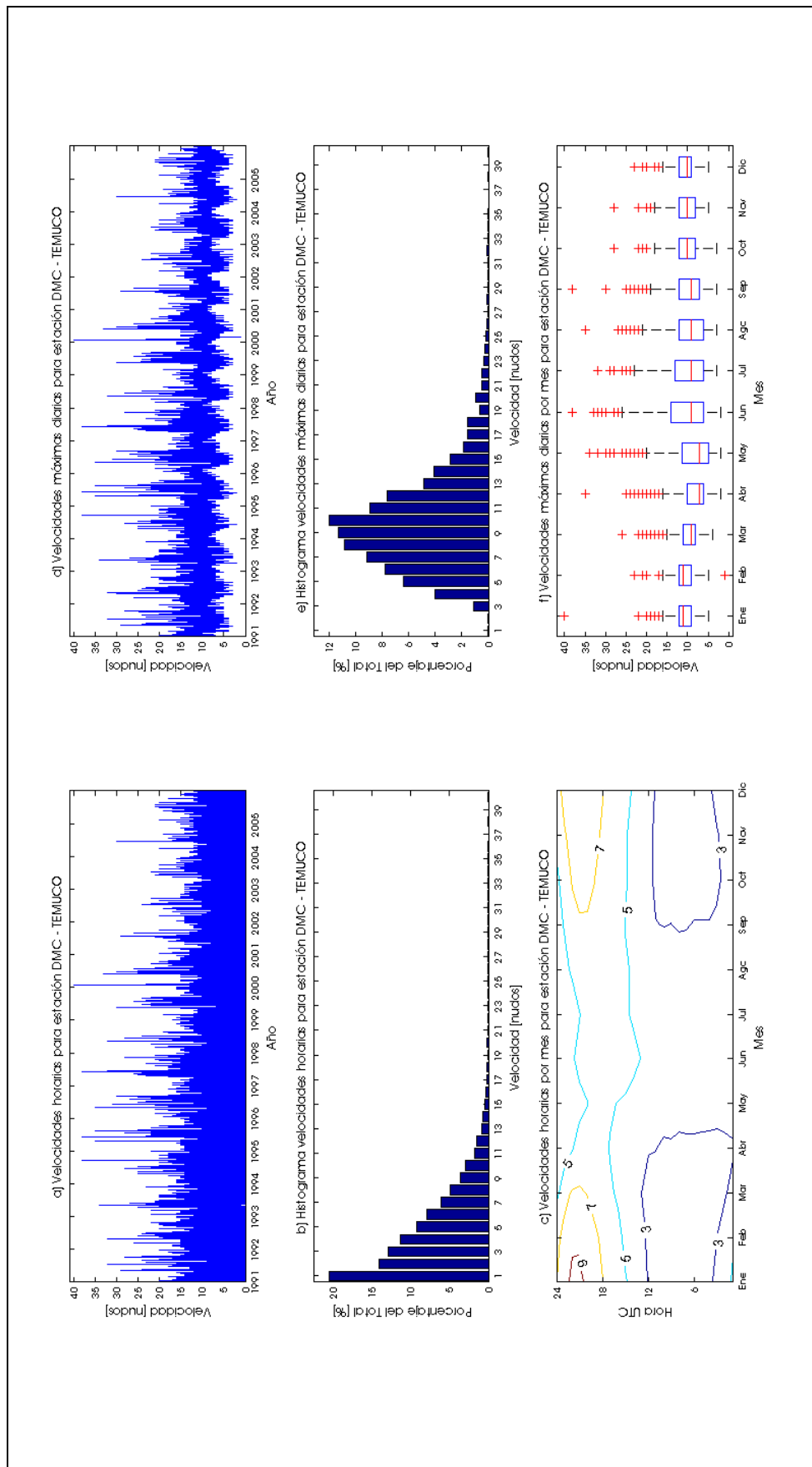


Figura B.9: Estadística Básica para Estación DMC – TEMUCO.

Tabla B.10: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC – PUERTO MONTT.

Nombre Estación:	DMC - PUERTO MONTT	
Ubicación:	41° 26' LS	73° 07' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2005	
Período:	15 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	131444	datos
Datos Faltantes:	52	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	12.5	[nudos]
Desviación Estandar σ :	5.0	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	51	[nudos]

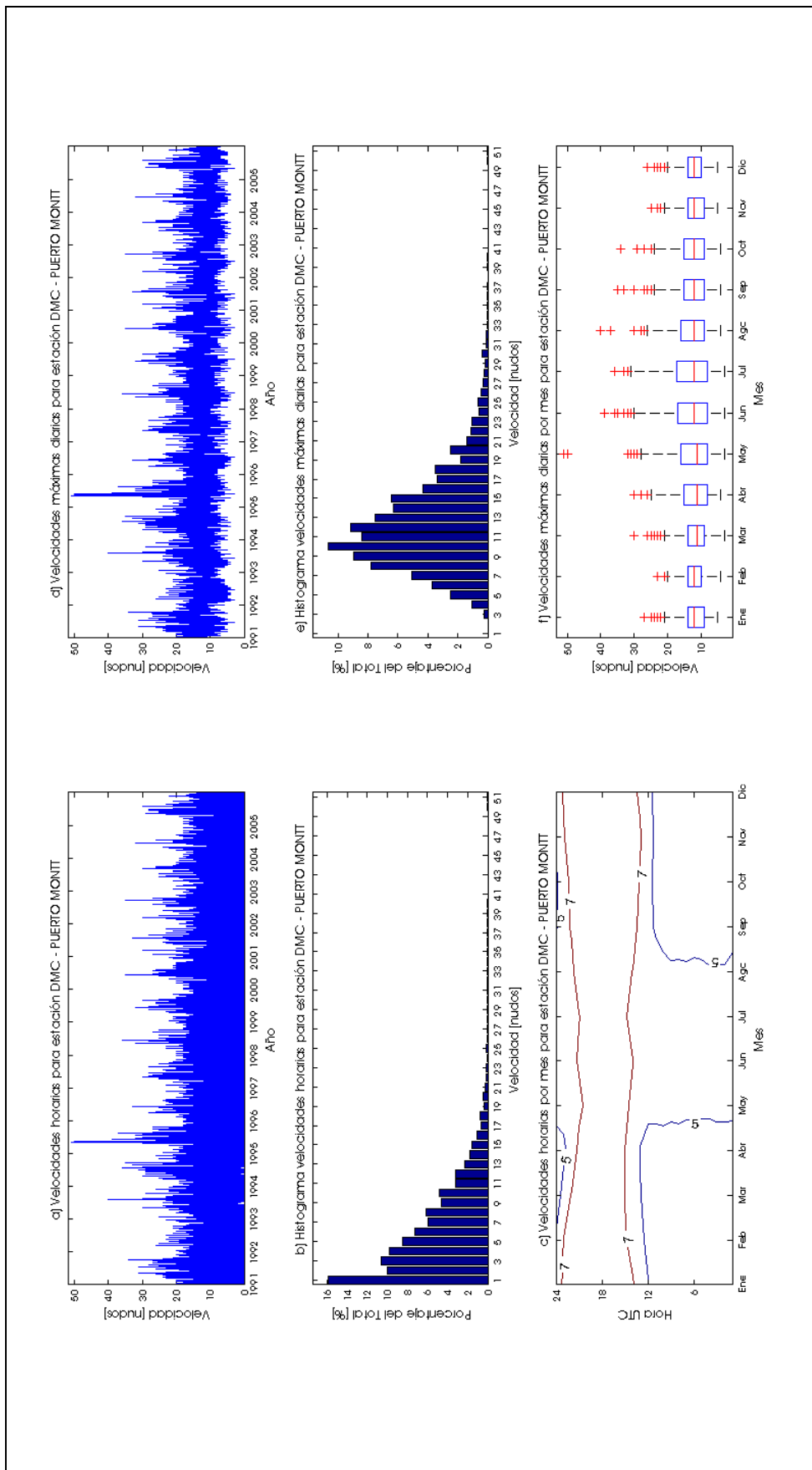


Figura B.10: Estadística Básica para Estación DMC – PUERTO MONIT.

Tabla B.11: Tabla resumen de datos básicos para estación DMC – PUNTA ARENAS.

Nombre Estación:	DMC - PUNTA ARENAS	
Ubicación:	53° 00' LS	70° 51' LO
Inicio Datos:	01 Ene 1991	
Fin Datos:	31 Dic 2004	
Período:	14 [años]	
Altura Sensor:	10	[m]
Longitud de Rugosidad (Z_0):	0.02	[m]
Promedio Registros:	600	[seg]
Datos Válidos:	122658	datos
Datos Faltantes:	78	datos
Promedio $\langle V_{max} \rangle$:	20.9	[nudos]
Desviación Estandar σ :	8.0	[nudos]
Velocidad Máxima V_{max} :	66	[nudos]

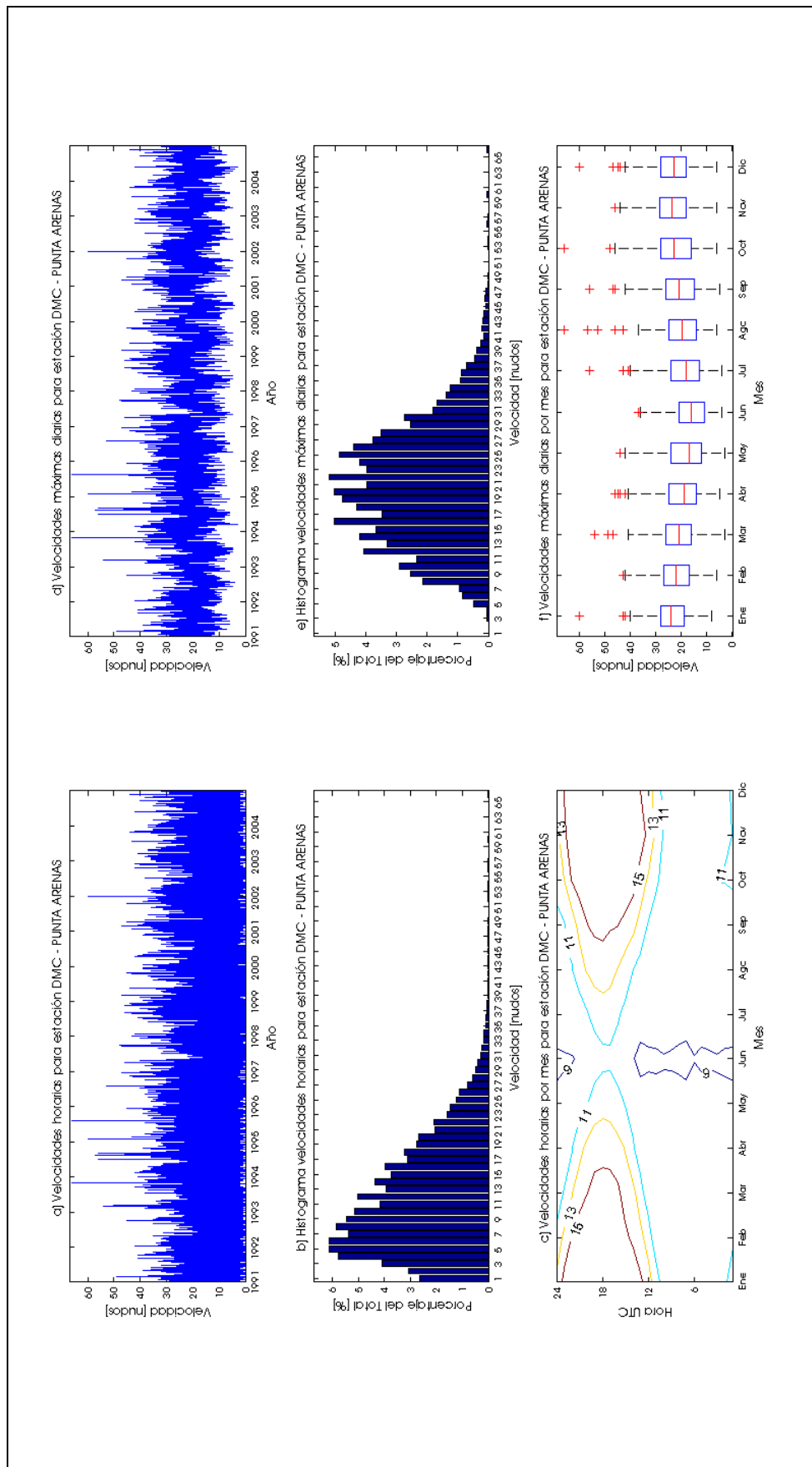


Figura B.11: Estadística Básica para Estación DMC – PUNTA ARENAS.

APÉNDICE C: RUTINAS MATLAB PARA CÁLCULO DE VELOCIDADES DE RETORNO

En este apéndice se muestran las rutinas y funciones confeccionadas en el Software Matlab, para el cálculo de las velocidades de retorno en las 11 estaciones seleccionadas en este estudio. Para cada una de estas estaciones se confeccionó una rutina principal, desde la cual se llama a las distintas funciones. En este apéndice se muestra en particular, los códigos Matlab utilizados en la estación DMC – PUDAHUEL.

La rutina principal comienza por una revisión de la calidad del archivo Excel que contiene los registros de velocidades de viento para una estación en particular. En este punto se leen y procesan los datos con el objetivo de generar variables con las velocidades ordenadas cronológicamente. Se modificaron los nombres y el formato de los archivos Excel recibidos de modo de facilitar la lectura de ellos.

Una vez procesados los datos de velocidad se aplica la función “anexo”, la cual genera una figura tipo con 6 gráficos (Ver Apéndice B) y define variables con un resumen de los datos y una estadística a nivel de velocidades máximas diarias, con el objetivo de realizar una revisión de los registros recibidos.

Posteriormente se generan las bases de datos por épocas, tanto a nivel anual (función “vectormaxano”) como mensual (función “matrixmaxmes”), así como una partición de datos separados por un intervalo de 8 días (función “interval_sep), a partir de los valores máximos diarios de la velocidad del viento (función “vectormaxdia”).

Finalmente, utilizando las bases de datos generadas anteriormente, se aplican las 11 rutinas indicadas en la Tabla 5.3, de acuerdo a la base de datos y función de ajuste utilizada, para estimar la velocidad de retorno y los parámetros de la distribución de valores extremos a utilizar.

C.1. Código Rutina Principal

```
close all
clear all

% I. Creación de Datos Básicos (Revisión de calidad de archivo)
%-----

% 1. Lectura de Archivo EXCEL en MATLAB
% Lectura de Archivo Inicial
% [datan1,datas1]=xlsread('PUDAHUEL.xls','Ene-Mar');
% [datan2,datas2]=xlsread('PUDAHUEL.xls','Abr-Jun');
% [datan3,datas3]=xlsread('PUDAHUEL.xls','Jul-Sep');
% [datan4,datas4]=xlsread('PUDAHUEL.xls','Oct-Dic');

% Lectura de Archivo Corregido (Corrección de Datos con Fechas Repetidas)
[datan1,datas1]=xlsread('PUDAHUELrev.xls','Ene-Mar');
[datan2,datas2]=xlsread('PUDAHUELrev.xls','Abr-Jun');
[datan3,datas3]=xlsread('PUDAHUELrev.xls','Jul-Sep');
[datan4,datas4]=xlsread('PUDAHUELrev.xls','Oct-Dic');

% Elimina Fila con Encabezados
datas1(1,:)=[];
datas2(1,:)=[];
datas3(1,:)=[];
datas4(1,:)=[];

% Concatena los Datos Numéricos de Cada Hoja en una Única Variable "datan"
datan=[datan1;datan2;datan3;datan4];

% 2. Procesamiento de Información de Vientos
% Crea Vector "time" con Instante Asociado a Cada Dato (Usando Referencia
% de tiempo incorporada en MATLAB)
nano=datan(:,2);
nmes=datan(:,3);
ndia=datan(:,4);
nhor=datan(:,5);
ndir=datan(:,6);
nvel=datan(:,7);
time=datenum(nano,nmes,ndia,nhor,0,0);

% Crea Matriz de Datos Ordenados en el Tiempo
% Primero la Creamos Llena de NaN
dataNaNs1991a2005=NaN*ones((datenum(2005,12,31)-datenum(1991,1,1)+1)*24,1);

% Identifico el Número de Orden de Cada Dato en la Matriz
nn=round((time-datenum(1991,1,1))*24);
[nnsorted,iisorted]=sort(nn);

% Identifico Datos con Instantes Repetidos
nrep=find(diff(nnsorted)==0);
if(length(nrep)>0),
    'Datos con Instantes Repetidos'
    datestr(time(iisorted(nrep)))
end

% ans =
```

```
%
% Datos con Instantes Repetidos
%
%
% ans =
%
% 04-Jul-1998 01:00:00
% 04-Jul-1998 02:00:00
% 30-Jul-2002 01:00:00

% Se Corrigen las Fechas de Datos Repetidos en Archivo PUDAHUELrev.xls y se
% Comienza de Nuevo

% Identificacion de Saltos de Datos
nsalto=find(diff(mnsorted)>1);
if(length(nsalto)>0),
    'Comienzo de Períodos con Falta de Datos'
    datestr(time(iisorted(nsalto)))
end

% ans =
%
% Comienzo de Períodos con Falta de Datos
%
%
% ans =
%
% 04-Jun-1991 22:00:00
% 09-Oct-1991 12:00:00
% 09-Oct-1991 15:00:00
% 06-Oct-1992 12:00:00
% 19-May-1998 15:00:00
% 22-May-1998 19:00:00
% 25-May-1998 22:00:00
% 28-May-1998 22:00:00
% 30-May-1998 01:00:00
% 14-Jun-1998 19:00:00
% 25-Jun-1998 22:00:00
% 11-Jul-1998 10:00:00
% 11-Jul-1998 12:00:00
% 11-Jul-1998 15:00:00
% 11-Jul-1998 18:00:00
% 11-Jul-1998 21:00:00
% 07-Aug-1998 13:00:00
% 09-Aug-1998 22:00:00
% 15-Aug-1998 03:00:00
% 18-Aug-1998 13:00:00
% 27-Aug-1998 21:00:00
% 05-Oct-1998 22:00:00
% 12-Jun-1999 01:00:00
% 29-Feb-2000 00:00:00
% 01-Aug-2002 22:00:00
% 15-Dec-2003 22:00:00

clear nrep nsalto mnsorted iisorted

% Creo los Arreglos con Velocidades y Direcciones del Viento Ordenadas en
% el Tiempo
```

```
datapudadirh=datNaNs1991a2005;
datapudadirh(nn)=ndir;
datapudavelh=datNaNs1991a2005;
datapudavelh(nn)=nvel;

% Reemplazo Direcciones 999 por NaN
datapudadirh(datapudadirh==999)=NaN;

% II. Llamado a Función de Estadística Básica (revisión de calidad de
registros)
% -----
--

nombreestacion='DMC - PUDAHUEL';

% 1. Creación de Gráficos y Variables Tabla Resumen
anexo(nombreestacion,datapudavelh);

% III. Generación de Base de Datos para análisis estadístico posterior
% -----

% 1. Base de Datos por Épocas utilizando rutinas previamente confeccionadas
[pudamaxdia]=vectormaxdia(datapudavelh);
[pudamaxano]=vectormaxano(pudamaxdia);
[pudamaxmes]=matrixmaxmes(pudamaxdia);

% 2. Base de Datos por Peaks over Threshold
% Base de datos no correlacionados separados por 8 días
[pudamaxdia_sep8, datatime_sep8, dind_sep8] = interval_sep(pudamaxdia,
(1:5479)', 8);

% IV. Cálculo de Velocidades de Retorno
%-----

% 1. Análisis por Épocas
[pudavelret_mesgummom,k1,a1,u1]=mesgummom(pudamaxmes,50)
[pudavelret_epowblmom,k2,a2,u2]=epowblmom(pudamaxano,50)
[pudavelret_epogummom,k3,a3,u3]=epogummom(pudamaxano,50)
[pudavelret_epogumlkh,k4,a4,u4]=epogumlkh(pudamaxano,50)
[pudavelret_epogevpwm,k5,a5,u5]=epogevpwm(pudamaxano,50)
[pudavelret_epogevlkh,k6,a6,u6]=epogevlkh(pudamaxano,50)

% 2. Análisis por POT's
umbral_min=20;
anos=15;
[pudavelrec_potgpdhaa,lamda7,k7,a7]=potgpdhaa(pudamaxdia_sep8,umbral_min,anos,
50)
[pudavelrec_potgpdlkh,lamda8,k8,a8]=potgpdlkh(pudamaxdia_sep8,umbral_min,anos,
50)

% 3. Análisis Gráficos
[pudavelrec_epogumgph,k9,a9,u9]=epogumgph(pudamaxano,50)
[pudavelrec_epogrigph,k10,a10,u10]=epogrigph(pudamaxano,50)
[pudavelrec_potcmegph,lamda11,k11,a11]=potcmegph(pudamaxdia_sep8,15,19,50)
```

C.2. Código Función "anexo"

```
function anexo(nombreestacion,vectorvelh1991a2005)

maximo=max(vectorvelh1991a2005);

% Funcion de Estadística Básica (revisión de calidad de registros)
% -----

% 1. Graficos Estadística Básica con velocidades horarias

% 1.1 Genera gráfico de serie de tiempo

% Creación vector "ejex" con horas correspondientes a inicio de años 1991 a
% 2005

ejex(1)=0;
ejex(2:15)=365*24;

for i=1:4
    ejex(i*4-1)=366*24;
end

for i=1:15
    if i>1
        ejex(i)=ejex(i)+ejex(i-1);
    else
        ejex(i);
    end
end

% Genero gráfico
figure
subplot(3,2,1)
plot(vectorvelh1991a2005)
title(['a) Velocidades horarias para estación
',nombreestacion],'FontName','AvantGarde Bk BT')
axis([0 length(vectorvelh1991a2005) 0 maximo+1])
xlabel('Año','FontName','AvantGarde Bk BT')
ylabel('Velocidad [nudos]','FontName','AvantGarde Bk BT')
set(gca,'fontsize',8)
set(gca,'xtick',ejex)
set(gca,'XTickLabel',(1991:2005))
set(gca,'FontName','AvantGarde Bk BT')

% 1.2 Histograma de velocidades horarias

% Creación variable "n" con datos porcentuales en cada clase
n=hist(vectorvelh1991a2005,(.5:maximo));
n=n/sum(n)*100;

% Genero histograma
subplot(3,2,3)
bar(.5:maximo),n)
title(['b) Histograma velocidades horarias para estación
',nombreestacion],'FontName','AvantGarde Bk BT')
```



```
axis([0 maximo 0 max(n)*1.1])
xlabel('Velocidad [nudos]', 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')
ylabel('Porcentaje del Total [%]', 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')
set(gca, 'fontsize', 8)
set(gca, 'xtick', (0.5:2:maximo))
set(gca, 'XTickLabel', (1:2:maximo))
set(gca, 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')

% 1.3 Gráfico de contornos de promedios hora/mes

% Creación matriz horas/días
vectorvelhd1991a2005=reshape(vectorvelh1991a2005,24,length(vectorvelh1991a2005
)/24);

% Creación arreglo con el numero de mes correspondiente a cada dia
nmesd=str2num(datestr(datenum(1991,1,1):datenum(2005,12,31),5));

% Cálculo de promedio para cada hora/mes
for nm=1:12,
    velvprommh(:,nm)=nanmean(vectorvelhd1991a2005(:,nmesd==nm))';
end
lim=max(velvprommh);

% Genero gráfico
subplot(3,2,5)
[C,h]=contour(velvprommh,(1:2:lim));
title(['c) Velocidades horarias por mes para estación
',nombreestacion], 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')
xlabel('Mes', 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')
ylabel('Hora UTC', 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')
set(gca, 'fontsize', 8)
set(h, 'ShowText', 'on')
set(gca, 'XTickLabel', ['Ene'; 'Feb'; 'Mar'; 'Abr'; 'May'; 'Jun'; 'Jul'; 'Ago'; 'Sep'; 'O
ct'; 'Nov'; 'Dic'])
set(gca, 'ytick', (0:6:24))
set(gca, 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')

% 2 Gráficos Estadística Básica con velocidades máximas diarias

% determina maximos diarios
maxdia=nanmax(vectorvelhd1991a2005);

% 2.1 Genera gráfico de serie de tiempo
subplot(3,2,2)
plot(maxdia)
axis([0 length(maxdia) 0 maximo+1])
title(['d) Velocidades máximas diarias para estación
',nombreestacion], 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')
xlabel('Año', 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')
ylabel('Velocidad [nudos]', 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')
set(gca, 'fontsize', 8)
set(gca, 'xtick', ejex/24')
set(gca, 'XTickLabel', (1991:2005))
set(gca, 'FontName', 'AvantGarde Bk BT')

% 2.2 Histograma de velocidades máximas diarias
```

```
% Creación variable "n" con datos porcentuales en cada clase
n=hist(maxdia,(.5:maximo));
n=n/sum(n)*100;

% Genero histograma
subplot(3,2,4)
bar(.5:maximo),n)
title(['e) Histograma velocidades máximas diarias para estación
',nombreestacion],'FontName','AvantGarde Bk BT')
axis([0 maximo 0 max(n)*1.1])
xlabel('Velocidad [nudos]','FontName','AvantGarde Bk BT')
ylabel('Porcentaje del Total [%]','FontName','AvantGarde Bk BT')
set(gca,'fontsize',8)
set(gca,'xtick',(0.5:2:maximo))
set(gca,'XTickLabel',(1:2:maximo))
set(gca,'FontName','AvantGarde Bk BT')

% 2.3 Gráfico de cajas con distribución mensual de máximos diarios

% crea matriz con datos mensuales
datosmensuales=nan*ones(31*15,12);

for nmes=1:12,
    nn=find(nmesd==nmes);
    datosmensuales(1:length(nn),nmes)=maxdia(nn)';
end

% Genero gráfico de cajas
subplot(3,2,6)
boxplot(datosmensuales)
title(['f) Velocidades máximas diarias por mes para estación
',nombreestacion],'FontName','AvantGarde Bk BT')
xlabel('Mes','FontName','AvantGarde Bk BT')
ylabel('Velocidad [nudos]','FontName','AvantGarde Bk BT')
set(gca,'XTickLabel',['Ene';'Feb';'Mar';'Abr';'May';'Jun';'Jul';'Ago';'Sep';'O
ct';'Nov';'Dic'])
set(gca,'fontsize',8)
set(gca,'FontName','AvantGarde Bk BT')

% 3. Variables de Tabla Resumen

% Número de Datos Faltantes
ndatfal=sum(isnan(vectorvelh1991a2005))

% Número de Datos Válidos
ndatval=sum(~isnan(vectorvelh1991a2005))

% Estadística de Máximos Diarios
% Velocidad Promedio
velprom=nanmean(maxdia)
% Desviación Estándar
desv=nanstd(maxdia,1)
% Velocidad Máxima
velmax=maximo
```

C.3. Funciones para Generación de Bases de Datos

C.3.1. Código Función "vectormaxdia"

```
function [vectordia]=vectormaxdia(vectorvelh1991a2005)

vectorvelhd1991a2005=reshape(vectorvelh1991a2005,24,length(vectorvelh1991a2005)
)/24);

vectordia=(nanmax(vectorvelhd1991a2005))';
```

C.3.2. Código Función "vectormaxano"

```
function [vectorano]=vectormaxano(vectordia)

nanod=str2num(datestr(datenum(1991,1,1):datenum(2005,12,31),10));

for nano=1991:2005,
    vectorano(nano-1990)=nanmax(vectordia(nanod==nano));
end

vectorano=vectorano';
```

C.3.3. Código Función "matrixmaxmes"

```
function [matrixmes]=matrixmaxmes(vectordia)

nanod=str2num(datestr(datenum(1991,1,1):datenum(2005,12,31),10));
nmesd=str2num(datestr(datenum(1991,1,1):datenum(2005,12,31),5));

for nano=1991:2005,
    for nmes=1:12,
        matrixmes(nano-1990,nmes)=nanmax(vectordia(nanod==nano &
nmesd==nmes));
    end
end

matrixmes;
```

C.3.4. Código Función "interval_sep"¹

```
function [ws_sep, date_time_sep, ind_sep] = interval_sep(ws, date_time,  
interval)  
  
if (length(size(ws))~=2 | length(size(date_time))~=2) || (min(size(ws))~=1 |  
min(size(date_time))~=1) || length(ws)~=length(date_time)  
    error('The first and second input arguments must be vectors with the same  
length');  
end  
  
ws_sep= ws(:);  
date_time_sep = date_time(:);  
ind_sep = reshape(1:length(ws_sep),size(ws_sep));  
  
p = 1; % index  
while p <= length(ws_sep)-1  
    if date_time_sep(p+1) - date_time_sep(p)< interval  
        if ws_sep(p)>= ws_sep(p+1)  
            % keep the pth wind speed, delete the (p+1)th:  
            ws_sep = [ws_sep(1:p);ws_sep(p+2:end)]; % NOTE: if  
p+2>length(ws_sep), then ws_sep(p+2:end) is empty, no error results  
            date_time_sep = [date_time_sep(1:p);date_time_sep(p+2:end)];  
            ind_sep = [ind_sep(1:p);ind_sep(p+2:end)];  
        else  
            % keep the (p+1)th wind speed, delete the pth:  
            if p>1  
                ws_sep = [ws_sep(1:p-1);ws_sep(p+1:end)];  
                date_time_sep = [date_time_sep(1:p-1);date_time_sep(p+1:end)];  
                ind_sep = [ind_sep(1:p-1);ind_sep(p+1:end)];  
            else  
                ws_sep = ws_sep(2:end);  
                date_time_sep = date_time_sep(2:end);  
                ind_sep = ind_sep(2:end);  
            end  
        end  
        p = p+1;  
    end  
end
```

Nota:

¹: Función descargada del sitio web: http://www.itl.nist.gov/div898/winds/asos-wx/m-files/interval_sep.m

C.4. Funciones para Cálculo de Velocidades de Retorno

C.4.1. Código Función “mesgummom”

```
function [vel,k,a,u]=mesgummom(matrixNxM,per_ret);

nanos=size(matrixNxM,1);
Xpromj=nanmean(matrixNxM);
Xpromjmat= repmat(Xpromj,[nanos 1]);
matrixpaso=(matrixNxM-Xpromjmat).^2;
% Ojo con el PUNTO anterior!!!
Sp=(1/(12*nanos)*nansum(matrixpaso(:)))^0.5;
Teta=6^.5/pi*Sp;
Ej=Xpromj-Teta*0.57722;

k=0;
a=Teta;
u=a*log(sum(exp(Ej/a)));

vel=u-a*log(-log(1-1/(per_ret+1)));
```

C.4.2. Código Función “epowblmom”

```
function [vel,k,a,u]=epowblmom(max_ano,per_ret)

vmedia=nanmean(max_ano);
stddes=nanstd(max_ano,1);

k=0.1;
sw=stddes/(gamma(1+2*k)-(gamma(1+k))^2)^0.5;
uw=vmedia+sw*gamma(1+k);

k=0.1;
a=sw*k;
u=uw-sw;

if k > 0
    'Weibull'
elseif k == 0
    'Gumbel'
else
    'Frechet'
end

vel=u+a/k*(1-(-log(1-1/per_ret))^k);
```

C.4.3. Código Función “epogummom”

```
function [vel,k,a,u]=epogummom(max_ano,per_ret)

vmedia=nanmean(max_ano);
stddes=nanstd(max_ano,1);
```

```
k=0;
a=6^0.5/pi*stddes;
u=vmedia-0.5772*a;

vel=u-a*log(-log(1-1/per_ret));
```

C.4.4. Código Función “epogumlkh”

```
function [vel,k,a,u]=epogumlkh(max_ano,per_ret)

PARMHAT = evfit(-max_ano);

k=0;
a=PARMHAT(2);
u=-PARMHAT(1);

vel=u-a*log(-log(1-1/per_ret));
```

C.4.5. Código Función “epogevpwm”

```
function [vel,k,a,u]=epogevpwm(max_ano,per_ret)

n=length(max_ano);
max_ano=sort(max_ano);

b0=nanmean(max_ano);
for i=1:n
    b1(i)=((i-1)*max_ano(i))/(n*(n-1));
end
b1=sum(b1);
for j=2:n
    b2(j)=((j-1)*(j-2)*max_ano(j))/(n*(n-1)*(n-2));
end
b2=sum(b2);
c=(2*b1-b0)/(3*b2-b0)-log(2)/log(3);

k=7.859*c+2.9554*c^2;
a=((2*b1-b0)*k)/(gamma(1+k)*(1-2^(-k)));
u=b0+(a*(gamma(1+k)-1))/k;

if abs(k)<0.5
    if k > 0
        'Weibull'
    elseif k == 0
        'Gumbel'
    else
        'Frechet'
    end
    vel=u+a/k*(1-(-log(1-1/per_ret))^k);
else
    vel='No válida pues |k|>=0.5';
end
```

C.4.6. Código Función “epogevlkh”

```
function [vel,k,a,u]=epogevlkh(max_ano,per_ret)

PARMHAT = gevfit(max_ano);

k=-PARMHAT(1);
a=PARMHAT(2);
u=PARMHAT(3);

if k > 0
    'Weibull'
elseif k == 0
    'Gumbel'
else
    'Frechet'
end

vel=u+a/k*(1-(-log(1-1/per_ret))^k);
```

C.4.7. Código Función “potgpdhaa”

```
function [vel,lamda,k,a]=potgpdhaa(maxdia_sep,umbral,anos,per_ret);

maxdia_sep_umbral=maxdia_sep(maxdia_sep>umbral);
maxdia_sep_umbral=sort(maxdia_sep_umbral,'descend');
largo=length(maxdia_sep_umbral);
lamda=largo/anos;
maxdia_sep_umbral(largo+1)=umbral;

% Cálculo de Mn1
for i=1:largo
vector1(i)=(log(maxdia_sep_umbral(i))-log(maxdia_sep_umbral(largo+1)))^1;
end
Mn1=1/largo*sum(vector1);

% Cálculo de Mn2
for i=1:largo
vector2(i)=(log(maxdia_sep_umbral(i))-log(maxdia_sep_umbral(largo+1)))^2;
end
Mn2=1/largo*sum(vector2);

c=Mn1+1-1/(2*(1-Mn1^2/Mn2));
if c >= 0
    p1=1;
else
    p1=1/(1-c);
end

k=-c;
a=umbral*Mn1/p1;

vel=umbral+a/k*(1-(lamda*per_ret)^(-k));
```

C.4.8. Código Función “potgpdikh”

```
function [vel, lamda, k, a]=potgpdikh(maxdia_sep, umbral, nanos, per_ret);

maxdia_sep_umbral=maxdia_sep(maxdia_sep>umbral);
maxdia_sep_umbral=sort(maxdia_sep_umbral);
largo=length(maxdia_sep_umbral);
lamda=largo/nanos;
excesos=maxdia_sep_umbral-umbral;

PARMHAT = gpfit(excesos);
c=PARMHAT(1);
a=PARMHAT(2);

k=-c;
a=PARMHAT(2);

vel=umbral+a/k*(1-(lamda*per_ret)^(-k));
```

C.4.9. Código Función “epogumgph”

```
function [vel, k, a, u]=epogumgph(max_ano, per_ret)

max_ano_ord=sort(max_ano);
p=(1:length(max_ano_ord))'/(length(max_ano_ord)+1);
y=-log(-log(p));

P = POLYFIT(y, max_ano_ord, 1);

k=0;
a=P(1);
u=P(2);

vel=u-a*log(-log(1-1/per_ret));
```

C.4.10. Código Función “epogrigph”

```
function [vel, k, a, u]=epogrigph(max_ano, per_ret)

max_ano_ord=sort(max_ano);
p=((1:length(max_ano_ord))'-0.4)/(length(max_ano_ord)+0.12);
y=-log(-log(p));

P = POLYFIT(y, max_ano_ord, 1);

k=0;
a=P(1);
u=P(2);

vel=u-a*log(-log(1-1/per_ret));
```


C.4.11. Código Función “epogrigph”

```
function [vel, lamda, k, a]=potcmeqph(maxdia_sep, umbral, nanos, per_ret)

maxdia_sep_umbral=maxdia_sep(maxdia_sep>umbral);
maxdia_sep_umbral=sort(maxdia_sep_umbral);
largo=length(maxdia_sep_umbral);
lamda=largo/nanos;
minimo=min(maxdia_sep_umbral);
datos=length(maxdia_sep_umbral(maxdia_sep_umbral>minimo));

for i=1:largo
    if datos>=1
        u(i)=maxdia_sep_umbral(i);
        nrodatos(i)=length(maxdia_sep_umbral(maxdia_sep_umbral>u(i)));
        cme(i)=(sum(maxdia_sep_umbral(maxdia_sep_umbral>u(i))-u(i)))/nrodatos(i);
        datos=length(maxdia_sep_umbral(maxdia_sep_umbral>maxdia_sep_umbral(i+1)));
    end
end

u_recl=u(u>=16);
u_rec=u_recl(u_recl<=19);
x_rec=(7:28);
cme_recl=cme((u>=16));
cme_rec=cme_recl(u_recl<=19);
P = POLYFIT(u_rec, cme_rec, 1);
y_rec=P(1).*x_rec+P(2);

k=-P(1)/(P(1)+1);
a=P(2)*(1+k);

% Verificaciones CME página NIST
c=-k;
if c<1
    ver1='(c<1) OK'
else
    ver1='c>1'
end

if (a+umbral*c)>0
    ver2='(a+umbral*c>0) OK'
else
    ver2='a+umbral*c<0'
end

% Verificaciones CME de acuerdo a GPD
if k>0
    max=num2str(a/k);
    ver3=['0<excesos<', max]
else
    ver3='0<excesos<infinito'
end

vel=minimo+a/k*(1-(lamda*per_ret)^(-k));
```

APÉNDICE D: FIGURAS EXTRAÍDAS DE NORMAS NCh432.Of71 Y ASCE 7-05

En este apéndice se muestran aquellas las figuras extraídas de las normas NCh432.Of71 y ASCE 7-05, que fueron referenciadas en el cuerpo del presente trabajo de título de modo de generar un documento autoreferente. Se comienza por presentar las figuras de la norma chilena NCh432.Of71, continuando con las figuras extraídas de la norma americana ASCE 7-05.

D.1. Figuras Extraídas de NCh432.Of71

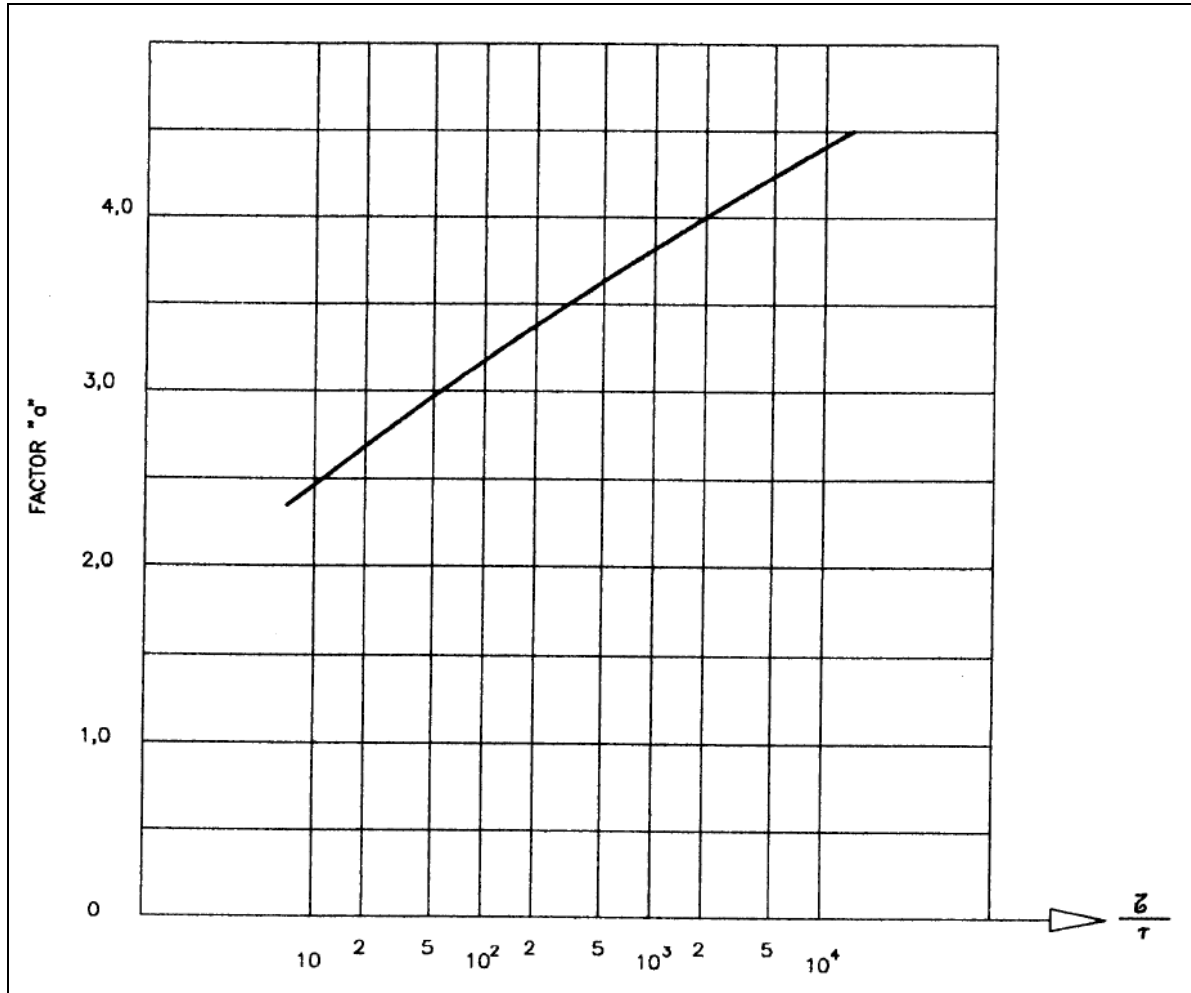


Figura D.1: Factor "a" del efecto ráfaga de norma chilena. (Figura 2 de Anexo A de norma NCh432.Of71).

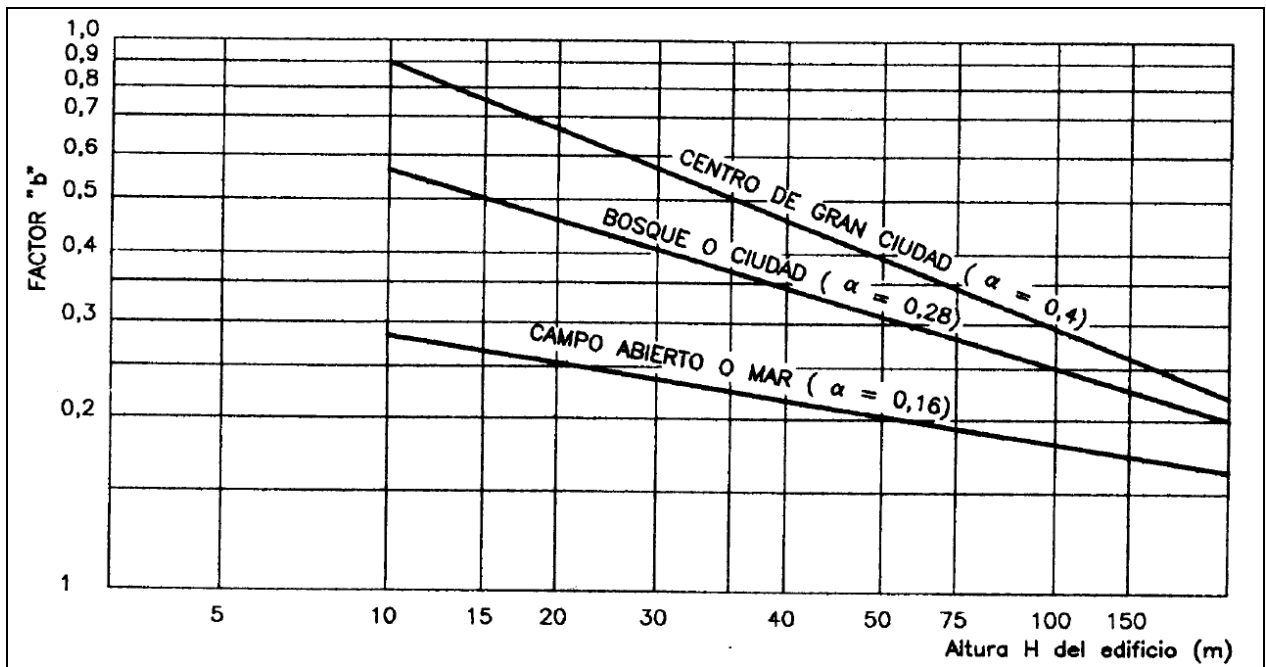


Figura D.2: Factor "b" del efecto ráfaga de norma chilena. (Figura 3 de Anexo A de norma NCh432.Of71).

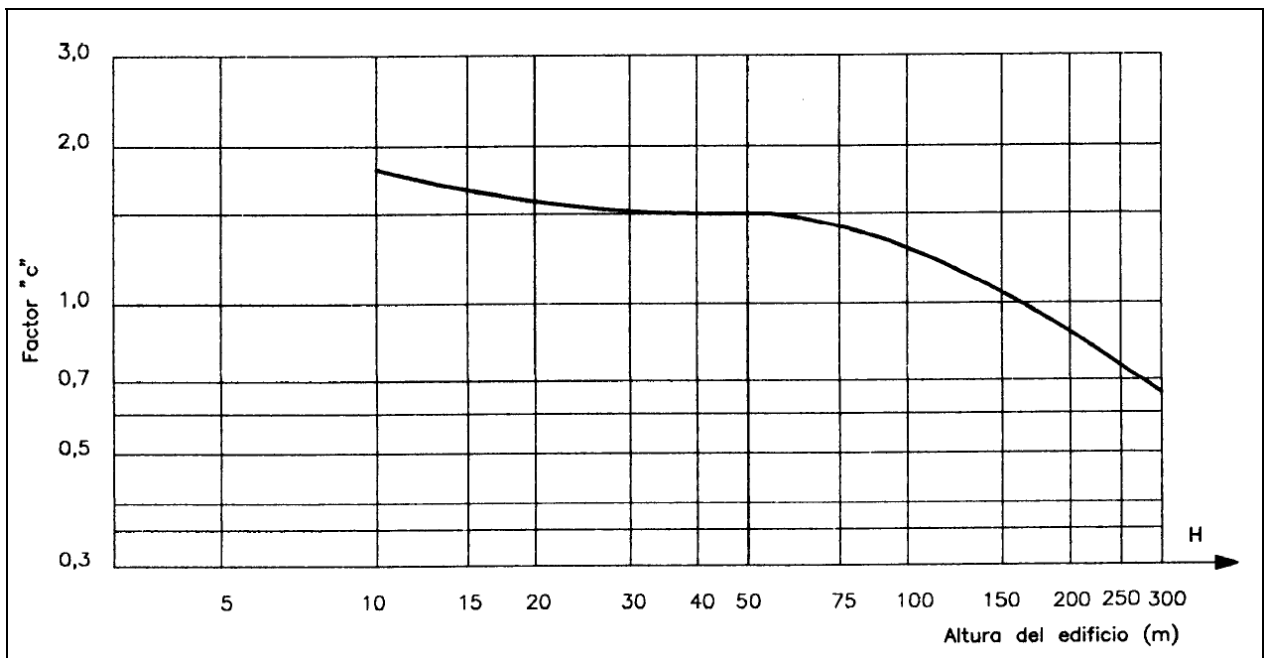


Figura D.3: Factor "c" del efecto ráfaga de norma chilena. (Figura 4 de Anexo A de norma NCh432.Of71).

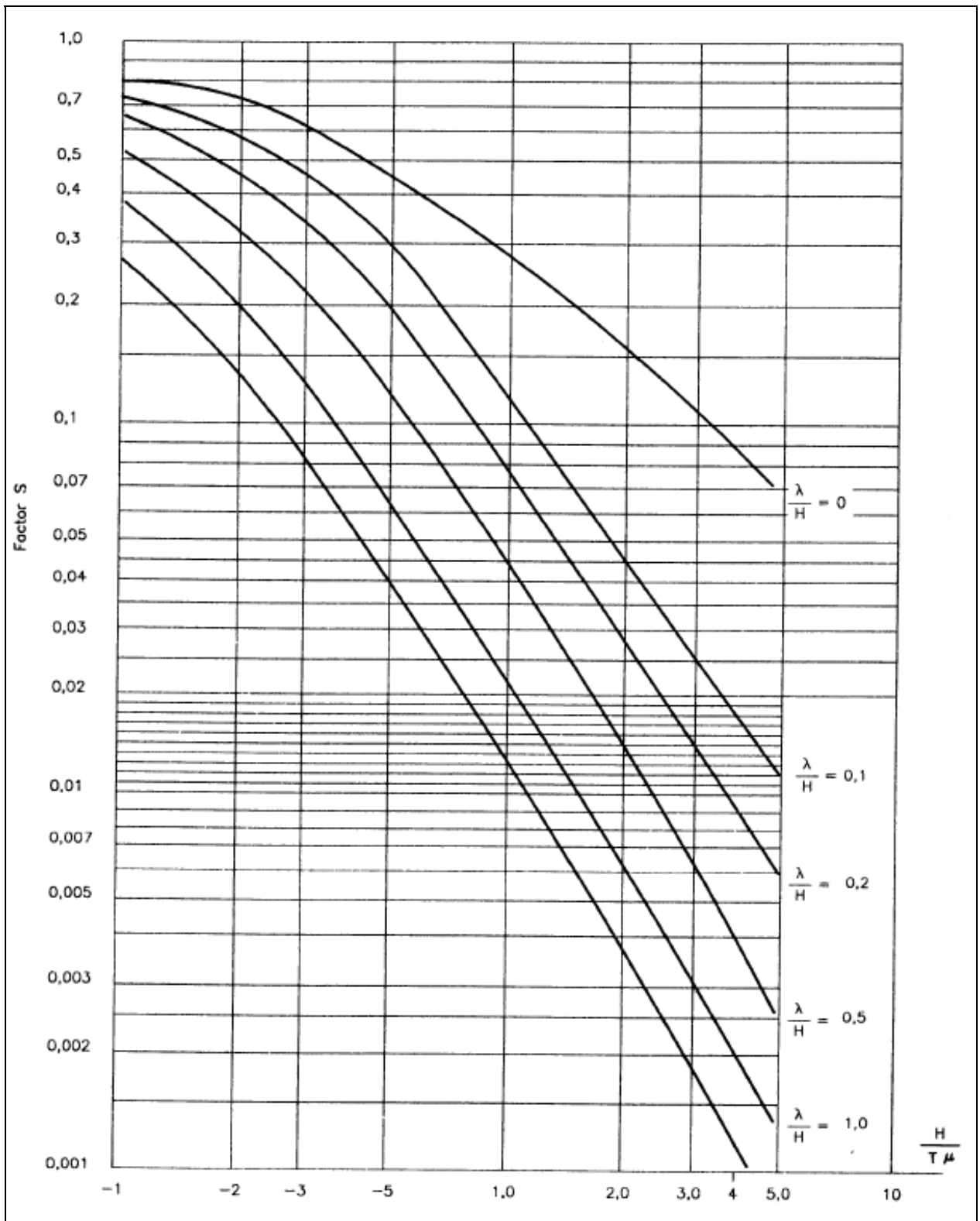


Figura D.4: Parámetro "S" del factor "d" del efecto ráfaga de norma chilena. (Figura 5 de Anexo A de norma NCh432.Of71).

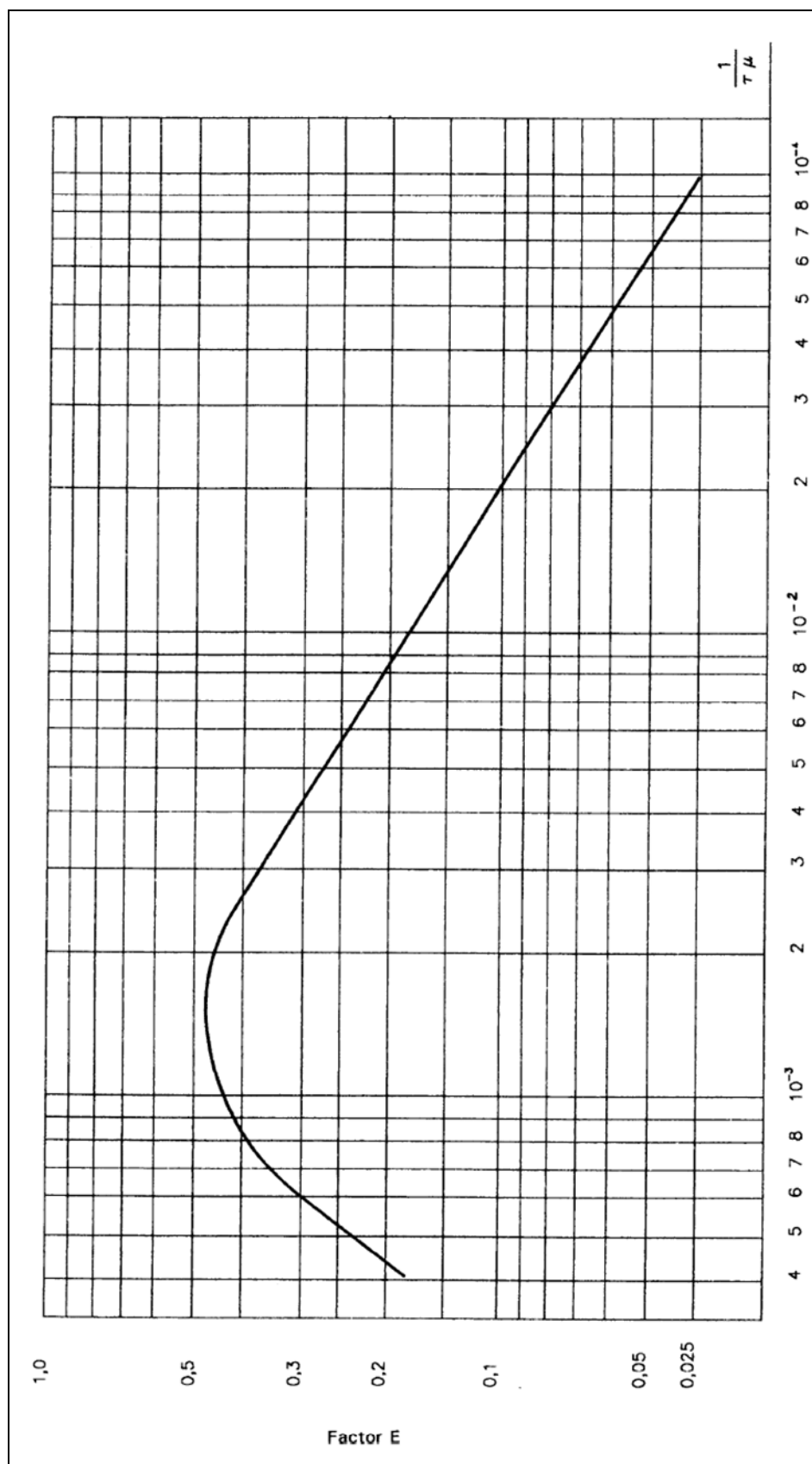


Figura D.5: Parámetro "E" del factor "d" del efecto ráfaga de norma chilena. (Figura 6 de Anexo A de norma NCh432.Of71).

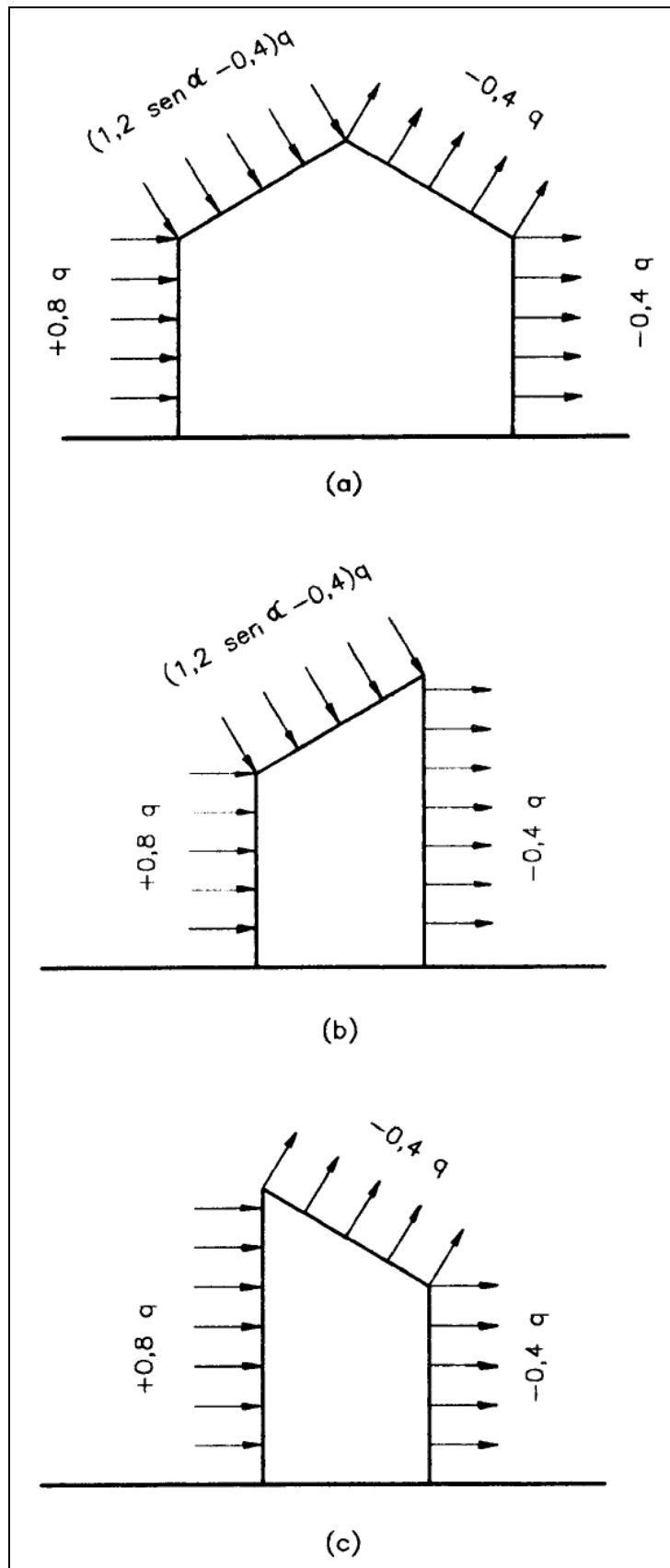


Figura D.6: Factor de Forma para estructuras cerradas según norma chilena. [Figura 9 de Anexo A de norma NCh432.Of71].

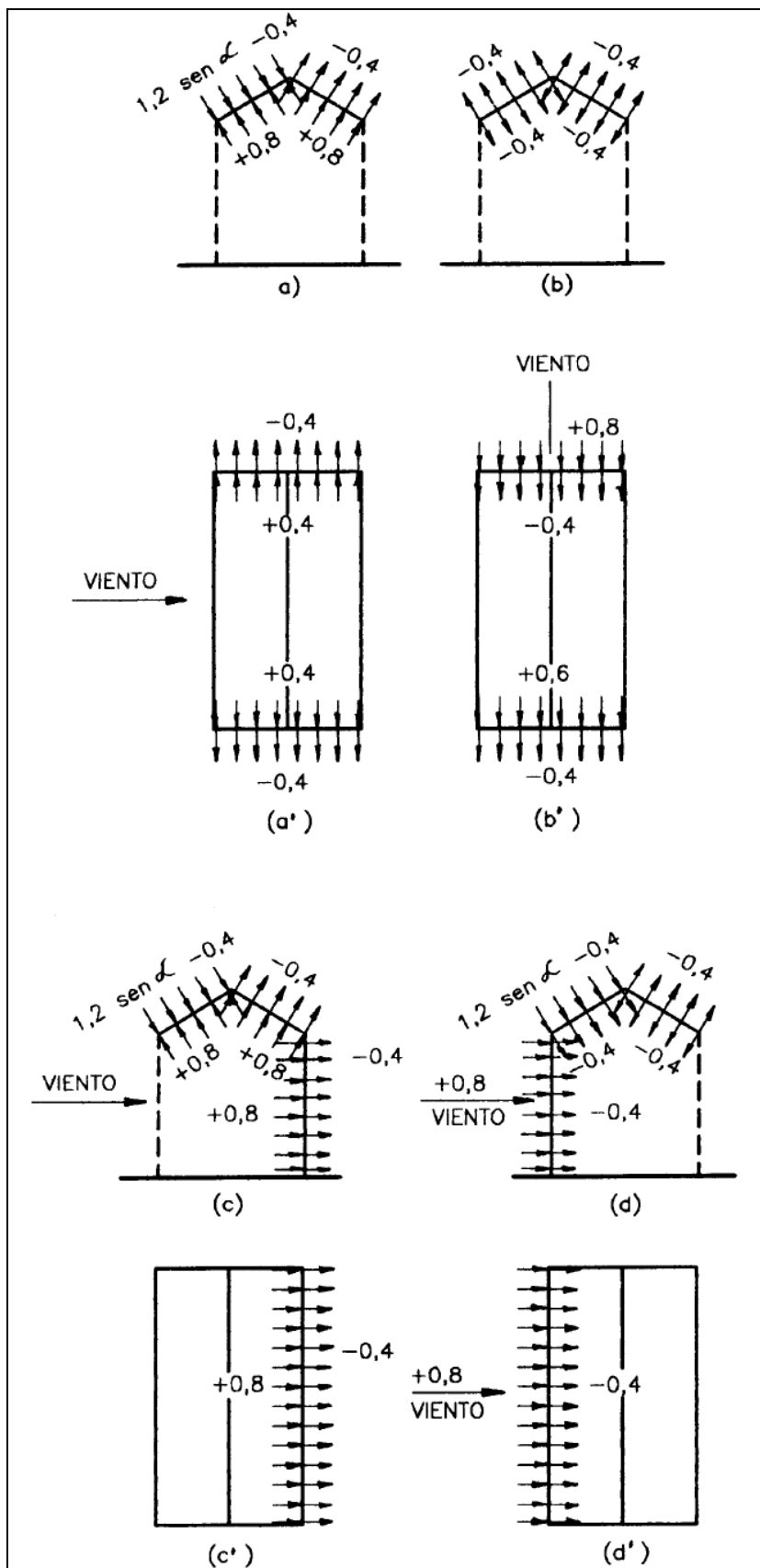


Figura D.7: Factor de Forma para estructuras abiertas según norma chilena. (Figura 10 de Anexo A de norma NCh432.Of71).

D.2. Figuras Extraídas ASCE 7-05

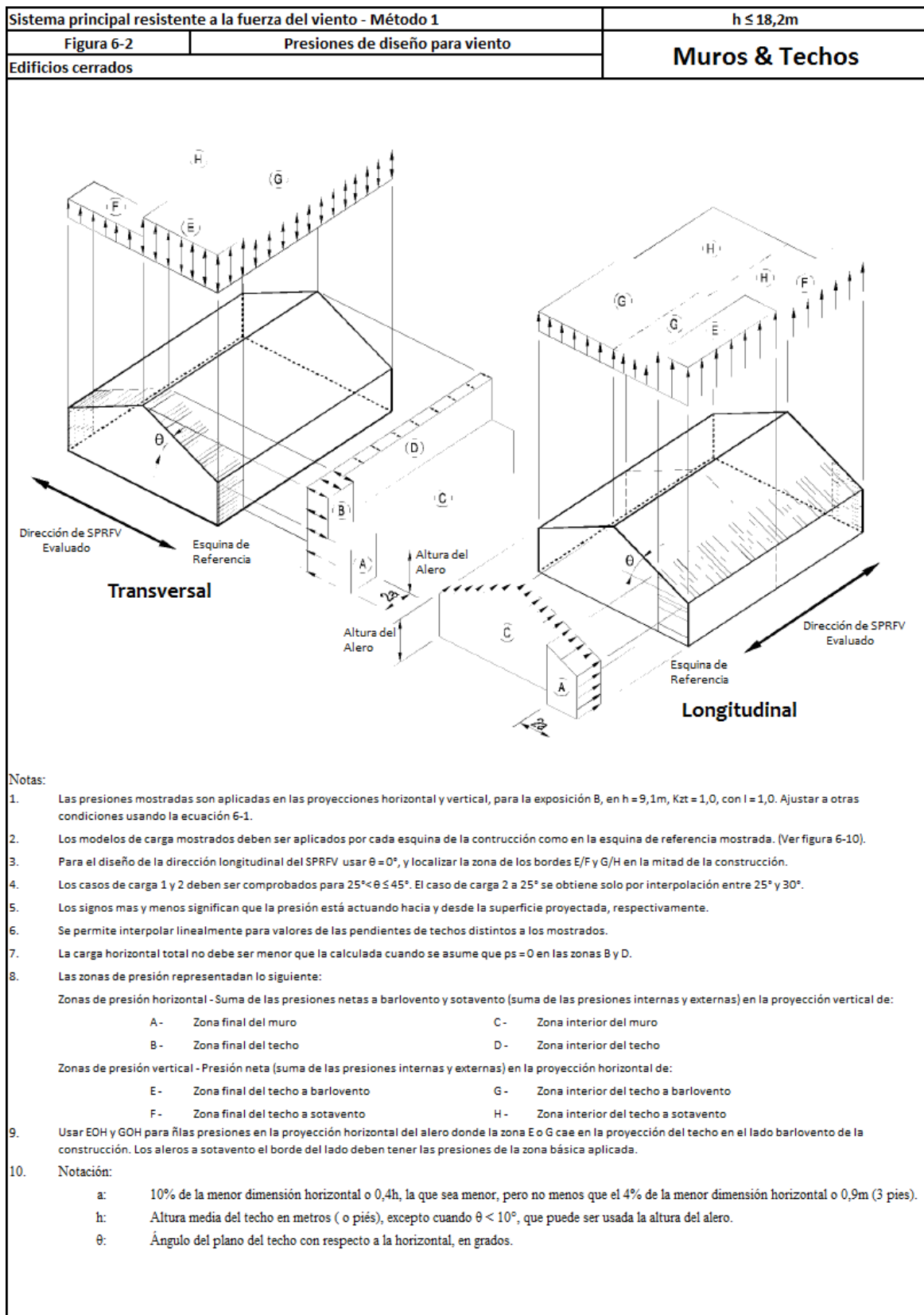


Figura D.8: Identificación y valores de cargas p_{S30} sobre SPRFV de estructura de acuerdo a Procedimiento Simplificado. (Figura 6-2 de norma ASCE 7-05).

Sistema principal resistente a la fuerza del viento - Método 1										h ≤ 18,2m			
Figura 6-2 (continuación)			Presiones de diseño para viento							Muros & Techos			
Edificios cerrados													
Presión simplificada de diseño, p_{s30} (kgf/m ²) (Exposición B a h = 10m, $K_{zt} = 1,0$, con $l = 1,0$)													
Velocidad Básica del Viento (m/s)	Ángulo del Techo (grados)	Cao de Carga	Zonas										
			Presiones Horizontales				Presiones Verticales				Aleros		
			A	B	C	D	E	F	G	H	E _{OH}	G _{OH}	
38,0	0° a 5°	1	56,2	-28,8	37,1	-17,1	-67,5	-38,1	-46,9	-29,8	-94,3	-73,8	
	10°	1	63,1	-26,4	42,0	-15,2	-67,5	-41,1	-46,9	-31,8	-94,3	-73,8	
	15°	1	70,4	-23,5	46,9	-13,2	-67,5	-44,0	-46,9	-33,7	-94,3	-73,8	
	20°	1	77,7	-20,5	51,8	-11,2	-67,5	-46,9	-46,9	-35,7	-94,3	-73,8	
	25°	1	70,4	11,2	50,8	11,7	-31,3	-42,5	-22,5	-34,2	-58,2	-49,4	
		2	-----	-----	-----	-----	-11,7	-23,0	-3,4	-14,7	-----	-----	
40,2	0° a 5°	1	62,6	-32,7	41,5	-19,6	-75,3	-43,0	-52,3	-33,2	-105,6	-82,6	
	10°	1	70,9	-29,3	46,9	-17,1	-75,3	-45,9	-52,3	-35,2	-105,6	-82,6	
	15°	1	78,7	-26,4	52,3	-14,7	-75,3	-49,4	-52,3	-37,6	-105,6	-82,6	
	20°	1	87,0	-23,0	58,2	-12,7	-75,3	-52,3	-52,3	-39,6	-105,6	-82,6	
	25°	1	78,7	12,7	57,2	13,2	-35,2	-47,9	-25,4	-38,1	-65,0	-55,7	
		2	-----	-----	-----	-----	-13,2	-25,9	-3,4	-16,6	-----	-----	
44,7	0° a 5°	1	77,7	-40,1	51,3	-23,9	-93,4	-52,8	-65,0	-41,1	-130,5	-102,2	
	10°	1	87,5	-36,2	58,2	-21,0	-93,4	-56,7	-65,0	-43,5	-130,5	-102,2	
	15°	1	97,3	-32,3	65,0	-18,6	-93,4	-60,6	-65,0	-46,4	-130,5	-102,2	
	20°	1	107,5	-28,3	71,4	-15,6	-93,4	-65,0	-65,0	-49,4	-130,5	-102,2	
	25°	1	97,3	15,6	70,4	16,1	-43,0	-58,7	-31,3	-47,4	-80,6	-68,4	
		2	-----	-----	-----	-----	-16,6	-32,3	-4,4	-20,5	-----	-----	
46,9	0° a 5°	1	85,5	-44,0	56,7	-26,4	-103,1	-58,2	-71,8	-45,5	-143,7	-112,4	
	10°	1	96,3	-40,1	64,0	-23,0	-103,1	-62,6	-71,8	-47,9	-143,7	-112,4	
	15°	1	107,0	-35,7	71,8	-20,5	-103,1	-67,0	-71,8	-51,3	-143,7	-112,4	
	20°	1	118,8	-41,1	78,7	-17,1	-103,1	-71,8	-71,8	-54,3	-143,7	-112,4	
	25°	1	107,0	17,1	77,7	17,1	-47,4	-64,5	-34,7	-52,3	-89,0	-75,3	
		2	-----	-----	-----	-----	-18,1	-35,7	-4,9	-22,5	-----	-----	
49,2	0° a 5°	1	95,8	66,0	76,7	52,8	7,3	-58,2	2,9	-50,3	-33,7	-38,6	
	10°	1	95,8	66,0	76,7	52,8	37,1	-28,3	31,8	-20,5	-33,7	-38,6	
	15°	1	93,8	-48,9	62,1	-28,8	-112,9	-64,0	-78,2	-49,4	-157,9	-123,7	
	20°	1	105,6	-44,0	70,4	-25,4	-112,9	-68,9	-78,2	-52,8	-157,9	-123,7	
	25°	1	117,8	-39,1	78,2	-22,5	-112,9	-73,8	-78,2	-56,2	-157,9	-123,7	
		2	117,8	19,1	85,0	19,6	-52,3	-71,4	-37,6	-57,2	-97,3	-83,1	
53,6	0° a 5°	1	111,4	-58,2	73,8	-34,2	-133,9	-76,2	-93,4	-59,1	-187,7	-147,1	
	10°	1	126,1	-52,3	83,6	-30,3	-133,9	-82,1	-93,4	-63,1	-187,7	-147,1	
	15°	1	140,3	-46,4	93,4	-26,4	-133,9	-87,5	-93,4	-67,0	-187,7	-147,1	
	20°	1	154,5	-40,6	103,1	-22,5	-133,9	-93,4	-93,4	-70,9	-187,7	-147,1	
	25°	1	139,8	22,5	101,2	23,0	-62,1	-84,6	-45,0	-67,9	-115,8	-98,7	
		2	-----	-----	-----	-----	-23,5	-45,9	-6,4	-29,3	-----	-----	
30° a 45°	1	125,6	86,0	99,7	68,4	97,8	-76,2	3,4	-65,5	-44,0	-50,3		
	2	125,6	86,0	99,7	68,4	48,4	-37,6	42,0	-26,9	-44,0	-50,3		

Figura D.8 (continuación): Identificación y valores de cargas p_{s30} sobre SPRFV de estructura de acuerdo a Procedimiento Simplificado. (Figura 6-2 de norma ASCE 7-05).

Sistema principal resistente a la fuerza del viento - Método 1										h ≤ 18,2m		
Figura 6-2 (continuación)			Presiones de diseño para viento							Muros & Techos		
Edificios cerrados												
Presión simplificada de diseño, p_{s30} (kgf/m ²) (Exposición B a h = 10m, $K_{zt} = 1,0$, con $l = 1,0$)												
Velocidad Básica del Viento (m/s)	Ángulo del Techo (grados)	Caso de Carga	Zonas									
			Presiones Horizontales				Presiones Verticales				Aleros	
			A	B	C	D	E	F	G	H	E _{OH}	G _{OH}
55,9	0° a 5°	1	120,7	-63,1	80,2	-37,1	-145,2	-82,6	-101,2	-64,0	-203,8	-159,8
	10°	1	136,9	-56,7	90,9	-32,7	-145,2	-89,0	-101,2	-68,4	-203,8	-159,8
	15°	1	152,0	-50,3	101,2	-28,8	-145,2	-94,8	-101,2	-72,8	-203,8	-159,8
	20°	1	167,6	-44,0	111,9	-24,4	-145,2	-101,2	-101,2	-76,7	-203,8	-159,8
	25°	1	151,5	24,4	110,0	24,9	-67,5	-91,9	-48,9	-73,8	-125,6	-107,0
		2	-----	-----	-----	-----	-25,4	-49,9	-6,8	-31,8	-----	-----
58,1	0° a 5°	1	131,0	-67,9	87,0	-40,1	-157,4	-89,4	-109,5	-69,4	-220,4	-172,5
	10°	1	147,6	-61,1	98,2	-35,7	-157,4	-96,3	-109,5	-73,8	-220,4	-172,5
	15°	1	164,7	-54,7	109,5	-31,3	-157,4	-102,6	-109,5	-78,7	-220,4	-172,5
	20°	1	181,3	-47,9	120,7	-26,4	-157,4	-109,5	-109,5	-83,1	-220,4	-172,5
	25°	1	164,2	26,4	118,8	26,9	-72,8	-99,7	-52,8	-80,2	-135,9	-115,8
		2	-----	-----	-----	-----	-27,9	-54,3	-7,3	-34,7	-----	-----
62,6	0° a 5°	1	152,0	-78,7	100,7	-46,9	-182,3	-103,6	-127,1	-80,2	-255,6	-199,9
	10°	1	173,5	-70,9	113,9	-41,5	-182,3	-111,4	-127,1	-85,5	-255,6	-199,9
	15°	1	190,6	-63,1	127,1	-36,2	-182,3	-119,3	-127,1	-90,9	-255,6	-199,9
	20°	1	210,2	-55,7	140,3	-30,8	-182,3	-127,1	-127,1	-96,3	-255,6	-199,9
	25°	1	190,6	30,8	137,8	31,3	-84,6	-115,4	-61,1	-92,9	-157,9	-134,4
		2	-----	-----	-----	-----	-32,3	-62,6	-8,8	-40,1	-----	-----
64,8	0° a 5°	1	163,3	-84,6	108,0	-50,3	-195,5	-111,0	-136,4	-86,0	-274,2	-214,6
	10°	1	184,3	-76,2	122,2	-44,5	-195,5	-119,7	-136,4	-91,9	-274,2	-214,6
	15°	1	204,3	-67,5	136,4	-38,6	-195,5	-128,1	-136,4	-97,8	-274,2	-214,6
	20°	1	225,3	-59,6	150,5	-33,2	-195,5	-135,4	-136,4	-103,1	-274,2	-214,6
	25°	1	204,3	33,2	148,1	33,7	-90,9	-123,7	-65,5	-99,7	-169,1	-144,2
		2	-----	-----	-----	-----	-34,7	-67,0	-9,3	-43,0	-----	-----
67,1	0° a 5°	1	171,1	116,8	135,9	93,4	13,2	-103,6	4,4	-89,0	-60,1	-68,4
	30° a 45°	1	171,1	116,8	135,9	93,4	65,5	-51,3	57,2	-36,7	-60,1	-68,4
		2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0° a 5°	1	174,5	-90,4	115,8	-53,8	-209,7	-119,3	-145,7	-92,4	-293,3	-229,7
	10°	1	196,5	-81,6	131,0	-47,4	-209,7	-128,1	-145,7	-98,2	-293,3	-229,7
	15°	1	219,0	-72,8	145,7	-41,5	-209,7	-136,9	-145,7	-104,6	-293,3	-229,7
20°	1	241,5	-63,5	160,8	-35,2	-209,7	-145,7	-145,7	-110,5	-293,3	-229,7	
25°	1	219,0	35,2	158,4	36,2	-97,3	-132,5	-70,4	-106,6	-180,8	-154,5	
	2	-----	-----	-----	-----	-36,7	-71,8	-10,3	-45,9	-----	-----	
76,0	0° a 5°	1	196,0	133,9	155,9	107,5	15,2	-119,3	4,9	-102,2	-68,9	-78,7
	30° a 45°	1	196,0	133,9	155,9	107,5	75,3	-58,7	65,5	-42,0	-68,9	-78,7
		2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	0° a 5°	1	223,9	-116,3	148,6	-68,9	-269,3	-153,0	-187,2	-118,3	-376,8	-295,2
	10°	1	252,7	-104,6	168,1	-61,1	-269,3	-164,2	-187,2	-126,1	-376,8	-295,2
	15°	1	281,5	-93,4	187,2	-53,3	-269,3	-176,0	-187,2	-134,4	-376,8	-295,2
20°	1	309,9	-81,6	206,8	-45,5	-269,3	-187,2	-187,2	-142,2	-376,8	-295,2	
25°	1	281,0	45,5	203,3	46,4	-125,1	-170,1	-90,4	-136,9	-232,7	-198,0	
	2	-----	-----	-----	-----	-47,4	-92,4	-12,7	-59,1	-----	-----	
30° a 45°	1	249,8	172,0	200,4	137,8	19,6	-153,0	6,4	-131,5	-88,5	-101,2	
	2	249,8	172,0	200,4	137,8	96,8	-75,3	84,1	-53,8	-88,5	-101,2	

Figura D.8 (continuación): Identificación y valores de cargas p_{s30} sobre SPRFV de estructura de acuerdo a Procedimiento Simplificado. (Figura 6-2 de norma ASCE 7-05).

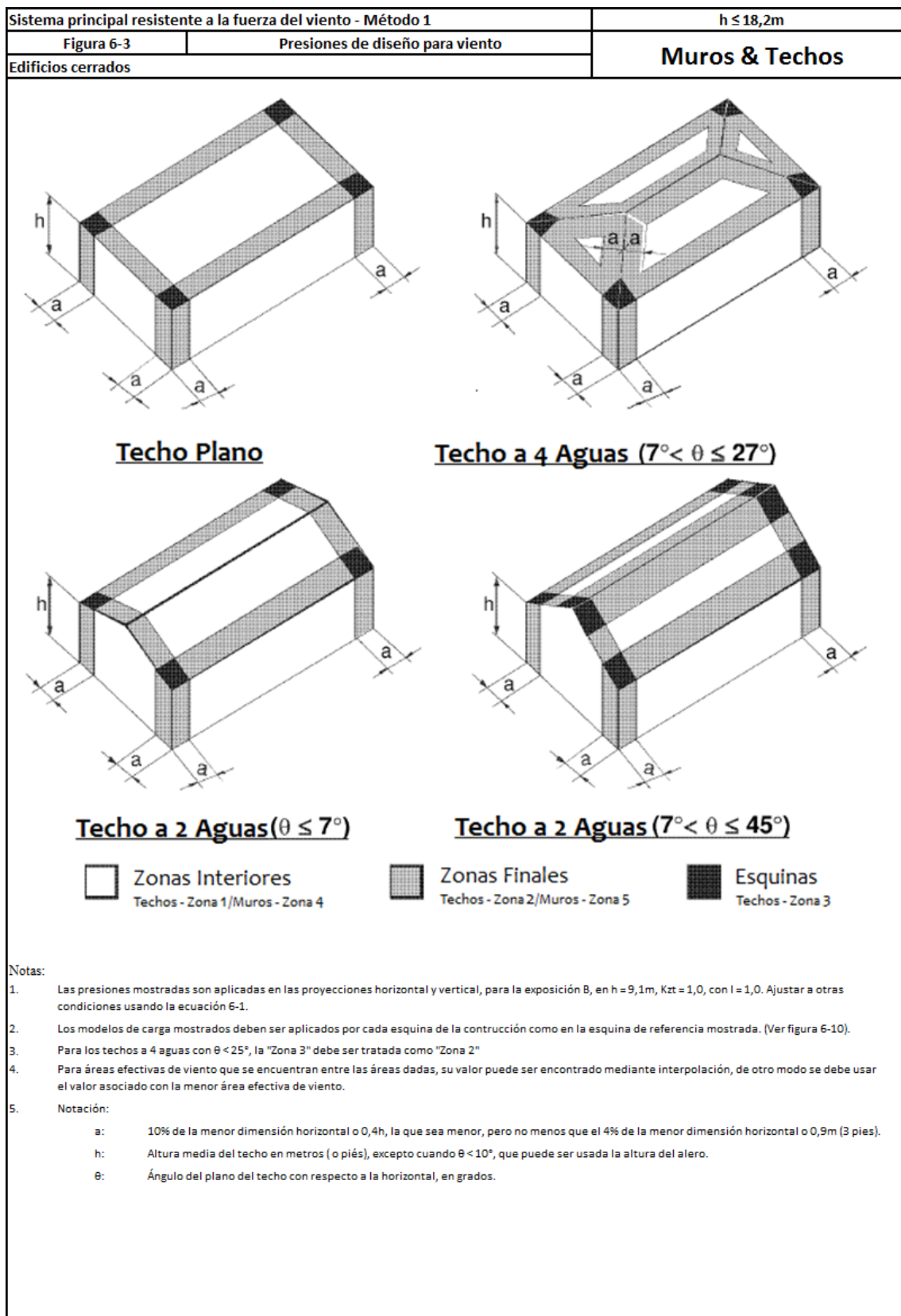


Figura D.9: Identificación y valores de cargas p_{net30} sobre componentes y revestimientos de estructura de acuerdo a Procedimiento Simplificado. (Figura 6-3 de norma ASCE 7-05).

Componentes y Revestimientos - Método 1										h ≤ 18,2m				
Figura 6-3 (continuación)			Presiones Netas de Diseño para Viento							Muros & Techos				
Edificios cerrados														
Presiones Netas de Diseño para Viento, p_{s30} (kgf/m ²) (Exposición B en h = 10m, $K_{zt} = 1,0$, con $I = 1,0$)														
	Zona	Area Efectiva de Viento (m ²)	Velocidad Básica del Viento (m/s)											
			38,0		40,2		44,7		46,9		49,2		53,6	
Techo de 0 a 7 grados	1	0,9	2,4	-5,8	2,6	-6,5	3,3	-8,0	3,6	-8,9	4,0	-9,7	4,7	-11,6
	1	1,9	2,2	-5,7	2,5	-6,3	3,1	-7,8	3,4	-8,6	3,7	-9,5	4,4	-11,3
	1	4,6	2,0	-5,5	2,3	-6,1	2,8	-7,6	3,1	-8,4	3,4	-9,2	4,0	-10,9
	1	9,3	1,9	-5,3	2,1	-5,9	2,6	-7,4	2,9	-8,1	3,1	-8,9	3,7	-10,6
	2	0,9	2,4	-9,7	2,6	-10,9	3,3	-13,5	3,6	-14,9	4,0	-16,3	4,7	-19,4
	2	1,9	2,2	-8,7	2,5	-9,7	3,1	-12,1	3,4	-13,3	3,7	-14,6	4,4	-17,3
	2	4,6	2,0	-7,3	2,3	-8,2	2,8	-10,1	3,1	-11,2	3,4	-12,3	4,0	-14,6
	2	9,3	1,9	-6,3	2,1	-7,1	2,6	-8,7	2,9	-9,6	3,1	-10,5	3,7	-12,6
	3	0,9	2,4	-14,7	2,6	-16,4	3,3	-20,3	3,6	-22,4	4,0	-24,6	4,7	-29,2
	3	1,9	2,2	-12,2	2,5	-13,6	3,1	-16,8	3,4	-18,6	3,7	-20,3	4,4	-24,2
	3	4,6	2,0	-8,8	2,3	-9,9	2,8	-12,2	3,1	-13,5	3,4	-14,8	4,0	-17,6
	3	9,3	1,9	-6,3	2,1	-7,1	2,6	-8,7	2,9	-9,6	3,1	-10,5	3,7	-12,6
Techo de > 7 a 27 grados	1	0,9	3,4	-5,3	3,8	-5,9	4,6	-7,4	5,1	-8,1	5,6	-8,9	6,7	-10,6
	1	1,9	3,0	-5,2	3,4	-5,8	4,2	-7,2	4,6	-7,9	5,1	-8,7	6,1	-10,3
	1	4,6	2,7	-5,0	3,0	-5,6	3,7	-6,9	4,1	-7,6	4,5	-8,3	5,3	-9,9
	1	9,3	2,4	-4,8	2,6	-5,4	3,3	-6,7	3,6	-7,4	4,0	-8,1	4,7	-9,6
	2	0,9	3,4	-9,3	3,8	-10,4	4,6	-12,8	5,1	-14,1	5,6	-15,5	6,7	-18,5
	2	1,9	3,0	-8,5	3,4	-9,6	4,2	-11,8	4,6	-13,0	5,1	-14,3	6,1	-17,0
	2	4,6	2,7	-7,6	3,0	-8,4	3,7	-10,4	4,1	-11,5	4,5	-12,6	5,3	-15,0
	2	9,3	2,4	-6,8	2,6	-7,6	3,3	-9,4	3,6	-10,4	4,0	-11,4	4,7	-13,5
	3	0,9	3,4	-13,7	3,8	-15,3	4,6	-19,0	5,1	-20,9	5,6	-22,9	6,7	-27,3
	3	1,9	3,0	-12,8	3,4	-14,3	4,2	-17,7	4,6	-19,5	5,1	-21,4	6,1	-25,5
	3	4,6	2,7	-11,6	3,0	-13,0	3,7	-16,1	4,1	-17,7	4,5	-19,4	5,3	-23,2
	3	9,3	2,4	-10,7	2,6	-12,0	3,3	-14,8	3,6	-16,4	4,0	-18,0	4,7	-21,4
Techo de > 27 a 45 grados	1	0,9	5,3	-5,8	5,9	-6,5	7,4	-8,0	8,1	-8,9	8,9	-9,7	10,6	-11,6
	1	1,9	5,2	-5,5	5,8	-6,2	7,2	-7,6	7,9	-8,4	8,7	-9,3	10,3	-11,0
	1	4,6	5,0	-5,1	5,6	-5,7	6,9	-7,1	7,6	-7,8	8,3	-8,6	9,9	-10,2
	1	9,3	4,8	-4,8	5,4	-5,4	6,7	-6,7	7,4	-7,4	8,1	-8,1	9,6	-9,6
	2	0,9	5,3	-6,8	5,9	-7,6	7,4	-9,4	8,1	-10,4	8,9	-11,4	10,6	-13,5
	2	1,9	5,2	-6,5	5,8	-7,3	7,2	-9,0	7,9	-9,9	8,7	-10,9	10,3	-13,0
	2	4,6	5,0	-6,1	5,6	-6,8	6,9	-8,4	7,6	-9,3	8,3	-10,2	9,9	-12,2
	2	9,3	4,8	-5,8	5,4	-6,5	6,7	-8,0	7,4	-8,9	8,1	-9,7	9,6	-11,6
	3	0,9	5,3	-6,8	5,9	-7,6	7,4	-9,4	8,1	-10,4	8,9	-11,4	10,6	-13,5
	3	1,9	5,2	-6,5	5,8	-7,3	7,2	-9,0	7,9	-9,9	8,7	-10,9	10,3	-13,0
	3	4,6	5,0	-6,1	5,6	-6,8	6,9	-8,4	7,6	-9,3	8,3	-10,2	9,9	-12,2
	3	9,3	4,8	-5,8	5,4	-6,5	6,7	-8,0	7,4	-8,9	8,1	-9,7	9,6	-11,6
Muro	4	0,9	5,8	-6,3	6,5	-7,1	8,0	-8,7	8,9	-9,6	9,7	-10,5	11,6	-12,6
	4	1,9	5,5	-6,0	6,2	-6,7	7,7	-8,4	8,4	-9,1	9,3	-10,1	11,0	-12,0
	4	4,6	5,2	-5,7	5,8	-6,4	7,2	-7,9	8,0	-8,7	8,7	-9,5	10,4	-11,4
	4	9,3	5,0	-5,5	5,5	-6,1	6,8	-7,5	7,6	-8,3	8,3	-9,1	9,8	-10,8
	4	46,5	4,3	-4,8	4,9	-5,4	6,0	-6,7	6,6	-7,4	7,2	-8,1	8,6	-9,6
	5	0,9	5,8	-7,8	6,5	-8,7	8,0	-10,8	8,9	-11,9	9,7	-13,0	11,6	-15,5
	5	1,9	5,5	-7,2	6,2	-8,1	7,7	-10,1	8,4	-11,1	9,3	-12,2	11,0	-14,5
	5	4,6	5,2	-6,6	5,8	-7,4	7,2	-9,1	8,0	-10,0	8,7	-11,0	10,4	-13,1
	5	9,3	5,0	-6,0	5,5	-6,7	6,8	-8,4	7,6	-9,2	8,3	-10,1	9,8	-12,0
	5	46,5	4,3	-4,8	4,9	-5,4	6,0	-6,7	6,6	-7,4	7,2	-8,1	8,6	-9,6

Figura D.9 (continuación): Identificación y valores de cargas p_{net30} sobre componentes y revestimientos de estructura de acuerdo a Procedimiento Simplificado. (Figura 6-3 de norma ASCE 7-05).

Componentes y Revestimientos - Método 1										h ≤ 18,2m				
Figura 6-3 (continuación)			Presiones Netas de Diseño para Viento							Muros & Techos				
Edificios cerrados														
Presiones Netas de Diseño para Viento, p_{s30} (kgf/m ²) (Exposición B en h = 10m, $K_{zt} = 1,0$, con I = 1,0)														
	Zona	Área Efectiva de Viento (m ²)	Velocidad Básica del Viento (m/s)											
			55,9		58,1		62,6		64,8		67,1		76,0	
Techo de 0 a 7 grados	1	0,9	5,1	-12,6	5,5	-13,6	6,4	-15,8	6,9	-16,9	7,4	-18,1	9,4	-23,2
	1	1,9	4,8	-12,2	5,2	-13,2	6,0	-15,4	6,4	-16,5	6,9	-17,6	8,9	-22,7
	1	4,6	4,4	-11,8	4,7	-12,8	5,5	-14,8	5,9	-15,9	6,3	-17,0	8,1	-21,9
	1	9,3	4,1	-11,5	4,4	-12,4	5,1	-14,4	5,5	-15,5	5,8	-16,5	7,5	-21,3
	2	0,9	5,1	-21,1	5,5	-22,8	6,4	-26,5	6,9	-28,4	7,4	-30,4	9,4	-39,0
	2	1,9	4,8	-18,8	5,2	-20,4	6,0	-11,6	6,4	-25,3	6,9	-27,1	8,9	-34,9
	2	4,6	4,4	-15,9	4,7	-17,2	5,5	-19,9	5,9	-21,4	6,3	-22,8	8,1	-29,4
	2	9,3	4,1	-13,6	4,4	-14,8	5,1	-17,1	5,5	-18,3	5,8	-19,6	7,5	-25,2
	3	0,9	5,1	-31,7	5,5	-34,3	6,4	-39,8	6,9	-42,7	7,4	-45,7	9,4	-58,7
	3	1,9	4,8	-26,1	5,2	-28,4	6,0	-33,0	6,4	-35,4	6,9	-37,9	8,9	-48,6
	3	4,6	4,4	-19,1	4,7	-19,0	5,5	-23,9	5,9	-25,7	6,3	-27,5	8,1	-35,3
	3	9,3	4,1	-13,6	4,4	-14,8	5,1	-17,1	5,5	-18,3	5,8	-19,6	7,5	-25,2
Techo de > 7 a 27 grados	1	0,9	7,2	-11,5	7,8	-12,4	9,1	-14,4	9,7	-15,5	10,4	-16,5	13,4	-21,3
	1	1,9	6,6	-11,2	7,2	-12,1	8,3	-14,0	8,9	-15,1	9,5	-16,1	12,2	-20,7
	1	4,6	5,8	-10,8	6,2	-11,6	7,2	-13,5	7,7	-14,5	8,3	-15,5	10,6	-19,9
	1	9,3	5,1	-10,4	5,5	-11,3	6,4	-13,1	6,9	-14,0	7,4	-15,0	9,4	-19,3
	2	0,9	7,2	-20,0	7,8	-21,6	9,1	-25,1	9,7	-27,0	10,4	-28,8	13,4	-37,0
	2	1,9	6,6	-18,4	7,2	-19,9	8,3	-23,1	8,9	-24,8	9,5	-26,5	12,2	-34,1
	2	4,6	5,8	-16,3	6,2	-17,6	7,2	-20,4	7,7	-21,9	8,3	-23,5	10,6	-30,1
	2	9,3	5,1	-14,7	5,5	-15,9	6,4	-18,4	6,9	-19,8	7,4	-21,1	9,4	-27,2
	3	0,9	7,2	-29,6	7,8	-32,0	9,1	-37,1	9,7	-39,8	10,4	-42,6	13,4	-54,8
	3	1,9	6,6	-27,7	7,2	-29,9	8,3	-34,7	8,9	-37,2	9,5	-39,9	12,2	-51,2
	3	4,6	5,8	-25,1	6,2	-27,2	7,2	-31,5	7,7	-33,8	8,3	-36,2	10,6	-46,5
	3	9,3	5,1	-23,2	5,5	-25,1	6,4	-29,1	6,9	-31,2	7,4	-33,4	9,4	-42,9
Techo de > 27 a 45 grados	1	0,9	11,5	-12,6	12,4	-13,6	14,4	15,8	15,5	-16,9	16,5	-18,1	21,3	-23,2
	1	1,9	11,2	-11,9	12,1	-12,9	14,0	-15,0	15,1	-16,0	16,1	-17,2	20,7	-22,0
	1	4,6	10,8	-11,1	11,6	-12,0	13,5	-13,9	14,5	-14,9	15,5	-16,0	19,9	-20,5
	1	9,3	10,4	-10,4	11,3	-11,3	13,1	-13,1	14,0	-14,0	15,0	-15,0	19,3	-19,3
	2	0,9	11,5	-14,7	12,4	-15,9	14,4	-18,4	15,5	-19,8	16,5	-21,1	21,3	-27,2
	2	1,9	11,2	-14,0	12,1	-15,2	14,0	-17,6	15,1	-18,9	16,1	-20,2	20,7	-26,0
	2	4,6	10,8	-13,2	11,6	-14,3	13,5	-16,6	14,5	-17,8	15,5	-19,0	19,9	-24,4
	2	9,3	10,4	-12,6	11,3	-13,6	13,1	-15,8	14,0	-16,9	15,0	-18,1	19,3	-23,2
	3	0,9	11,5	-14,7	12,4	-15,9	14,4	-18,4	15,5	-19,8	16,5	-21,1	21,3	-27,2
	3	1,9	11,2	-14,0	12,1	-15,2	14,0	-17,6	15,1	-18,9	16,1	-20,2	20,7	-26,0
	3	4,6	10,8	-13,2	11,6	-14,3	13,5	-16,6	14,5	-17,8	15,5	-19,0	19,9	-24,4
	3	9,3	10,4	-12,6	11,3	-13,6	13,1	-15,8	14,0	-16,9	15,0	-18,1	19,3	-23,2
Muro	4	0,9	12,6	-13,6	13,6	-14,8	15,8	-17,1	16,9	-18,3	18,1	-19,6	23,2	-25,2
	4	1,9	12,0	-13,1	13,0	-14,1	15,1	-16,4	16,1	-17,6	17,3	-18,8	22,2	-24,2
	4	4,6	11,3	-12,3	12,2	-13,3	14,1	-15,5	15,2	-16,6	16,2	-17,7	20,8	-22,8
	4	9,3	10,7	-11,8	11,6	-12,7	13,4	-14,8	14,4	-15,8	15,4	-16,9	19,8	-21,7
	4	46,5	9,4	-10,4	10,1	-11,3	11,8	-13,1	12,6	-14,0	13,5	-15,0	17,3	-19,3
	5	0,9	12,6	-16,8	13,6	-18,2	15,8	-21,1	16,9	-22,6	18,1	-24,2	23,2	-31,1
	5	1,9	12,0	-15,7	13,0	-17,0	15,1	-19,7	16,1	-21,1	17,3	-22,6	22,2	-29,0
	5	4,6	11,3	-14,2	12,2	-15,3	14,1	-17,8	15,2	-19,1	16,2	-20,4	20,8	-26,2
	5	9,3	10,7	-13,1	11,6	-14,1	13,4	-16,4	14,4	-17,6	15,4	-18,8	19,8	-24,2
	5	46,5	9,4	-10,4	10,1	-11,3	11,8	-13,1	12,6	-13,9	13,5	-15,0	17,3	-19,3

Figura D.9 (continuación): Identificación y valores de cargas p_{net30} sobre componentes y revestimientos de estructura de acuerdo a Procedimiento Simplificado. (Figura 6-3 de norma ASCE 7-05).

Coeficientes de exposición a presiones por velocidad, K_1 y K_2				
Tabla 6-3				
Altura sobre el nivel del piso, z (m)	Exposición (Nota 1)			
	B		C	D
	Caso 1	Caso 2	Casos 1 y 2	Casos 1 y 2
0,0 - 4,6	0,70	0,57	0,85	1,03
6,1	0,70	0,62	0,90	1,08
7,6	0,70	0,66	0,94	1,12
9,1	0,70	0,70	0,98	1,16
12,2	0,76	0,76	1,04	1,22
15,2	0,81	0,81	1,09	1,27
18,0	0,85	0,85	1,13	1,31
21,3	0,89	0,89	1,17	1,34
24,4	0,93	0,93	1,21	1,38
27,4	0,96	0,96	1,24	1,40
30,5	0,99	0,99	1,26	1,43
36,6	1,04	1,04	1,31	1,48
42,7	1,09	1,09	1,36	1,52
48,8	1,13	1,13	1,39	1,55
54,9	1,17	1,17	1,43	1,58
61,0	1,20	1,20	1,46	1,61
76,2	1,28	1,28	1,53	1,68
91,4	1,35	1,35	1,59	1,73
106,7	1,41	1,41	1,64	1,78
121,9	1,47	1,47	1,69	1,82
137,2	1,52	1,52	1,73	1,86
152,4	1,56	1,56	1,77	1,89

Notas

- Caso 1:**

 - Todos los componentes y revestimientos.
 - Sistema resistente de fuerzas de vientos principales en construcciones de baja altura usando figura 6-10.

Caso 2:

 - Todos los sistemas resistentes de fuerza de viento principal en construcciones excepto en construcciones de baja altura diseñados usando la figura 6-10.
 - Todos los sistemas resistente de fuerzas de vientos principales en otras estructuras.
- El coeficiente K_2 de exposición a la presión en velocidad puede estar determinado por la siguiente formula:

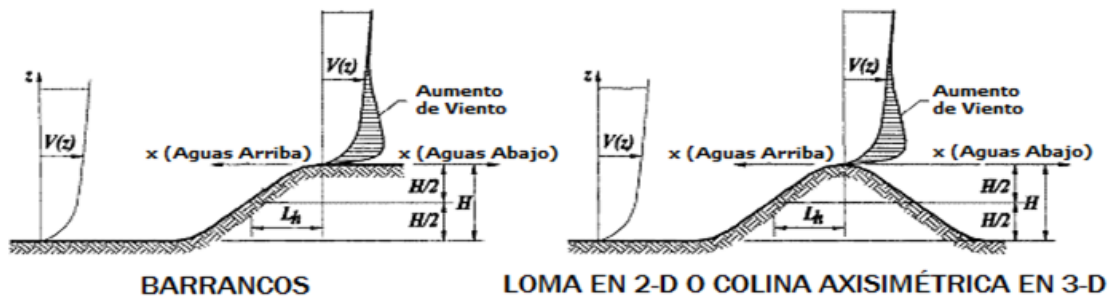
Para $4,6m \leq z \leq z_g$	Para $z < 4,6m$
$K_2 = 2,01 (z/z_g)^{2/\alpha}$	$K_2 = 2,01 (4,6/z_g)^{2/\alpha}$

Nota: z no será tomado como menor a 10 m para el caso 1 en la exposición B.
- α y z_g están tabulados en la Tabla 6-2.
- Se acepta interpolación lineal para valores intermedios de altura z.
- Las categorías de exposición estan definidas en 6.5.6.

Figura D.10: Factor K_2 de altura y exposición, según Categorías B, C y D para distintas alturas (Tabla 6-3 de norma ASCE 7-05). 7-05).

Factor Topográfico, K_{zt} - Método 2

Figura 6-4



Multiplicadores Topográficos para Exposición C										
H/L _h	Multiplicador K ₁			x/L _h	Multiplicador K ₂		z/L _h	Multiplicador K ₃		
	Loma 2-D	Barranco 2-D	Colina Axisim. 3-D		Barranco 2-D	Todos los Otros Casos		Loma 2-D	Barranco 2-D	Colina Axisim. 3-D
0,20	0,29	0,17	0,21	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
0,25	0,36	0,21	0,26	0,50	0,88	0,67	0,10	0,74	0,78	0,67
0,30	0,43	0,26	0,32	1,00	0,75	0,33	0,20	0,55	0,61	0,45
0,35	0,51	0,30	0,37	1,50	0,63	0,00	0,30	0,41	0,47	0,30
0,40	0,58	0,34	0,42	2,00	0,50	0,00	0,40	0,30	0,37	0,20
0,45	0,65	0,38	0,47	2,50	0,38	0,00	0,50	0,22	0,29	0,14
0,50	0,72	0,43	0,53	3,00	0,25	0,00	0,60	0,17	0,22	0,09
				3,50	0,13	0,00	0,70	0,12	0,17	0,06
				4,00	0,00	0,00	0,80	0,09	0,14	0,04
							0,90	0,07	0,11	0,03
							1,00	0,05	0,08	0,02
							1,50	0,01	0,02	0,00
							2,00	0,00	0,00	0,00

Notas:

- Se permite interpolar linealmente para otros valores de H/L_h, x/L_h and z/L_h distintos a los mostrados.
- Para evaluar K₁ para H/L_h > 0,5, asumir H/L_h = 0,5 y para evaluar K₂ y K₃ sustituir 2H por L_h para la evaluación de K₂ y K₃.
- Los multiplicadores se basan asumiendo que el viento se aproxima a la colina o al barranco a lo largo de la dirección de la cuesta máxima.
- Notación:

- H: Altura de la colina o barranco relativos al aumento de viento en metros (o pies).
 L_h: Distancia aguas arriba de la cima a donde la diferencia en la elevación del piso es la mitad de la altura de la colina o barranco en metros (o pies).
 K₁: Factor que da cuenta de la forma de la característica topografica y el efecto del máximo aumento de la velocidad.
 K₂: Factor que da cuenta de la reducción en el aumento de la velocidad con la distancia aguas arriba o aguas de bajo de la cima.
 K₃: Factor que da cuenta de la reducción en el aumento de la velocidad con la altura sobre el terreno local.
 x: Distancia (de aguas arriba o aguas abajo) desde la cima del sitio de la construcción en metros (o pies).
 z: Altura sobre el nivel del piso en metros (o pies).
 μ: Factor de atenuación horizontal.
 γ: Factor de atenuación de altura.

Figura D.11: Valores de factores K₁, K₂ y K₃ del factor topográfico K_{zt} de norma ASCE 7-05. (Figura 6-4 de norma ASCE 7-05).